

Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb

Anbauempfehlungen



gefördert vom

Inhalt

01	Vorwort	32	Erträge
02	Einleitung	38	Trocknung und Lagerung
03	Merkmale von Kurzumtriebsplantagen	44	Rückwandlung
04	Boden- und Klimaansprüche	47	Umweltwirkung
05	Anbautechnische Eigenschaften	53	Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen
06	Pappel- und Weidensorten für den Kurzumtrieb	58	Nutzung und Vermarktung
09	Pflanzgut	61	Gesetzliche Rahmenbedingungen
11	Bodenvorbereitung und Pflanzung	64	Zusammenfassender Überblick
15	Pflegemaßnahmen gegen Unkräuter	66	Abkürzungs- und Sachwortverzeichnis
18	Biotische Schadfaktoren	68	Literaturverzeichnis
24	Düngung	72	Kontaktadressen / Anhang
27	Ernte		

Vorwort

Eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit ist die Entwicklung und Nutzung umweltfreundlicher und effizienter Energiesysteme. Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind eine neue Strategie zur Produktion und Bereitstellung von Holz für eine energetische Nutzung. Die energetische Verwertung von Biomasse ist das Rückgrat der Erneuerbaren Energien, dabei stellt Holz in Deutschland den wichtigsten nachwachsenden Rohstoff dar. Kurzumtriebsplantagen können deshalb einen entscheidenden Beitrag zur Rohstoffsicherung leisten.

Die Bioenergie, die im ländlichen Raum erzeugt und auch wieder verbraucht wird, bietet die Möglichkeit von kleinen, regional angepassten Kreisläufen und ist ein Beispiel für nachhaltige und effiziente Energienutzung. Gleichzeitig sichert diese Energieform Wertschöpfungsketten vor Ort.

Die weiteren Vorzüge von Kurzumtriebsplantagen sind vielfältig: Erosionsvermeidung, Verbesserung des Landschaftsbildes in spezialisierten Agrarlandschaften, Erzeugung unabhängiger Wärmeenergie, geringere Umweltbelastung im Vergleich zu anderen Energiepflanzen, Steigerung der Biodiversität sowie die nicht ersetzbaren Leistungen für Gesundheitsschutz und Klimaanpassung.

Der Anbau und die Verwertung des Energieholzes steht noch vor besonderen Herausforderungen. Dies betrifft die pflanzenbauliche Optimierung und den Mangel an technisch ausgereiften Lösungen für eine kostengünstige Ernte. Auch die Trocknung und die abschließende Rekultivierung sind noch nicht befriedigend gelöst. Wissenschaftliche Einrichtungen, Industrie und landwirtschaftliche Betriebe arbeiten gemeinsam an praxismgerechten Lösungen.

Die Broschüre fasst den aktuellen Stand der Forschung zusammen und bietet zahlreiche Praxishinweise und Empfehlungen für die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen und die Verwertung des Holzes im Sinne einer umweltfreundlichen und effizienten Energieerzeugung.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Eichkorn'.

Norbert Eichkorn
Präsident des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Einleitung

Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten in sogenannten Kurzumtriebsplantagen (KUP) ist eine recht junge Form der Landnutzung, die zunehmend Bedeutung erlangt.

Vermeehrt interessieren sich Landwirte für dieses extensive Produktionsverfahren, sei es zur Diversifizierung der Betriebsstruktur oder zur Eigenversorgung der Hofstelle mit Holzhackschnitzeln.

In Deutschland nimmt der Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf Ackerland eine Größenordnung von etwa 7.000 ha ein. Das ist ein marginaler Anteil von 0,04 % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (in D: 16.700.000 ha). Mit 2.000 ha weist das Land Brandenburg die größten Anbauflächen von KUP auf. In Sachsen war im Jahr 2013 eine Anbaufläche von 271 ha (245 ha auf landwirtschaftlicher Fläche) mit Energiehölzern bestockt. Diese sind zu etwa 150 ha mit Pappelsorten und 96 ha mit Weidensorten bepflanzt. Die Baumart Robinie nimmt mit 17 ha einen sehr geringen Anteil ein. Auf den verbleibenden 8 ha sind sonstige Baumarten vertreten. Bei einer Ackerfläche von 716.043 ha in Sachsen beträgt der Anteil gerade einmal 0,03 %, bei den angebauten Dauerkulturen 4,4 % (Stand 2013, Statistisches Landesamt).

Einen größeren Flächenumfang hat diese Anbauart bereits in Schweden erlangt. Hier werden etwa 16.000 ha Ackerland mit Weidenplantagen zur Brennholzgewinnung genutzt (LARSSON, 2003). In den letzten Jahren wurden vor allem im Südosten Europas vermehrt Energieholzplantagen angelegt. Führend in der Erzeugung stofflicher Sortimente im Kurzumtrieb ist Italien.

Steigende Preise für fossile Energieträger lassen eine verstärkte Nachfrage nach Holz zur energetischen Verwertung erwarten, was langfristig zu einer Verringerung an nachhaltig energetisch verwertbaren Sortimenten führt.

Feste Biomasse nimmt derzeit bereits mit 26 % einen Großteil der Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern in Deutschland ein. Bei der Wärmeerzeugung liegt der Anteil bei über 60 %. Davon werden 50 % aus Festbrennstoffen zur Wärmeproduktion in privaten Haushalten erzeugt.

Energetisch betrachtet ist keine Energieform in der Landwirtschaft so effektiv wie der Anbau von nachwachsenden Hölzern. Die CO₂-Vermeidungsleistung (Tonne CO_{2äq}) von Biogas auf Maisbasis beträgt 6–7 t CO_{2äq}/ha, von Biodiesel 3 t CO_{2äq}/ha und von Hackschnitzeln aus Waldrestholz oder KUP 13 t CO_{2äq}/ha (FELDWICH, 2011).

Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme weisen durch ihre extensive Bewirtschaftungsweise und ihre Humusanreicherung grundsätzlich ökologische Vorteile für Wasser und Boden im Vergleich zu einjährigen Kulturpflanzen auf. Unter Beachtung naturschutzfachlicher Anforderungen können sie gleichzeitig zur Erhöhung der Biodiversität und zur Verbesserung des Landschaftsbildes beitragen. In strukturarmen Agrarlandschaften bieten Windschutzstreifen aus schnellwachsenden Hölzern Möglichkeiten zum Erosionsschutz.

Dennoch entwickelt sich der Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen nur zögerlich. Geringe Erfahrungen mit Holzerträgen, Ökonomie und Management von KUP sind Gründe für die Zurückhaltung der Landwirte. Des Weiteren tragen die langfristigen Produktionszeiträume, die zu Schwierigkeiten bei den Pachtverträgen führen können, und fehlende Erntemaschinen zu potenziellen Hemmnissen bei. Eine wenig entwickelte Wertschöpfungskette und individuelle Unsicherheiten in der Anlage und Pflege, welche spezifische Kenntnisse erfordern, erschweren die Neuanlagen.

In der Landwirtschaft sind verschiedene Varianten des Energieholzanbaus denkbar, sowohl in der Auswahl verfügbarer Flächen als auch beim Vertrieb der erzeugten Hackschnitzel. Die Möglichkeit der Eigenversorgung besteht genauso wie die Belieferung eines regionalen Abnehmers. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass für die Versorgung der eigenen Hofstelle oder eines benachbarten Wohnhauses nur wenig KUP-Anbaufläche erforderlich ist und deshalb KUP in vielen Fällen zur Wärmeversorgung in Betracht gezogen werden sollte.

Die Broschüre soll einen Einstieg in die Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen bieten, aber auch als Nachschlagewerk für Interessierte dienen. Die Anlage von KUP ist vielerorts sicher eine gute Ergänzung zur landwirtschaftlichen Produktion und in zahlreichen Wertschöpfungsketten integrierbar.

Gefördert wurde diese Broschüre durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung über den Projektträger Jülich in Zusammenarbeit mit dem Projekt AGROFORNET und dem Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e. V.

Merkmale von Kurzumtriebsplantagen

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

Im 3- bis 20-jährigen Umtrieb werden Schwachholzsortimente erzeugt, die als Brennstoff oder Industrieholz verwendet werden können.

Diese Form des Anbaus unterscheidet sich von der forstlichen Nutzung durch meist höhere Stammzahlen pro Hektar und kürzeren Umtriebszeiten mit geringeren Erntedimensionen. Schnellwachsende Baumarten zeichnen sich durch ein starkes Jugendwachstum aus, d. h. sie erreichen bereits nach 10 – 15 Jahren bei Pappel (Weide unter 8 Jahren) den höchsten laufenden Zuwachs ($V_{fm}/ha \cdot a$). Dieses Wachstumsverhalten weisen bestimmte Laubholzarten wie Weide, Pappel, Robinie, Erle und Birke auf.

Beim Anbau von Kurzumtriebsplantagen liegen in Sachsen vor allem Erfahrungen mit Pappeln und Weiden vor. Beide Baumarten lassen sich leicht über Steckhölzer (außer Aspe) vermehren. Pappel- und Weidenbestände erreichen im Jugendstadium sehr hohe Zuwachsraten an Biomasse. Voraussetzung für den Kurzumtrieb ist auch ihr kräftiger Wiederaustrieb nach dem auf den Stock setzen der Bäume sowie ihre Dichtstandverträglichkeit.

Die Weiden sind in den letzten Jahren speziell in Richtung Schnellwüchsigkeit, Krankheitsresistenz und hohe Zuwachsleistung in Skandinavien züchterisch bearbeitet worden, sodass im Kurzumtriebsanbau auf leistungsstarke Sorten zurückgegriffen werden kann. Eine züchterische Bearbeitung der Pappeln zur energetischen Nutzung erfolgt derzeit an verschiedenen Einrichtungen in Deutschland.

Im 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 zu erzielen, sind sehr dichte Bestände zu etablieren. Diese Nutzung führt zu hohen Masseleistungen je Hektar in Form von sehr schwachem Holzmaterial (3 – 7 cm Stammdurchmesser), welches ausschließlich für Heizzwecke eingesetzt wird. Meist werden Weiden in Mini-Rotation genutzt (Abbildung 1).

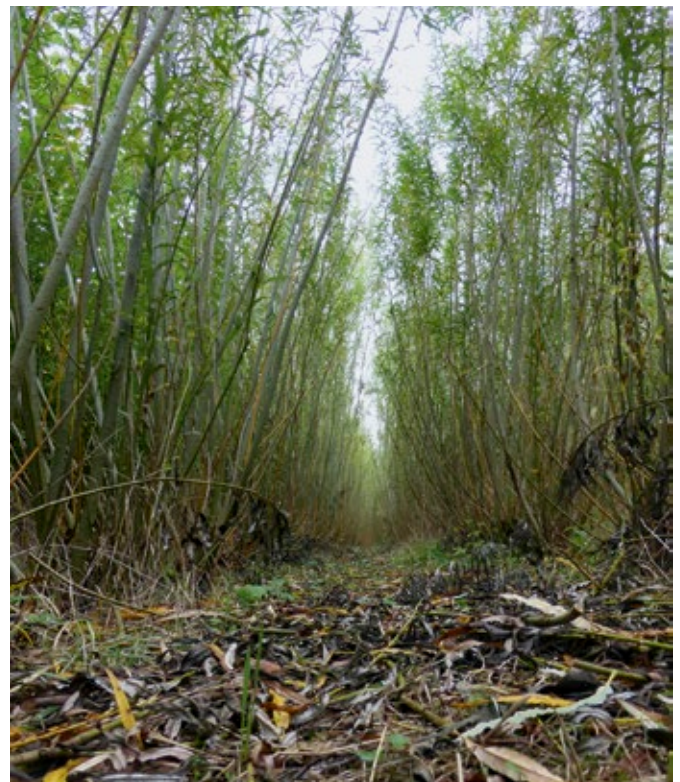


Abbildung 1: 2-jähriger Weidenbestand in zweiter Rotation

2. Midi-Rotation

Die Ernte der Bäume erfolgt im Abstand von 4 – 6 Jahren. In dieser Wachstumszeit erzielen die Bäume stärkere Stammdurchmesser (6 – 15 cm) und höhere Stammeinzelgewichte als bei zwei- bis dreijährigem Ernterhythmus. Midi-Rotationen erfordern deshalb geringere Bestandeszahlen zum Ertragsaufbau. Günstig sind Baumzahlen von 8.000 – 12.000 Stück/ha.

3. Maxi-Rotation

In solchen Plantagen werden die Bestände erst nach 8 – 20 Jahren geerntet. Der Ertrag wird in noch stärkerem Maße über das Einzelgewicht realisiert. Die Stammdurchmesser betragen 10 – 40 cm. Baumzahlen von 1.500 – 3.000 Stück/ha gewährleisten bei dieser Nutzungsrichtung einen optimalen Aufwuchs.

Boden- und Klimaansprüche

Die **Pappel** eignet sich für ein weites Anbauspektrum an Bodenarten und Klimaräumen. Es reicht von schweren Lehmböden über frische, humose, sandige Lehme bis hin zu leichten, nährstoffarmen Sanden. Optimal für das Wachstum sind sandige, gut durchlüftete Lehme, die grundwasserbeeinflusst (0,6 – 1,5 m Tiefe) sind.

Staunasse, dichtlagernde Böden scheiden deshalb für den Anbau aus. Schwere Tonböden sowie gleyartige Verwitterungsböden, die bei Austrocknung verhärten, sind für den Pappelanbau ungeeignet. Die Bodenansprüche sind weiter definiert durch einen schwach sauren bis neutralen pH-Wert (pH-Optimum: 5,5 – 7,0). Saure Böden kommen deshalb für den Anbau weniger in Frage. Landwirtschaftliche Böden weisen in der Regel gute Standortbedingungen auf.

Hinsichtlich der Niederschlagsverhältnisse verträgt die Pappel auch trockene Anbaulagen. Jedoch sollten in der Hauptwachstumszeit mindestens ca. 300 mm Niederschlag zur Verfügung stehen. Eine hohe nutzbare Feldkapazität (Wasserhaltekapazität des Bodens) von 150 mm ist notwendig (PETZOLD et al., 2010 a).

Die Anbaugrenze liegt bei 600 – 650 m üNN. Bei der Standortwahl sind frost- und winddisponierte Lagen zu vermeiden. Ebenso ist es wichtig, dass keine Lärchen in der Nähe (< 500 m Abstand) der Pflanzung sind. Sie gelten als Wirtspflanze für den Pappelrost (*Melampsora spec.*), siehe Kapitel Biotische Schadfaktoren.

Pappeln sind wärmebedürftige Baumarten. Die Balsampappel benötigt eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 7,0 °C, Schwarzpappelklone 8,5 °C mit einem gleichzeitig besser nährstoffversorgten Boden. Demzufolge ist ein Anbau von Schwarzpappelklonen in Sachsen stark eingeschränkt.

Aspen (*Leuce spec.*) eignen sich für geringere Standortqualitäten und besitzen eine hohe Frosttoleranz, sodass sie auf ärmeren, mäßig trockenen bis wechselfeuchten Böden Verwendung finden.

Die Baumart **Weide** gedeiht auf einem breiten Bodenspektrum. Jedoch sind durchlässige, feuchte, nährstoffreiche, sandige Lehme am besten geeignet. Günstig für den Anbau sind Böden im pH-Bereich von 6,0 – 7,5 bei einem Optimum von 6,5 (EL BASSAM, 1998). Die Böden sollten grundwasserbeeinflusst sein. Schwere Lehm- und Tonböden, aber auch extrem arme Böden,

ebenso staunasse oder versauerte Böden sowie auch Bergbaufolgestandorte gelten als weniger geeignet für den Weidenanbau. Für den höheren Stickstoffbedarf der Weide ist bei einem Anbau auf Ackerflächen in den ersten Jahren gesorgt.

Die Weide wächst vor allem gut in Gebieten mit ausreichenden Niederschlägen. Jahresniederschlagssummen von 600 – 700 mm, davon 50% in der Vegetationszeit, sind erforderlich. Besonders in den Monaten Juni und Juli hat die Weide einen hohen Wasserverbrauch. In trockenen Lagen ist dadurch meist mit geringen, nicht wirtschaftlichen Erträgen zu rechnen. Die Weide gilt als sehr frosthart und gedeiht auch in Höhenlagen von 600 – 800 m ü NN.

Für beide Baumarten sind Flächen mit Drainage für den Anbau unbedingt auszuschließen, da die Wurzeln in die Drainageröhren eindringen und diese zerstören.

Eine Beschattung durch Wälder oder Baumstreifen wirkt sich wuchsmindernd aus. Stehen diese hingegen in Hauptwindrichtung zu den KUP, fördern sie den Wuchs, vor allem bei längeren Umtriebszeiten.

Die Böden müssen während der Ernte in den Wintermonaten befahrbar sein und dürfen nicht zur Verdichtung neigen. Für trockenere Gebiete mit einer sehr geringen Wasserhaltekapazität ist die Robinie als Baumart vorzuziehen.

Starke Verdichtung im Unterboden, wie sie auf ehemaligen Industriebrachen vorkommt, ist zu meiden.

Anbautechnische Eigenschaften

Zur Gattung **Pappel** (*Populus spec.*) gehören etwa 40 Arten, die mehreren Sektionen zugeordnet sind (Tabelle 1). Vertreter der Sektionen *Tacamahaca* (Balsampappel), *Aigeiros* (Schwarzpappel) und *Leuce* (Zitterpappel) sind wichtige Kreuzungspartner der im Kurzumtriebsanbau verwendeten Sorten (Tabelle 3). Sie wachsen 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.

Von den ca. 300 Arten der Gattung **Weide** (*Salix spec.*) 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 sechs Meter 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.

Tabelle 1: Anbautechnische Eigenschaften von wichtigen Pappelsektionen für den Kurzumtrieb

Sektion/ Subsektion	Tacamahaca (Balsampappel) –	Aigeiros (Schwarzpappel) –	Leuce (Weiß-/Zitterpappel) Aspen (Trepidae)
wichtige Arten	<i>P. maximoviczii</i> – asiatische Balsampappel <i>P. trichocarpa</i> – amerikanische Balsampappel <i>P. balsamifera</i> – nordamerikanische Balsampappel	<i>P. nigra</i> – europäische Schwarzpappel <i>P. deltoides</i> – amerikanische Schwarzpappel <i>P. angulata</i> – (Mutante <i>P. deltoides</i> var. <i>missouriensis</i>)	<i>P. tremula</i> – europäische Zitterpappel <i>P. tremuloides</i> – nordamerikanische Zitterpappel
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, fließendes Grundwasser in 1 – 2 m Tiefe, 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-Stock-Setzens, Dichtstandsverträglichkeit
wichtige Schädlinge Rinde/Blatt	gute Resistenz gegen Pappelblattkäfer	Resistenz gegen Pappelbock	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. achtjähriger Umtrieb notwendig

Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

Pappel- und Weidensorten für den Kurzumtrieb

Tabelle 2: Anbautechnische Eigenschaften von Weidenarten für den Kurzumtrieb

Gattung	Salix
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

Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

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 4).

Für den Kurzumtrieb stehen mehrere Sorten von Pappel und Weiden zur Verfügung (Tabellen 3 und 4). Es handelt sich meist um Hybridsorten, die aus intraspezifischen und interspezifischen Kreuzungen entstanden. Die Züchtungen der Weide stammen zu einem Großteil aus Schweden, wo sie in den letzten Jahrzehnten gezielt zur Eignung im Kurzumtrieb gezüchtet wurden. Die Züchtungen der Pappeln stammen meist aus der Mitte des letzten Jahrhunderts und wurden für eine Nutzung als Stammholz züchterisch bearbeitet. Seit 2009 wird diese Baumart wieder erforscht. Auf den meisten Weide- und einigen Pappelsorten liegt ein Sortenschutz. Dieser dient der Sicherung der Rechte des Züchters. Er hat keine Aussagekraft über die Eignung und das Leistungsvermögen der geschützten Sorten.

Das Pflanzmaterial muss im Interesse der Sortenreinheit und Qualität von Baumschulen (amtlich gemeldet und kontrolliert) oder Züchtern erworben werden. Während Pflanzgut von Pappeln, Erlen und Robinien dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) unterliegt, trifft dies für die Weiden nicht zu. Beim Erwerb von Pflanzgut der unter das FoVG fallenden Baumarten ist bei der Rechnungslegung auf die Nummer des Stammzertifikates (Endnummer) bzw. auf das Kürzel »GP« (geprüft) zu achten.

Wird Pflanzgut (Pappelstecklinge) aus anderen EU-Ländern bezogen, gilt die Zulassung des Erzeugerlandes für den Anbau in allen Mitgliedsländern der Europäischen Union. Für Deutschland wird als Mindeststandard die Kategorie »geprüft« gefordert (nach EU-Richtlinie 1999/105).

Alle derzeit laut Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Deutschland zugelassenen Pappelklone sind unter folgender Internetseite aufgeführt:

→ www.ble.de/forstvermehrungsgut

»Seit 2011 führt die Bundesanstalt das Register der in Deutschland von den nach Landesrecht zuständigen Stellen zugelassenen Klone, Klonmischungen und Familieneltern der Pappel. Nach § 4 des Forstvermehrungsgutgesetzes (FoVG) dürfen Zulassungen von diesen Arten von Ausgangsmaterial nur in der Kategorie »GEPRÜFT« erfolgen. Auch die vegetative Erzeugung von forstlichem Vermehrungsgut, das in den Verkehr gebracht werden soll, darf nur aus Ausgangsmaterial dieser Kategorie erfolgen (§ 7 FoVG). Die Klone wurden vor ihrer Zulassung einer Vergleichsprüfung unterzogen, in deren Auswertung die Überlegenheit im Anbauwert gegenüber einem Standard festgestellt wurde. Bei einer forstlichen Nutzung

Tabelle 3: Zugelassene Klone, Klonmischungen und Familieneltern von Pappeln

Pappelsorte	Kreuzungspartner	Bemerkung
Sektion Aigeiros (Schwarzpappeln)		
J 214 Casale syn. I-214 (w) Jacometti (w) Robusta (m)	Populus x euramericana	spätfrostempfindlich, auf warmen Standorten, in Sachsen geringer Ertrag
Sektion Tacamahaca (Balsampappeln)		
Androscoggin (m) Matrix 11 Matrix 24 Matrix 49	P. maximowiczii x P. trichocarpa	mittlere bis hohe Leistung bei Midi-Rotation auf gemäßigten bis kühlen Standorten. Androscoggin für Maxi-Rotation geeignet
Muhle Larsen (w) Fritzi Pauley (w) Columbia River (m)	P. trichocarpa x P. trichocarpa	mittlere bis hohe Leistung bei Midi-Rotation in gemäßigten und warmen Lagen
Oxford (w)	P. maximowiczii x P. berolinensis	Leistung stark vom Standort abhängig
Intersektionelle Hybriden		
Rochester (w) Max 1 Max 3 Max 4	P. maximowiczii x P. nigra var. Plantierensis P. nigra x P. maximowiczii	Leistung stark vom Standort abhängig hohe Ertragsleistung bei Mini- und Midi-Rotation auf warmen und trockneren Standorten (über achteinhalb Grad Celsius)
Sektion Leuce (Weiß-/Zitterpappeln)		
Tapiau 1-8 Ahle 1-20 Graupa I Graupa II	P. tremula x P. tremula	hohe Leistung bei Maxi-Rotation
Münden 1-20 Astria (w)	P. tremula x P. tremuloides	hohe Leistung bei Maxi-Rotation
EU-Klone: Diese Klone wurden nicht in Deutschland auf ihre Wuchseigenschaften und andere Merkmale geprüft.		
NE 42 syn. Hybride 275 Unal Raspalje Beaupré Donk	P. macimiwiczii x Populus P. trichocarpa x P. deltoides	für kühle Lagen geeignet kein Anbau empfohlen, stark anfällig für Pappelrost (Melampsora spec.)

Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

Tabelle 4: Wichtige Weidensorten für den Kurzumtrieb

Weidensorte	Kreuzung	Bemerkung
Zieverich	<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, mittlere Frosttoleranz
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, mittlere Frosttoleranz
Sven	<i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) (Kreuzung der Sorten Jorum und Björn)	Hohertragsorte, hohe Resistenz gegen Blattrost, empfindlich gegen Gallmücken, saugende Insekten
Olof	<i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) (Kreuzung der englischen Sorte Bowles Hybrid mit Björn)	Stämme sind sehr hochwüchsig, verzweigen sich kaum, hohes Ertragsniveau, kein Blattrostbefall
Gudrun	<i>S. dasyclados</i>	hohe Frosttoleranz, ausgeprägte Resistenz gegen Blattbockkäfer, geringer Wassergehalt zur Ernte, gute Unkrautunterdrückung, teilweise Wildschäden, langsame Jugendentwicklung
Tordis	(<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) x <i>S. viminalis</i> Kreuzung der Sorten Tora und Ulv	Blattrostresistenz, hohes Ertragspotenzial
Karin	(<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) x <i>S. burjatica</i> Kreuzung eines Schwerinii-Klons mit einem russischen Klon aus der Gegend von Kirow	rote Triebspitzen, frosttolerant, geringere Unkrautkonkurrenz als Gudrun oder Doris, hohes Ertragsniveau
Inger	<i>S. triandrax</i> x <i>S. viminalis</i> Kreuzung aus der Sorte Jorr mit einem russischen Klon aus der Nähe von Nowosibirsk	gut für trockene Standorte, hohe Erträge, buschartige Wuchsform, sehr blattrostresistent, mittlere Frosttoleranz
Klara, Dimitrios, Lisa		neue Sorten auf dem Markt, für trockene warme Standorte

Quelle: nach LARSSON (2003), → www.biomasseconsulting.de, SCHOLZ (2006)

sollten Klone in Mischung angebaut werden. Als Mischungspartner können andere Klone der gleichen Art oder Vermehrungsgut einer anderen Art dienen (Anonymus, 2012).«

Schwarzpappelhybriden sind durch ihre Frostempfindlichkeit (Früh- und Spätfröste) und Unverträglichkeit gegenüber längeren Trockenphasen für einen Anbau in Süd- und Ostachsen nicht geeignet. Dazu gehören die ungarischen (Pannonia, Kopecky, Koltay) und die italienischen Sorten (AF2, AF6, AF8, Monviso, I214, Jacometti 78B) sowie die Sorten Harff, Heidemij, Robusta (LANDGRAF, 2011). Trockenphasen mindern zusätzlich die Frosttoleranz der Sorten.

Die Klone Donk, Raspalje, Unal und Beupre werden aus phytosanitären Gründen für einen Anbau nicht mehr empfohlen. Das überdurchschnittliche Wachstum führte zu einem viel zu langen Anbau dieser, vor allem gegen Pappelrost (*Melampsora spec.*) sehr empfindlichen Sorten.

Der Balsampappelklon Muhle Larsen wird verstärkt in den letzten Jahren mit Pappelrost (*Melampsora spec.*) befallen, zudem wird dieser Pappelklon sehr stark vom Wild angenommen (LANDGRAF & HELBIG, 2010).

Androscoggin zeigt ein schlechtes Anwuchsverhalten. Besonders auf trockenen Standorten ist in der Etablierungsphase eine Bewässerung anzuraten.

Alle Max-Sorten, mit weitgehender Resistenz gegen Pappelrost (*Melampsora spec.*), zeigen ein gutes Anwuchsverhalten und sehr gute Erträge auf trockenen Standorten. Allerdings werden diese Sorten oft vom Großen Pappelblattkäfer befallen. Insbesondere starke Tiebe bzw. Bäume neigen zu Kronen- und Wurzelabbrüchen. Die Sorte NE 42 (Hybrid 275) zeigt gute Anwuchsergebnisse und gute Masseleistungen auch in kühleren Lagen. Für Matrix-Klone fehlen derzeit noch Erfahrungen aus dem Praxisanbau. Auf Versuchsflächen zeigen sie gute Wuchsleistungen und Resistenzen gegenüber Pappelblattrost.

Für längere Umtriebszeiten oder für einen Anbau zur stofflichen Nutzung eignen sich die Weiß- und Zitterpappeln sowie die Klone Androscoggin, Hybrid 275, Oxford und Rochester. Einige Weidensorten neigen zum Befall mit Rostpilzen, die insbesondere auf schlecht wasserversorgten Standorten auftreten. Ein Befall mit Blattwespen und Blattkäfern kann vor allem nach der Ernte auftreten.

Pflanzgut



Abbildung 2: Pappelsteckhölzer verpackt als 20 cm-Stecklinge



Abbildung 3: Sortiment an Pappelsteckhölzern mit ungenügender Qualität (Über-/Untergrößen, Verletzung der Rinde, geöffnete Knospen)

Die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen erfolgt meist mit vegetativem Pflanzgut über Steckhölzer, Steckruten, Setzstangen und Legeruten. In der Praxis verwendet man hauptsächlich Steckhölzer. Für die Vermehrung von Aspen sind einjährige Pflanzen nötig. Bei einer Vermehrung über Klone, die genetisch identisches Erbgut aufweisen, entstehen gleichmäßig gut bewirtschaftbare Bestände. Diese genetische Einschränkung schafft allerdings ein erhöhtes Betriebsrisiko z. B. durch Schädlinge und Anbauten auf schlechteren Standorten.

Bei Steckhölzern (Abbildung 2) handelt es sich um unbewurzelte, einjährige Triebe, die während der Vegetationsruhe gewonnen werden. Für die Steckholzgewinnung sind gerade, gut verholzte, gesunde, 20 – 35 cm lange Triebabschnitte zu verwenden. Es ist darauf zu achten, dass die Knospen geschlossen sind. Die Steckhölzer sollten einen Durchmesser von 1 – 3 cm aufweisen. Eine gute Lagerung erfolgt bei einer Temperatur von $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Für den Anwuchserfolg ist die Qualität des Pflanzgutes sehr entscheidend. Im Durchmesser zu schwache und zu starke Steckhölzer, unausgereiftes, weiches, biegsames Pflanzgut, aber auch Steckhölzer mit fehlenden oder verletzten Knospen wachsen nicht an und führen von Beginn an zu Fehlstellen und einem geringen Anwuchs (Abbildung 3). Sie sind unbedingt aus der Pflanzgutpartie zu entfernen. Der Qualitätsprüfung der angelieferten Ware fällt somit eine sehr entscheidende Rolle



Abbildung 4: Pappelsteckruten vor der Einlagerung

zu. Die gleichen Ansprüche gelten, soweit zutreffend, auch für die anderen Vermehrungsformen. Für einen ausreichenden Wassergehalt der Stecklinge und den Erhalt einer noch vorhandenen Winterruhe zur Pflanzzeit ist eine Einhaltung der Kühlkette unabdingbar.

Kräftiger entwickeltes Pflanzgut bezeichnet man je nach Alter, Länge und Durchmesser der Triebabschnitte als Steckruten

Tabelle 5: Pflanzgut für schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb

	Steckholz	Steckrute	Setzstange	Legerute	wurzelackte Pflanze
Alter	1 Jahr	1 – 2 Jahre	2 – 4 Jahre	1 – 4 Jahre	1 – 2 Jahre
Länge	20 – 35 cm	80 – 230 cm	200 – 400 cm	100 – 300 cm	70 – 100 cm
Durchmesser	10 – 30 mm	10 – 30 mm	25 – 50 mm	10 – 35 mm	10 – 30 mm
Pflanztiefe	20 – 35 cm	30 – 50 cm	70 – 100 cm	15 – 20 cm	20 – 35 cm
Verband	beweglicher Verband	Endverband	Endverband	beweglicher Verband	Endverband
Qualität	gerade, gesund gut verholzt	gerade, gesund gut verholzt	gerade, gesund ohne Seitenzweige	gesund ohne Verletzungen	gerade, gesund gut verholzt
Preis	0,10 – 0,40 €	0,40 – 0,60 €/ lfm	2,5 – 4,0 €	0,40 – 0,60 €/ lfm	1,50 – 1,80 €

Quelle: nach HOFMANN (2002b) und BECKER (2014)

(Abbildung 4), Setzstangen und Legeruten (Tabelle 5). Mit älterem und stärker entwickeltem Pflanzmaterial erreicht man im ersten Standjahr eine schnellere Entwicklung der Bestände. Bei KUP mit geringen Pflanzzahlen für die stoffliche Nutzung oder mit schwieriger Pflege bringen Steckruten oder Setzstangen entscheidende Vorteile. Bei der Bestandesbegründung durch Setzstangen kann die flächige Bodenvorbereitung weitgehend unterbleiben. Auf der Basis von Steckhölzern etablierte KUP holen in der Regel diesen Entwicklungsrückstand gegenüber den größeren Sortimenten später wieder auf. Aus Kostengründen sind auf besseren und durchschnittlichen Standorten die preiswerteren Steckhölzer zu empfehlen.

Neben unbewurzelten können auch bewurzelte Steckhölzer verwendet werden. Auf trockenen Etablierungsflächen, Standorten mit starker Begleitvegetation oder Gefahr von Frühsommertrockenheit bewähren sich bewurzelte Stecklinge bzw. einjährige Pflanzen. Der Vorteil von bewurzelten Stecklingen ist die Reduktion der Vertrocknungsgefahr der Pflanzen nach Frühsommertrockenheiten durch das vorhandene Wurzelsystem und die mögliche Herbstpflanzung, da insbesondere Pappel anfangs sehr stark oberirdische Biomasse anlegt und keinen Verdunstungsschutz aufweist (SCHILDBACH et al., 2008). Dieser temporäre Vorteil gegenüber unbewurzelten Steckhölzern ist abzuwägen gegen den etwa doppelt bis dreifach so hohen Preis.

Grundlegend zeigen Weiden ein besseres Anwuchsverhalten gegenüber Pappeln.

Im Interesse der Sortenreinheit und Qualität muss Pflanzmaterial in Baumschulen (amtlich gemeldet und kontrolliert) oder bei Züchtern erworben werden. Dabei unterliegen Pappeln, Erlen und Robinien dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG), welchem die Baumart Weide nicht unterliegt. Beim Erwerb von Pflanzgut der unter das FoVG fallenden Baumarten, ist bei der Rechnungslegung auf die Nummer des Stammzertifikates zu achten (Endnummer 4) bzw. das Kürzel »GP«.

Wird Pflanzgut (Pappelstecklinge) aus anderen EU-Ländern bezogen, gilt die Zulassung des Erzeugerlandes für den Anbau in allen Mitgliedsländern der Europäischen Union. Für Deutschland wird als Mindeststandard die Kategorie »GEPRÜFT« gefordert (nach EU-Richtlinie 1999/105).

Die Eigenvermehrung von Pappel- und Weidensteckhölzern ohne Sortenschutz im landwirtschaftlichen Betrieb ist eine Möglichkeit der kostengünstigen Anlage und Erweiterung eigener Flächen. Das sogenannte Mutterquartier bedarf intensiver Pflege und einer eventuellen Bewässerung. Mehrere betriebsspezifische Anlagegrößen und Anlageformen sind möglich. So kann der endgültige Pflanzverband in Form und Größe im ersten Umtrieb als Mutterquartier genutzt werden oder man wählt kleinere Verbände, die den betriebseigenen Pflegemaschinen oder dem Bewässerungssystem entsprechen. Dabei sollte der Abstand der Pflanzen nicht unter 30 cm liegen. Ein kleinerer Abstand hätte eine zu große Konkurrenzsituation zur Folge.

Ohne Einschränkung ist die Vermehrung zum Eigenbedarf nur bei Klonen ohne Sortenschutz möglich. Bei geschützten Sorten, z. B. AF2, AF6, AF8, Monviso, Matrix 11, Matrix 49, Matrix 49, Bakan, Skado u. a. bedarf es einer Abstimmung mit dem Inhaber der Sortenschutzrolle (§ 28 SortG). Bei den Weiden betrifft es die Sorten Tora, Sven, Olof, Tordis, Torhild, Gudrun und Inger (Sorten Beispielhaft).

Bodenvorbereitung und Pflanzung

Vor der Anlage einer Plantage (Abbildung 5) sollte die zukünftige Art der Beerntung bedacht werden. So darf die Hangneigung quer zur Fahrtrichtung nicht mehr als 20° betragen, um eine Ernte mit Maschinen zu ermöglichen (REIKE, 2008). Zur weiteren Planung gehört ein ausreichend großes Vorgewende von mindestens 10 m, welches auch bei schwierigen Witterungsverhältnissen befahrbar ist. Weiter sind LKW-taugliche Abfuhrwege in unmittelbarer Umgebung zu gewährleisten.

Erntemaschinen aus der Forsttechnik sind nicht so anfällig gegenüber Geländeunebenheiten und stärkeren Hangneigungen, sie benötigen kein Vorgewende und eignen sich für Plantagen mit längeren Umtrieben (BECKER & WOLF, 2009). Schwierige Standorte sollten deshalb mit längeren Ernteintervallen bewirtschaftet werden.

Als Vorfrucht bietet sich der Anbau von Getreide an, um eine unkrautfreie Fläche zu erhalten. Pflanzgut für KUP verlangt 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 ist das Anlegen einer Pflugfurche im Frühjahr möglich. 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.

Als weitere Möglichkeit bietet sich das tiefe Fräsen der Pflanzreihen an. Besonders für eine manuelle Pflanzung ist es vorteilhaft, da das Einbringen von Stecklingen und Pflanzen so gut möglich ist. Auf eine ausreichende Rückverdichtung ist zu achten. Durch die unbearbeiteten Zwischenfelder entsteht aber ein erhöhter Unkrautdruck auf die Pflanzen. Auch Mäuse können sich in diesen Streifen gut vermehren und erheblichen Schaden an den Jungpflanzen anrichten. Daher ist diese Form der Bodenvorbereitung nur in Einzelfällen ratsam (Biobetriebe).

Sieht man Grünland- oder Brachflächen (sofern rechtlich möglich) für Kurzumtriebsplantagen vor, ist die Grasnarbe sorgfältig umzubereiten oder durch Fräsen zu zerkleinern. Sind die Flächen stark verkrautet, empfiehlt es sich, bereits vor der Herbstbodenbearbeitung ein nicht selektives Herbizid auszubringen, um den Unkrautdruck zu minimieren. Des Weiteren ist auf einen Befall durch Drahtwürmer zu achten (siehe Kapitel Biotische Schadfaktoren).



Abbildung 5: Frische Pflanzfläche mit Weidenstecklingen



Abbildung 6: Handpflanzung mit zu grobem Pflanzbett und weitem Pflanzspalt

Der Anbau mehrerer Arten verringert das Betriebsrisiko, wobei die Mischung blockweise erfolgen sollte, um eine Konkurrenz zwischen den Arten zu minimieren und eine Behandlung oder Neuanpflanzung wirtschaftlich durchführen zu können.

Die **Hauptpflanzzeit** liegt in den Monaten März bis Mai. Zur Pflanzung sollte möglichst windstilles, trockenes, bedecktes Wetter vorherrschen. Empfehlenswert ist eine Pflanzung so früh wie möglich in dem frostfreien Boden. Dadurch kann die winterliche Bodenfeuchte von den Pflanzen genutzt werden, um die häufiger auftretenden Frühsommertrockenheiten besser zu

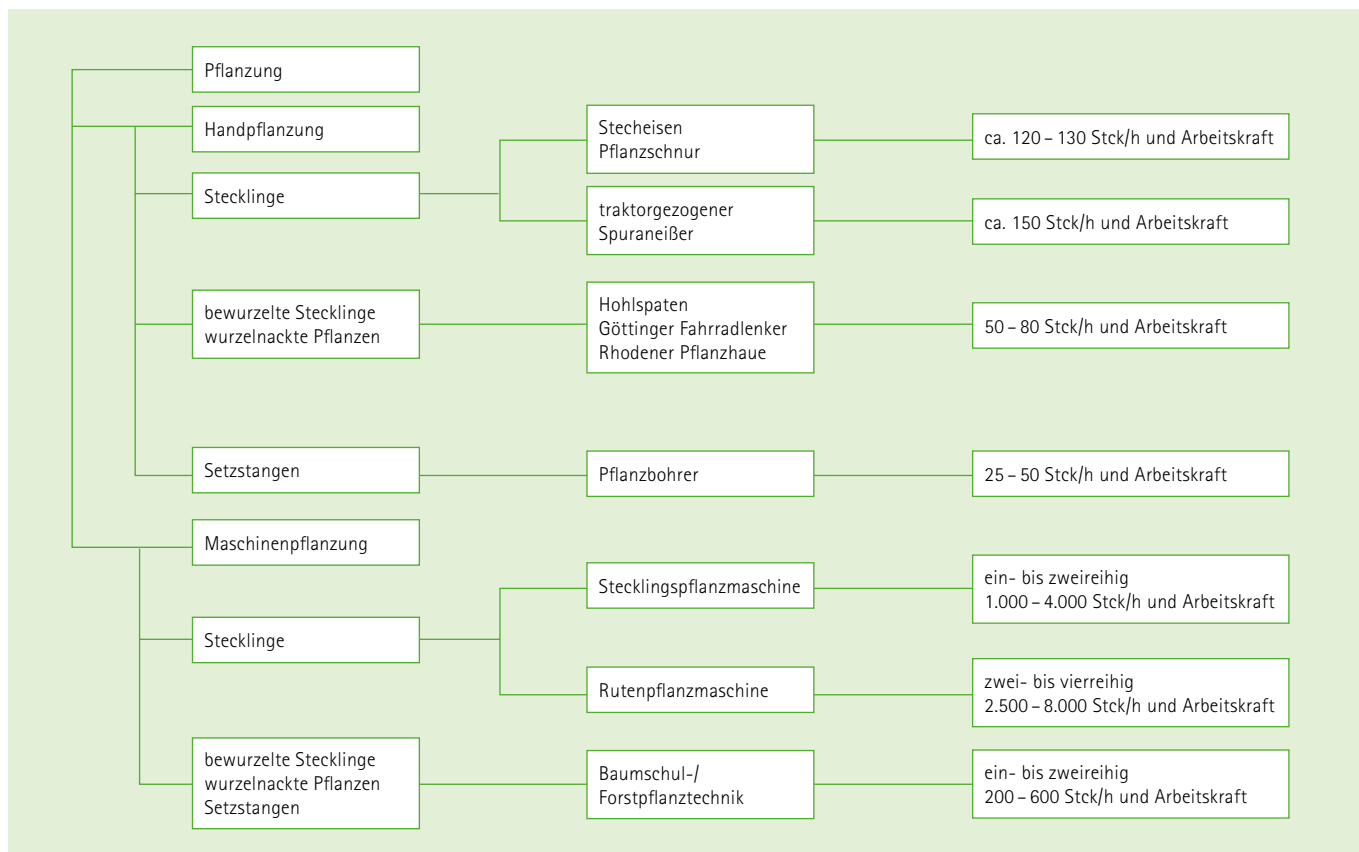


Abbildung 7: Mögliches Pflanzmaterial und dazugehörige Pflanztechniken schnellwachsender Baumarten

Quelle: BECKER (2014)

überstehen. Nach der Pflanzung reagieren besonders die Pappeln empfindlich auf Trockenperioden. Bei extremer Trockenheit ist deshalb eine Beregnung notwendig und die Unkrautbekämpfung zu intensivieren. Wassergaben von 20 – 30 mm/m² sind hierbei notwendig.

Herbstpflanzungen mit einjährigen Pflanzen (vorgezogene, wurzelnackte Pflanzen) bieten den Vorteil, dass sie im nächsten Frühjahr die Winterfeuchtigkeit ausnutzen können. Die Pflanzung sollte im September bis Oktober erfolgen, damit vor Eintritt des Frostes noch eine ausreichende Wurzelentwicklung erfolgen kann. Für die Herbstpflanzung sind Böden auszuwählen, die nicht zum Hochfrieren neigen. Bei ungünstiger Witterung ist ein Ausfrieren der Pflanzen möglich. Einjährige Pflanzen sind nur auf Standorten mit verstärktem Unkrautdruck bzw. mit eingeschränkten Bekämpfungsmöglichkeiten zu empfehlen (siehe Kapitel Pflanzgut).

Auf eine Einhaltung der Kühlkette ist unbedingt zu achten, um einen ausreichenden Wassergehalt der Stecklinge zu gewährleisten. Eine Möglichkeit, den Anwuchserfolg der unbewurzelten Steckhölzer zu verbessern, ist das ca. 24-stündige Wässern des Pflanzmaterials in geeigneten Behältern mit schwach fließendem Wasser. Ausgetrocknetes Pflanzgut ist mit dieser Maßnahme nicht reparabel! Die Pflanztiefe ist bodenartenabhängig zu wählen. Auf stark bindigen Böden ist ein leichter Überstand (ein Zentimeter bzw. eine Knospe) des Steckholzes notwendig.

Für alle anderen Böden ist die Pflanztiefe ebenerdig zu wählen. Überstände der Steckhölzer bedingen eine schwache Wurzelbildung bei gleichzeitiger verstärkter Triebbildung und führen zu hohen Anwuchsverlusten. Beim Pflanzvorgang ist darauf zu achten, dass die Knospen des Steckholzes nach oben zeigen. Wird bewurzelt Pflanzenmaterial verwendet, sind die Wurzeln in natürlicher Lage in das Pflanzloch zu platzieren. Knickungen und Stauchungen der Wurzeln stören den Saftfluss und gefährden die Standsicherheit. Ein offenes Zwischenlagern der bewurzelten und unbewurzelten Steckhölzer ist unbedingt zu vermeiden. Die feinen Faserwurzeln und Steckhölzer trocknen innerhalb von wenigen Minuten aus, insbesondere wenn sie Wind und Sonne ungeschützt ausgesetzt sind. Auch unbewurzelte Steckhölzer benötigen festen Kontakt zur umgebenden Erde. Hohlräume sind zu vermeiden, weil sie zum Vertrocknen der Pflanzen führen. Hiervon sind Pappelhölzer stärker betroffen als Weidenhölzer. Nach der Pflanzung empfiehlt sich, auf stark verunkrauteten Flächen ein Voraufaufmittel (Bodenherbizid) anzuwenden, dessen Wirkung bis zu 6 Wochen anhält oder ein direkt wirkendes Kontaktherbizid, um die Etablierung des Pflanzgutes zu verbessern. Bei allen Pflanzenschutzmaßnahmen ist eine Ausnahmegenehmigung nach § 22 Pflanzenschutzgesetz notwendig, da derzeit keine zugelassenen Mittel für den Kurzumtrieb existieren (siehe Kapitel Pflegemaßnahmen gegen Unkräuter, Stand 2014). Eine mechanische Bodenbearbeitung sollte nach dem Ausbringen nicht mehr erfolgen, um die Wirksamkeit der

Mittel nicht einzuschränken. Alternativ ist eine rein mechanische Pflege möglich. Untersaaten und Bienenweiden haben sich auf Grund der wuchshemmenden Wirkung und des Anstiegs der Mäusepopulation als ungeeignet erwiesen.

Die Pflanzung kann manuell oder maschinell je nach Flächengröße erfolgen (Abbildung 7). Aus Kostengründen und auf Grund der Flächenleistung ist das maschinelle Pflanzverfahren meist die kostengünstigere Wahl.

Hohe Pflanzzahlen verbessern die Unterdrückung der Begleitvegetation, erreichen einen höheren Biomassezuwachs im ersten Jahr und senken das Risiko einer Nachpflanzung. Sie verursachen aber auch höhere Pflanzkosten.

Für Plantagen zur energetischen Nutzung sind engere Pflanzverbände mit ca. 10.000 für Pappel und 13.000 Stück/ha für Weide günstig, um möglichst viel Biomasse zu erhalten. Eine zukünftige stoffliche Nutzung erfordert je nach Zielstellung einen Verband mit 1.000 – 4.000 Stück/ha zur Ausformung gerader und starker Stämme mit astfreien Schäften.

Der **Pflanzverband** sollte gleichmäßig und an die zukünftige Erntetechnik angepasst sein. Bei stofflicher Verwertung erfolgt die Ernte mit forstlicher Erntetechnik oder motormanuell (siehe Kapitel Ernte). Es wird geraten, einen Reihenabstand von mindestens 1,5 m einzuhalten, um eine Befahrbarkeit mit Erntemaschinen zu ermöglichen. Bewährt haben sich auf mittleren bis guten Standorten bei zehnjähriger Umtriebszeit Verbände von 3 × 2 m oder 3 × 3 m (SCHILDBACH & WOLF, 2009). Größere Pflanzverbände sind bei längeren Umtrieben oder sehr guten Standorten zu wählen.

Plantagen für energetische Zwecke benötigen für ihre Beerntung ebenfalls ein maschinenangepasstes Pflanzsystem. Üblich sind ein- und zweireihige Systeme (Doppelreihe speziell bei Weide). Der Pflanzverband sollte der verfügbaren Erntetechnik vor Ort angepasst werden. Es haben sich im Pflanzverband Abstände von mindestens 2,0 – 3,0 m (optimal 2,3 m) zwischen den Reihen bewährt. Innerhalb der Reihe betragen die Pflanzabstände 30 – 60 cm, je nach Bestandesdichte. Dieses Pflanzsystem ist auf einreihige Ernteaggregate abgestimmt (siehe Abschnitt Ernte). Erntemaschinen für zweireihige Erntesysteme können meist auch einreihige KUP ernten. Der Doppelreihenabstand liegt üblicherweise bei 75 cm, wobei die Doppelreihen zueinander einen Mindestabstand von 180 cm aufweisen müssen. Die vorhandene Pflanztechnik ist ebenfalls beim Erstellen des Pflanzsystems einzubeziehen. Durch die Nutzungsform und die dadurch geplanten Pflanzzahlen pro Hektar ergeben sich die dazugehörigen Pflanzabstände in der Reihe.

Auf kleinen Flächen (bis ca. 2 ha) oder maschinell schwierig befahrbaren Böden ist das Verfahren der Handpflanzung denkbar (Abbildung 6). Bei kleinflächiger Bestandesbegründung kann dies mittels Steckisen und Pflanzschnur oder bei guten Pflanzbedingungen bzw. Vorbereitung durch maschinelle Pflanztechnik ohne diese erfolgen. Durch sorgfältiges Festtreten der Erde ist der Bodenschluss zum Steckholz herzustellen. Die Flächen-



Abbildung 8: Pflanzmaschinen PL-10/3 zum Einbringen von wurzelackten Pflanzen



Abbildung 9: Zweireihige Stecklingspflanzmaschinen



Abbildung 10: Vierreihige Rutenpflanzmaschinen

leistung durch das manuelle Pflanzverfahren ist allerdings gering. Pro Arbeitstag werden für eine mittlere Bestandesdichte (ca. 12.000 Steckhölzer/ha) 0,3 – 0,5 ha/Arbeitstag (fünf Pflanzler) erreicht.

Bewurzeltetes Pflanzgut erfordert einen höheren Pflanzaufwand, allerdings können dadurch ein besseres Anwuchsverhalten und eine geringere Gefährdung gegenüber Frühsommertrockenheit erreicht werden (siehe Kapitel Pflanzgut). Für die Handpflanzung bewurzelter Stecklinge/Pflanzen eignen sich je nach Wurzelgröße der Hohlspaten, der Göttinger Fahrradlenker oder die Rhodener Pflanzhaue (50 – 80 Stück/h). Für das maschinelle Pflanzen können Pflanzmaschinen aus dem Baum- und Forstschulbereich herangezogen werden (Abbildung 8). Diese ein- bis vierreihig arbeitenden Maschinen sind für wurzelnackte Pflanzen, bewurzelte Stecklinge, Heisterpflanzen (vorgezogene hohe Jungbäume) und Setzstangen sehr gut, für Stecklinge weniger geeignet. Bewährte Maschinen aus diesem Bereich sind »Quickwood I«, »Quickwood II«, »Consitor« und PL-10. Die Arbeitsleistungen betragen bei der Pflanzmaschine Quickwood ca. 200 – 300 Stück/h und Arbeitskraft und bei Accord (zwei- bis vierreihig) 400 – 600 Stück/h und Arbeitskraft.

Maschinelle Pflanzverfahren sind leistungsstärker und daher für größere Flächen sinnvoll. Auf dem Markt sind seit einigen Jahren spezielle Pflanzmaschinen für Stecklinge, welche sich in der Verwendung des Pflanzgutes als Stecklingspflanzmaschinen und als Rutenpflanzmaschinen unterscheiden. Stecklingspflanzmaschinen verarbeiten bereits abgelängte Stecklinge (20 – 30 cm), die meist in einem Kettenfahrwerk hydraulisch in den Boden gedrückt werden. Dafür ist stärkeres, qualitativ hochwertigeres Pflanzgut bis drei Zentimeter Durchmesser notwendig. Die Maschinenbauart mit Kettenfahrwerk ermöglicht eine Anlage auf schwierig zu befahrenden Böden. Die meisten für Stecklinge benutzten Pflanzmaschinen sind zweireihige Systeme und für Flächen bis 5 ha gut geeignet (Abbildung 9). Für eine zweireihig arbeitende Pflanzmaschine (drei Arbeitskräfte) kann bei mittlerer Bestandesdichte von 10.000 Stück/ha auf sandig-lehmigen Böden mit einer Flächenleistung von ca. 2,5 – 5 ha/Tag kalkuliert werden. Verwendete Maschinen sind Rotor-Planter, Populus Planter und Wimateg (SP 5000).

Bei Rutenpflanzmaschinen erfolgt der Schnitt der Stecklinge direkt vor der Pflanzung aus 120 – 230 cm Ruten auf der Maschine, die anschließend in einen Pflanzspalt gepflanzt werden (Abbildung 10). Vorteile dieses Verfahrens sind die geringeren Pflanzmaterialkosten und ein in der Regel frischeres Pflanzmaterial (höherer Wassergehalt). Rutenpflanzmaschinen gibt es mit zwei oder vierreihigen Systemen. Zweireihige Pflanzmaschinen erreichen eine Flächenleistung von 5 – 7 ha/Tag, da der Pflanzungsprozess schneller abläuft, weil kein einzelnes händisches Zuführen der Stecklinge notwendig ist. Durch vierreihige Pflanzmaschinen erhöht sich die Leistung auf ca. 10 ha/Tag. Bekannte und bewährte Pflanzmaschinen sind Step Planter und Egedal Energy Planter (doppeltreihig bis vierreihig).

Die jeweilige Flächenleistung ist stark abhängig von der gewählten Bestandesdichte, dem Pflanzmaterial, den technischen Parametern der Maschine sowie den Bodenverhältnissen.

Entscheidend ist der Bodenschluss um den Steckling herum, was auf schweren Böden zu Schwierigkeiten und damit zu großen Ausfallraten führen kann. Bei der maschinellen Pflanzung ist darauf zu achten, dass die Steckhölzer zum umgebenden Boden vollständigen Kontakt haben, um ein sicheres Anwachsen zu gewährleisten. Ausschlaggebend dafür ist die Qualität der Pflanzbettbereitung. Zu beachten ist, dass der Boden ausreichend feinkrümelig bearbeitet wird. Dies gilt vor allem für eine Bodenvorbereitung bei zu feuchter Witterung.

Auf schweren Böden kann es deshalb erforderlich sein, durch zusätzliches Anwalzen während oder nach dem Pflanzen für einen festen Sitz der Steckhölzer im Pflanzloch zu sorgen.

Größere Pflanzsortimente wie Setzruten und Setzstangen benötigen zur Etablierung einen Pflanzbohrer oder eine vorgezogene Furche, die bis zu einem Meter Tiefe reicht.

Pflegemaßnahmen gegen Unkräuter



Abbildung 11: Partielle Verdämmung der Pflanzen durch Disteln

Pappeln und Weiden verfügen im ersten Standjahr nur über geringe Konkurrenzskraft gegenüber standortspezifischen Unkräutern. Der Bedeckungsgrad der Jungpflanzen beträgt nach 125 Tagen nur 10% (GEHRING et al., 2014). Wenn eine auf den Standort und den Unkrautbedeckungsgrad abgestimmte Bekämpfungsstrategie gewählt wird, die mechanische und/oder chemische Pflanzenschutzmaßnahmen vorsieht, kann eine erfolgreiche Etablierung stattfinden. Die Pflegemaßnahmen in Kurzumtriebsplantagen beschränken sich im Wesentlichen auf das erste und zweite Standjahr. Bis zur Wurzelentwicklung der Stecklinge in den ersten sechs bis acht Wochen ist unbedingt das Freihalten der Anwuchsfläche von Unkräutern zu gewährleisten. Dies ist Voraussetzung, um einen gesunden und ertragreichen Bestand zu etablieren. Zuwachsverluste in der Etablierungsphase wirken sich auf den gesamten Nutzungszeitraum negativ aus!

Eine mehrmalige, intensive Bodenvorbereitung verhindert das Aufkommen der Bodenvegetation schon entscheidend im Vorfeld. Untersaaten oder Nutzpflanzendecken (Bienenweiden) haben sich, insbesondere bei Kleeuntersaaten, durch die wuchshemmende Wirkung und den erhöhten Mäusebesatz nicht bewährt.

Als weitere Pflegemaßnahme wird bei starker, länger anhaltender Trockenheit ein Bewässern des neu gepflanzten Bestandes empfohlen, da meist Unkräuter mit einer angespannten Wassersituation besser zurechtkommen.

Auf unkrautwüchsigen Standorten sollten entweder im Herbst oder im Frühjahr vor dem Pflanzen aufgelaufene Unkräuter beseitigt werden. Hier haben sich nicht selektive Herbizide bewährt. Im Voraufbau bis zum Austriebsbeginn der Bäume stehen verschiedene Präparate zur Verfügung, die im ersten Standjahr flächendeckend sehr wirksam ein- und zweikeimblättrige Unkräuter bekämpfen (siehe Tabelle 6). Die beste Wirkung wird mit dem Aufbringen auf »schwarze« Böden (unkrautfrei) realisiert. In der Regel sind bei diesen Herbiziden keine weiteren Pflegemaßnahmen erforderlich. Da bisher keine Pflanzenschutzmittel nach dem Pflanzenschutzgesetz (Stand 2014) für die Kultur schnellwachsende Baumarten zugelassen sind, ist ihr Einsatz nur nach § 22 Pflanzenschutzgesetz (Genehmigung im Einzelfall) möglich. Bei einer Anpflanzung als ökologische Vorrangfläche (Greening) ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht erlaubt.

Gute Erfahrungen wurden besonders mit dem **Bodenherbizid** »Flexidor« gesammelt, das bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit eine lang anhaltende Wirkung gegen zweikeimblättrige Unkräuter entfaltet. Bei Aufkommen von Ungräsern und Hirsen ist der Einsatz von »Fusilade Max« bei einer Aufwandmenge von zwei Litern je Hektar auch in weiterentwickelten Baumbeständen (40–60 cm Wuchshöhe) möglich. Gegen eine Spätverunkrautung des Baumbestandes im Herbst des ersten Standjahres kann »Kerb Flo« nach Eintritt der Vegetationsruhe der Bäume angewendet werden.

Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein ergaben eine sehr gute und lang anhaltende Wirkung der Kombination »Terano« mit »Stomp Aqua«. Ebenfalls erzielte »Vorox F« als alleiniges Wirkungsmittel oder in Kombination mit »Stomp Aqua« sehr gute Ergebnisse (LANGE & HEINEKING, 2013). Die Zulassung vom Herbizid »Terano« endet am 31.12.2014.

GEHRING et al., (2014) prüften Versuchsreihen zum Einsatz von Herbiziden im bayrischen Tertiären Hügelland an den Klonen Max4 und Hybrid 275 bzw. an »Inger« und »Tordis«. Als Mittel bewährten sich die Herbizide »Artist« und »Spectrum Plus« (derzeit noch nicht zugelassen). Die Kulturverträglichkeit der untersuchten Herbizide »Lontrel 100« (bei Hybrid 275 gering) und »Stomp Aqua« war teilweise eingeschränkt, aber noch vertretbar. Die Schädigung des

Herbizids »Katana« auf die Anpflanzungen war dagegen massiv. Die verwendeten Pappeln reagierten sensibler auf die angewandten Mittel, Hybrid 275 mehr als Max4. Die Kombination von »Stomp Aqua« + »Artist«, »Spectrum Plus« + »Cadou«, »Spectrum Plus« + »Sencor WG« und »Stomp Aqua« + »Aramo« erbrachte sehr gute Wuchshemmung der Unkräuter bei akzeptabler Beeinträchtigung der Jungpflanzen.

Eine Verstärkung der Wirkung durch eine Doppeldosis gegenüber der angegebenen Einzeldosis konnte in Herbizidversuchen nicht signifikant nachgewiesen werden.

Unter den **mechanischen Verfahren** hat sich der Einsatz der Roll- oder Scharhacke bewährt. Beide Geräte bekämpfen zwischen den Pflanzenreihen durch Hacken und Verschütten die sich im Auflauf befindenden Unkräuter effektiv. Boden- und Hackfräsen beseitigen heranwachsende Unkräuter ebenfalls gut. Ihr Einsatz kann aber bestimmte Bodeneigenschaften nachteilig beeinflussen. Sandige Böden werden durch diese Geräte stark aufgelockert. Dies fördert das schnelle Austrocknen der obersten Bodenschicht. Auf schweren Böden können Frässhöhlen entstehen, die eine Ausbildung der Baumwurzeln behindern. Die mechanischen Pflegemaschinen wirken nur sehr unvollkommen gegen die Unkrautflora in den Reihen.



Abbildung 12: Flächiger Unkrautdruck auf die gesteckten Gehölze



Abbildung 13: Einsatz von Mulchfolie zur Unkrautbekämpfung

Tabelle 6: Auswahl von möglichen Herbizidmaßnahmen in Kurzumtriebsanlagen

Mittel	Wirkstoff	Menge	Wirkung	Einsatzpunkt	Zulassung bis
Stomp Aqua	Pendimethalin	3,5 l/ha	zweikeimblättrige Unkräuter im VA	Gehölze im VT bis Austriebsbeginn, mittlere bis schwere Böden	31.12.2017
Bacara	Diflufenican/ Flurtamone	1,5 l / ha	Bodenherbizid zur Bekämpfung von aus Samen auflaufenden zweikeimblättrigen Unkräutern	nach der Pflanzung bis Austriebsbeginn	31.12.2017
Fusilade Max	Fluazifop-p	2 l / ha	einkeimblättrige Unkräuter, vor allem Unkrauthirsen	nach der Pflanzung bis voller Blattaustrieb	31.12.2022
Kerb Flo	Propyzamid	3,75 l / ha	ein- und zweikeimblättrige Unkräuter	Herbstanwendung, wenn Gehölze in Vegetationsruhe sind	31.12.2017
Vorox F	Flumioxazin	1,2 kg/ha	zweikeimblättrige Unkräuter im VA	Gehölze im VT bis Austriebsbeginn, mittlere bis schwere Böden	31.12.2016
Boxer	Prosulfocarb	5 l / ha	Unkräuter im VA bis erstes Laubblatt	Gehölze im VT bis Austriebsbeginn, mittlere bis schwere Böden	30.9.2015
Flexidor	Isoxaben	1 l / ha	Unkräuter im VA	Gehölze im VT bis Austriebsbeginn, mittlere bis schwere Böden	31.12.2021
Artist Cadou SC Sencor WG*	Flufenacet/ Metribuzin Flufenacet Metribuzin	2,5 kg/ha 0,3 – 0,5 l/ha 0,75 kg/ha	Unkräuter im VA	Gehölze im VT bis Austriebsbeginn, mittlere bis schwere Böden	31.12.2016
Fusilade Max* Aramo Gallant Super	Fluazifop-p Clethodim Tepraloxydim Haloxypop-R		einkeimblättrige Unkräuter	Gehölze im VT bis Austriebsbeginn	31.12.2022 31.12.2015 31.12.2022
glyphosathaltige Herbizide	Glyphosat	Dosierung nach Herstellerangaben	ein- und zweikeimblättrige Unkräuter	bis 3 – 4 Tage vor der Pflanzung	je nach Mittel zu beachten

* Einsatz auch bei vollem Blattaustrieb möglich; VT = Voraustrieb; VA = Voraufbau

Die Schreibweise der Namen der Pflanzenschutzmittel erfolgt unabhängig von der Handelsbezeichnung einheitlich in Kleinbuchstaben.

Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009), GEHRING et al. (2014), LANGE & HEINEKING (2013)

Um eine herbizidfreie Bestandesbegründung wie sie in Wasserschutzgebieten oder im Biolandbau gefordert wird erfolgreich umzusetzen, bedarf es einer weitreichenden Planung. Schon die Baumartenwahl und die Auswahl des Pflanzgutes beeinflussen das weitere Vorgehen. Bewurzelte Steckhölzer eignen sich für die rein mechanische Unkrautbekämpfung am besten, da das vorhandene Bewurzelungssystem einen konstanten kräftigen Wuchs ermöglicht. Stecklingen fehlt es an genügend Konkurrenzvermögen und wurzelnackte Pflanzen trocknen oft durch die hohe Blattmasse im Laufe des Wachstums zurück. Der Einsatz von Setzstangen ist für eine Begründung energetisch genutzter Plantagen meist zu teuer.

Außer dem schon eingangs beschriebenen Einsatz von Roll- oder Scharhacken, Striegeln oder Eggen ist deren Einsatzzeitpunkt wichtig. Dabei ist der frühzeitige und mehrfache Einsatz von besonderer Bedeutung. Ein zu langes Warten macht eine anschließende, manuelle Pflege notwendig (Abbildung 11 und 12). Schon das beginnende Auftreten von Unkräutern muss be-

kämpft werden, nicht erst die anschließende Konkurrenzsituation mit dem Pflanzgut. Für spätere Pflegemaßnahmen eignet sich das Mulchen oder Mähen. Bei auftretenden Winden-Arten ist das Entfernen der Pflanzen vor dem ersten Hochranken unbedingt durchzuführen.

Mulchfolien aus dem Gartenbau eignen sich insbesondere für die Anlage von Agroforstsystemen, dem Streifenanbau oder Flächen bei denen die regelmäßige Begleitwuchskontrolle nicht möglich ist (Abbildung 13). Wichtig dabei ist die windfeste Verankerung der Folien und das ausreichende Herausragen der Stecklinge. Ein nicht zu unterschätzender Aspekt ist der längere Verbleib der Bodenfeuchte, was zu einem besseren Anwuchsverhalten führt. Die Materialkosten liegen bei ca. 0,20 €/m² und mit biologisch abbaubarer Folie bei 0,30 €/m² (SPANGENBERG et al., 2011). Der Zeitaufwand für das Verlegen, Sichern und Entfernen der Folie ist beachtlich.

Biotische Schadfaktoren

Pappeln und Weiden können im Verlauf ihrer Entwicklung von zahlreichen Krankheiten und Schädlingen befallen werden. Der Anbau weniger Klonsorten und die dadurch eingeschränkte Diversität verursachen eine höhere Anfälligkeit für biotische Schäden. Die stetige Zunahme von KUP-Anbauflächen bringt auch eine Erhöhung der biotischen Schäden mit sich.

Ausgelöst werden sie durch Pilze, Viren, Bakterien, Säugetiere, aber auch Insekten. Durch die vergleichsweise neue Bewirtschaftungsform gibt es bisher noch wenig Erfahrung mit der längerfristigen Entwicklung der Schadfaktoren. Nachfolgend werden die Schaderreger aufgeführt, die entweder durch ihre Häufung oder ihr Schadpotenzial in KUP von Bedeutung sind. Treten mehrere Schadsymptome gleichzeitig auf, können deren Auswirkungen den Plantagenbestand gefährden.

Eine Vielzahl der Schadfaktoren ist klonspezifisch stark unterschiedlich. Eine Züchtungsform, die gegen einen Großteil der Schaderreger resistent ist, findet sich derzeit nicht. Daher sollte ein breites Spektrum an Klonen beim Anbau verwendet werden, um eine dauerhafte Bewirtschaftung zu ermöglichen.

Ein Schadbild an Blättern und Trieben der Pappel und Weide sind **Rostpilze** der Gattung *Melampsora spec.* (Abbildung 14 und 15). Die Empfindlichkeit gegenüber den Rostpilzen ist genetisch bedingt. Bei Anlage einer KUP sollte auf resistente Sorten zurückgegriffen werden bzw. sollten mehrere verschiedene Sorten Verwendung finden, um einen zukünftigen Befall zu minimieren. Die Sorten »Beaupré«, »Unal«, »Raspalje«, »Rap« und »Donk« sind auf Grund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Rostpilzen nicht mehr für einen Anbau zu verwenden.

Der Befall wird durch feuchtwarme Witterung und die Nähe zu Lärchen (*Larix spec.*) begünstigt, welche für bestimmte Arten des Pilzes (z. B. *Melampsora larici-populina*) als Zwischenwirt dienen und dadurch die Befallswahrscheinlichkeit erhöhen. Ein Abstand von minimal 500 Metern, optimal zwei Kilometern zum nächsten Lärchenbestand ist empfehlenswert (TUBBY, 2005). Die Symptome beginnen auf der Blattunterseite der unteren Blätter mit Bildung der typischen erhabenen Sporenlager und breiten sich auf den ganzen Baum aus. Je nach Grad des nachfolgenden Blattverlustes kommt es zu einem Ertragsrückgang. Dabei spielen die Befallsstärke und der Befallszeitpunkt der Pflanze eine wesentliche Rolle. Spätsommerlicher Befall verzö-



Abbildung 14: Pappelblattrost (*Melampsora spec.*) am Pappelklon Beaupré



Abbildung 15: Uredosporienlager des Pilzes auf der Blattunterseite (Sorte Beaupré)



Abbildung 16: Triebspitzenkrankheit (*Ventura populina*) an Pappel

gert das Verholzen der Jahrestriebe, was die Frostempfindlichkeit erhöht. Des Weiteren nimmt die Gefahr von Sekundärinfektionen (Zweitinfektion) zu (GEORGI & MÜLLER, 2013).

Ein hohes Resistenzniveau weisen asiatische Balsampappeln auf (SINNER, 1996). Eine Behandlung mit Fungiziden ist durch die Höhe der Bestände nur mit Spezialmaschinen durch mehrmaliges Befahren möglich und daher wirtschaftlich nicht umsetzbar.

Wirtschaftlichen Schaden an Kurzumtriebsplantagen verursacht die **Triebspitzenkrankheit** (*Ventura populina*, *Ventura macularis* bei Pappeln; *Ventura saliciperda*, *Ventura radiosa* bei Weiden) (Abbildung 16). Die Triebspitzenkrankheit führt zum Absterben von Blättern und Trieben. Diese verfärben sich schwarz. Bei wiederholtem Befall verbuschen die Pflanzen. Junge Pappeln und Weiden sterben durch den Befall ab. Die Infektion erfolgt im Frühjahr durch Ascosporen. Sie geht von auf dem Boden liegenden, befallenen Blättern aus. Eine Infektion kann auch über die Konidien (Sporen der Pilze) ausgelöst werden, die sich an abgestorbenen Trieben befinden. Sie infizieren gesunde Blätter. Feuchte Witterung begünstigt die Ausbreitung der Krankheit im Bestand. Genetisch belastete Pappelbestände sterben meist frühzeitig ab. Ein Antrag für die Anwendung des Mittels Previcur N (Wirkstoff: Propamocarb-Hydrochlorid; 722 g/l) zur Bekämpfung der Triebspitzenkrankheit in Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide nach § 22 PflSchG wurde wegen der nicht abschätzbaren Auswirkungen auf den Naturhaushalt abschlägig beschieden. Dem Mittel wurde aber keine Rückstandsrelevanz attestiert (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2008).

Eine weitere pilzliche Erkrankung der Rinden- und Astbereiche ist der **Rindenbrand** der Weide (*Glomerella spec./Colletotrichum spec.*) und der Pappel (*Cryptodiaporthe populea*). Durch den Rindenbrand sterben die Äste bzw. die oberen Kronenpartien ab (SCHULZKE et al., 1990). Der Pappelrindenbrand befällt in erster Linie Schwarzpappeln und deren Hybriden. Balsampappeln, mit Ausnahme der Sorte »Androskoggin«, gelten als resistent. Der Pilz weist ein großes Schadpotenzial auf. Die Infizierung erfolgt außerhalb der Vegetationszeit an Blattnarben, auch bei Temperaturen unter vier Grad Celsius (GEORGI & MÜLLER, 2013). Im Frühjahr sind deutlich abgegrenzte eingefallene Rindenbereiche zu erkennen, unter dem das Kambrium (Wachstumsschicht zwischen Splintholz und Borke) abgestorben ist. In der Regel schafft es der Baum nicht, diese Stellen zu überwallen, weitere Pilze dringen durch die Wunde ein und destabilisieren den Baum. Großflächige Bereiche von KUP können umbrechen. Junge, mit Rindenbrand befallene Pflanzen sterben meist ab.

Ferner sind der **Bakterienkrebs** der Pappel (*Xanthomonas populi*), die **Brennfleckenkrankheit** (*Marssonina spec.*), **Rutenbrennerkrankheit** (*Glomerella miyabeana*) sowie **Rindenschorf** (*Pollaccia saliciperda*) als weitere mögliche auftretende Krankheiten zu nennen. Auf nährstoffreichen, gut mit Wasser versorgten Standorten kann die **Rindennekrose** (*Fusarium spec.*) zum Absterben größerer Rindenflächen führen (LIEBHARD, 2007).



Abbildung 17: Großer Pappelblattkäfer (*Chrysomela populi*)



Abbildung 18: Massenvermehrung des Großen Pappelblattkäfers (*Chrysomela populi*) auf einer beernteten KUP

Neben Pilzen und Bakterien schädigen Insekten die Blätter, Knospen und Triebe der Bäume.

Hier sind es vor allem der **Große Pappelblattkäfer** (*Chrysomela populi*; Abbildung 17), der **Kleine Pappelblattkäfer** (*Chrysomela tremulae*), der **Weidenblattkäfer** (*Phratora vitellinae*, *Phratora vulgatissima*) und verschiedene **Blattwespen** (z. B. *Nematus papillosus*, *N. pavidus*, *N. caeruleocarpus*) zu nennen, deren Befall sich bestandesgefährdend auswirken kann.

Ein Befall mit dem **Großen Pappelblattkäfer** (Abbildung 18) kann zu starken Fraßschäden bis hin zum Zusammenbrechen einer KUP führen. Der Pappelblattkäfer bevorzugt junge Blätter, insbesondere von Max-Klonen, die durch Larve und Käfer gefressen werden. Der 9 – 12 mm große Käfer legt Eier an der Blattunterseite und an Ästen ab, aus denen nach einer Woche die Larven schlüpfen. Innerhalb von zwei Wochen entwickeln sie sich vom ersten zum dritten Larvenstadium. Anschließend findet eine Verpuppung an der Blattunterseite oder an der Begleitvegetation statt.

Schad Auswirkungen sind vor allem an jungen Beständen und nach der Ernte im Frühjahr zu beobachten. Kurze Umtriebszeiten fördern die Entwicklung der Art (GEORGI & MÜLLER, 2013). Befinden sich bei einer Neubegründung einer Plantage bereits befallene Plantagen in der Nähe (weniger als einen Kilometer entfernt), kann dies zu verstärktem Befall führen. Auf Grund der jungen Blätter und Triebe sind die Steckhölzer sehr attraktiv für den Pappelblattkäfer, weshalb diese übersiedeln. Bereits ab einer Befallsdichte von einem Käfer pro Steckling ist ein Absterben der Plantage möglich. Trockene Witterungsverhältnisse können die Absterbeerscheinung verstärken.

Nach erfolgter Ernte der Pappeln finden die überwinterten Käfer im darauffolgenden Frühjahr keine Nahrung mehr vor und beginnen sofort die Stockaustriebe der Pappel zu fressen. Erfolgt ein hoher Befall mit Großen Pappelblattkäfern im Jahr nach der Ernte, kann Kahlfraß und anschließendes Absterben der Wurzelstöcke auftreten. In älteren, bestockten Plantagen können sich aufgrund der hohen Blattmasse hohe Käferpopulationen entwickeln, ohne nennenswerte Schäden anzurichten. Sehr hohe Dichten an Käfern schaffen allerdings, den Austrieb komplett zu unterdrücken. Ist bis Ende Mai noch kein Austrieb erfolgt, sollte eine Bekämpfung der Käfer erfolgen, um weitere Zuwachsverluste und ein Absterben der Stöcke zu verhindern (GEORGI & MÜLLER, 2013).

Der **Kleine Pappelblattkäfer** (*Chrysomela tremulae*; Abbildung 19) tritt nicht so häufig auf wie der Große Pappelblattkäfer (*Chrysomela tremulae*), hat jedoch auch das Potenzial zur Massenvermehrung. Die Lebensweise des Käfers ist der des Großen Pappelblattkäfers sehr ähnlich. Die Larven fressen ebenfalls an den untersten Blättern einer Pflanze. In Kombination mit dem Großen Pappelblattkäfer ist ein Kahlfraß von Plantagen möglich.

Zu den **Weidenblattkäfern** (Abbildung 20) gehören die **Metallischen Weidenblattkäfer** (*Phratora vitellinae*), die vorwiegend an der Pappel, und die **Blauen Weidenblattkäfer** (*Phratora vulgatissima*), die an der Weide vorkommen. Beide Arten besitzen eine starke Sortenpräferenz (Bevorzugung bestimmter Sorten). Ende März/Anfang April kommt es zum Schwärmen der Käfer, die häufig außerhalb der Plantagen in geeigneten »Unterschlüpfen« (Rindenverwachsungen, Astnarben, Faulstellen) überwintern. Die Käfer sind mit 4 – 5 mm wesentlich kleiner als die Pappelblattkäfer und auffallend metallisch glänzend. Die Eiablage der Käfer beginnt Ende April/Anfang Mai an der Blattunterseite. Die schlüpfenden Larven fressen gesellig. Dadurch sind sie von den Pappelblattkäferlarven zu unterscheiden (HELBIG et al., 2013). Nach zwei Wochen lassen sich die Larven zum anschließenden Verpuppen auf den Boden fallen. Starke Populationsdichten können bei Pappelbeständen zum völligen Entlauben führen, der Fraßschaden kann aber meist von den Beständen ausgeglichen werden. Bei einem mehrmaligen Befall besteht die Gefahr des Zurücktrocknens der Triebe mit anschließender möglicher Pilzinfektion. Eine Bekämpfung bei Massenvermehrungen ist möglich, bei einem Auftreten in mehrjährigen Beständen aufgrund der Pflanzhöhe jedoch nur mit Spezialtechnik aus dem Gartenbau.



Abbildung 19: Kleiner Pappelblattkäfer (*Chrysomela tremulae*)



Abbildung 20: Weidenblattkäfer (*Phratora spec.*)

Eine Vielzahl von Schädlingen kann auch am Holzkörper auftreten. In Pappelplantagen kommen die Larven des **Großen** und **Kleinen Pappelbocks** (*Saperda carcharias* bzw. *Saperda populina*) im Holzkörper vor. Der Kleine Pappelbock ist mit 9 – 15 mm Millimetern nur halb so groß wie der Große Pappelbock (Abbildung 21) mit 20 – 30 mm Länge. Bei beiden Arten schädigen die Larven den inneren Stamm- und Wurzelbereich, die Käfer fressen an den Blättern. Der Kleine Pappelbock bohrt sich in junge Stämme oder Zweige ein und verursacht so eine Schadstelle, die bei größerer Belastung (z. B. Sturm) brechen kann (Abbildung 22). Die Larven des Großen Pappelbocks (Abbildung 23) kommen fast ausschließlich im Holz von älteren Stöcken (älter als fünf Jahre) vor (Abbildung 24), wo sie meist erst nach der Ernte sichtbar werden. Durch die Bindung an stärkere Holzdimensionen verursachen sie vor allem wirtschaftliche Schäden im Stammholz, was zur stofflichen Verwendung genutzt wird.

Drahtwürmer die Larven der Schnellkäfer (Fam. *Elaterridae*), können wie im Kartoffel- und Maisanbau auch in KUP beachtlichen Schaden anrichten. Die Larven entwickeln sich mehrere Jahre



Abbildung 21: Großer Pappelbockkäfer (*Saperda carcharias*)



Abbildung 23: Larven des Großen Pappelbockkäfers (*Saperda carcharias*)



Abbildung 22: Typische Verdickung des Triebes mit Ausflugloch des Käfers des Kleinen Pappelbocks (*Saperda populina*)



Abbildung 24: Bohrmehl der Larven des Großen Pappelbockkäfers (*Saperda carcharias*)

(bis 5 Jahre) nach oben. Nur im Frühjahr und Herbst kommen sie in den Oberboden und verursachen Schäden an den Wurzeln. Eine stark mit Drahtwürmern befallene Fläche sollte nicht als KUP genutzt werden, da die Etablierung der Gehölze schwierig ist und die Larven im Boden schwer bekämpft werden können. Eine Bestandeskontrolle wird mit Hilfe von keimendem Weizen, Kartoffeln oder Mais an 20 Köderstellen/ha mit einer Tiefe von 10 cm durchgeführt. Nach einem Zeitraum von 4–7 Tagen sind die Fallen zu kontrollieren und eine Zählung der Larven kann erfolgen. Im Marktfruchtanbau liegt der kritische Wert bei 2–6 Würmern/m².

Blattwespen (z. B. Kleine Pappelblattwespe, [*Nematus papillosus*]; Dunkle Pappelblattwespe, [*N. pavidus*]; Kleine Weidenblattwespe, [*N. caeruleocarpus*]) können durch Blattfraß der Larven zu starken Schäden in KUP führen. Die genannten Arten können durch ihre schnelle Vermehrung und dem Auftreten von mehreren Generationen pro Jahr zu Massenvermehrungen führen und besitzen deshalb ein hohes Schadpotenzial.

Die Überwinterung erfolgt als Larve in Kokons im Boden. Die Larven verpuppen sich im Frühjahr und erscheinen ab Mai als Imagines. Nach der Eiablage an der Blattunterseite schlüpfen nach einer Woche die Junglarven, die anfangs Lochfraß an den Blättern verursachen. Die Entwicklung dauert 2–3 Wochen mit Fraß der gesamten Blätter und anschließender Verpuppung am Boden. Innerhalb einer Vegetationsperiode wiederholt sich der Vorgang bis zu zweimal. Die Blattwespengenerationen können so in wenigen Wochen ganze Bestände entlauben (GEORGI & MÜLLER, 2013).

Der Blattfraß der Kleinen Pappelblattwespe und der Kleinen Weidenblattwespe erfolgt von unten nach oben unter Meidung der jungen Blätter. Dadurch ist eine frühzeitige Erkennung schwierig. Die Dunkle Pappelblattwespe frisst dagegen am Baum von oben nach unten unter Bevorzugung der jungen Blätter. Etablierte Bestände können einen Kahlfraß verkraften, solange keine weiteren schädigenden Einflüsse dazukommen. In Mutterquartieren verursachen die Fraßschäden nicht nur Zuwachseinbußen, sondern auch schlechte Qualitäten am Vermehrungsgut. Hier ist ein frühzeitiger Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu empfehlen.



Abbildung 25: Fraßbild der Keulhornblattwespen (Fam. *Cimbicidae*)

Der Fraß von **Keulhornblattwespen** (Fam. *Cimbicidae*) ist optisch auffällig. Die adulten Tiere verursachen mit ihren Mundwerkzeugen ringförmige Verletzungen an jungen Trieben zur Nahrungsaufnahme von Pflanzensäften (Abbildung 25). Diese Verwundung wird vom Baum überwältigt, wobei ein markanter Ring entsteht. Die geschädigten Triebe neigen dazu, an dieser Stelle bei stärkerer Belastung zu brechen. Wirtschaftlich relevante Schäden treten deshalb fast ausschließlich in Mutterquartieren auf, wodurch sich die Ernte an verwertbaren Stecklingen reduziert.

Weitere, häufig in KUP auftretende Schädlinge, die meist keine wirtschaftlich erkennbaren Schäden anrichten, sind **Blattroller** (*Byctiscus populi*), **Grünrüssler** (*Phyllobius spec.*), **Gallmücken** (z. B. *Dasineura marginemtorquens*) und **Weidenkahneule** (*Earias chlorana*).

Beim Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb besteht generell die Gefahr, dass sich auf diesen Flächen **Schermäuse** (*Arvicola amphibius*) und **Feldmäuse** (*Microtus arvalis pal.*) in stärkerem Maße ansiedeln. Insbesondere die Schermaus kann in hoher Bestandsdichte auftreten. Sie nagt hauptsächlich während des Winters an Wurzeln der Laubgehölze. Es werden auch Altbäume befallen und bis auf die Hauptwurzeln beffressen. Bei einem hohen Befall können die Bäume vertrocknen. Besonders Neupflanzungen sind gefährdet. Die Pflanzen sind an ihrer Schrägstellung zu erkennen und lassen sich von Hand aus dem Boden ziehen. Bis zu 50 % des Jungbestandes können auf diese Weise vernichtet werden (FORTMANN, 2002).

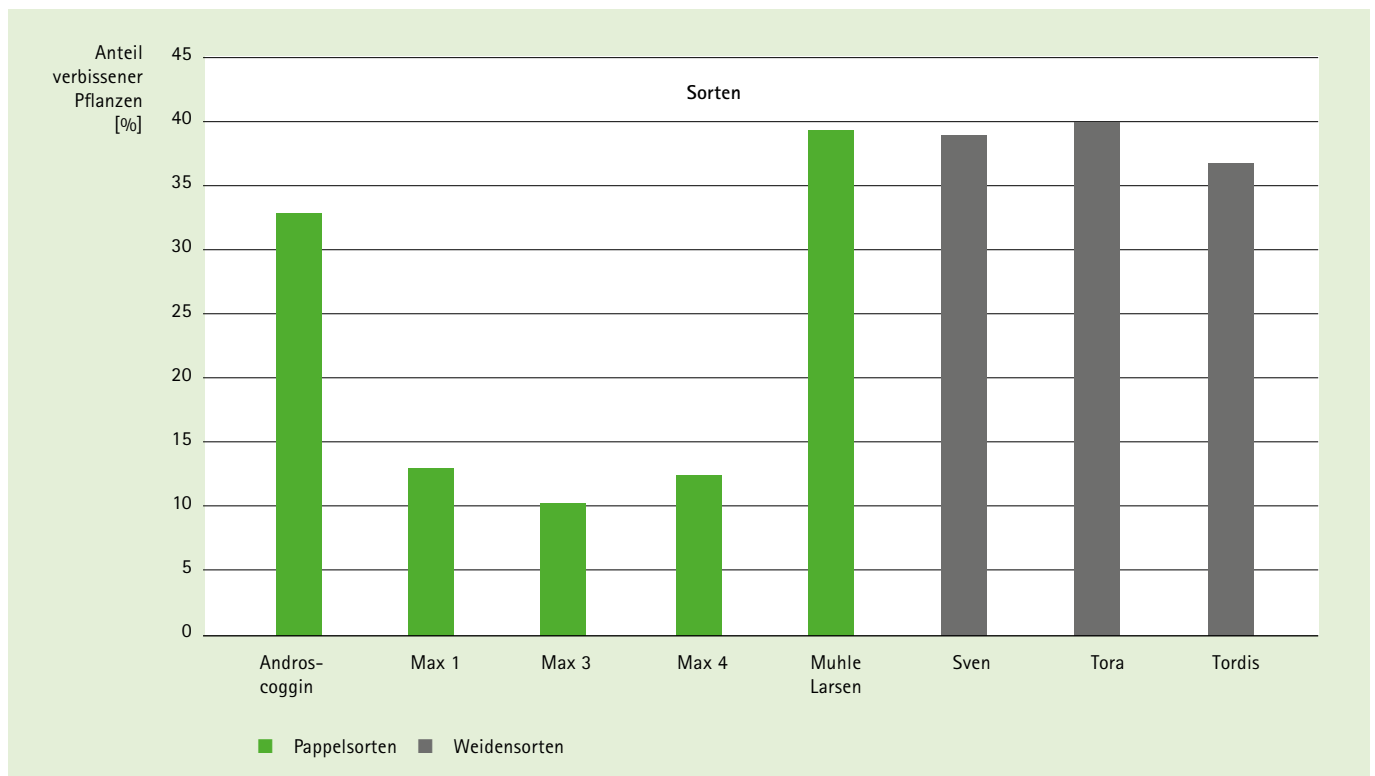


Abbildung 26: Wildverbiss durch Reh- und Rotwild an verschiedenen Pappel- (grün) und Weidensorten (grau) auf drei Versuchsplantagen im Jahr 2008
Quelle: HELBIG & MÜLLER (2010)



Abbildung 27: Mehrmaliger Fegeschaden von Rehwild an Pappel mit erkennbaren Zuwachseinbußen

Erd-, Feld- und Rötelmaus (*Microtus agrestis*, *Microtus arvalis*, *Myodes glareolus*) nagen ringförmig am Wurzelhals und der Rinde meist junger Bäume, was zur Schwächung des Baumes oder dessen Absterben führt. Das Reduzieren der Bodenvegetation durch Mulchen oder Herbizide unterbindet hohe Mäusepopulationen. Auch das Aufstellen von Sitzstangen für Greifvögel kann Massenvermehrungen vorbeugen. Neuanpflanzungen sind sorgfältig auf Befall zu kontrollieren. Ist eine erhöhte Bestandsdichte an Mäusen ($\geq 0,1$ Tier/m² durch Probefänge, Loch-Tret-Methode) festgestellt worden, wird eine Bekämpfung empfohlen. Eine Begasung der Baue oder das Ausbringen von zugelassenen Rodentiziden (chemisches Mittel zur Bekämpfung von Nagetieren) per Hand, Auslegegerät oder Schermauspflug ist möglich. Für das Auslegen der Köder ist ein Sachkundenachweis erforderlich. Fünf Körner mit Zinkphosphid werden pro Mausloch mit einer Legeflinte ausgebracht. Der einzige zugelassene Wirkstoff Zinkphosphid verliert jedoch Ende 2014 seine Zulassung.

Die Anlage einer Plantage in Gewässernähe mit **Biber**besatz kann zu massiven Fraßschäden, insbesondere in den Randbereichen führen. Daher sollte ein Abstand von mindestens 30 m zum nächsten, ganzjährig wasserführenden Gewässer eingehalten werden, da sich Biber selten mehr als 20 m vom Gewässerrand

entfernen (SCHWAB, 2009). Ein geringer Weichlaubholzanteil in Gewässernähe verursacht eine intensivere Suche nach Nahrung in größerer Entfernung zum Gewässer. Als maximale Distanz für die Nahrungssuche über Land geben ZAHNER et al. (2009) 200 m an. HELBIG & MÜLLER et al. (2008) nennen einen Abstand von 500 m.

Für viele **Schalenwild**arten bieten besonders junge Austriebe in KUP eine beliebte Äsung. In waldarmen Gebieten oder bei hoher Wilddichte können große Schäden an Plantagen entstehen, die zum Absterben der Wurzelstöcke führen (FRIEDRICH, 1999). Besondere Auswirkung kann der Verbiss in den ersten beiden Anbaujahren und jeweils im ersten Jahr nach der Ernte haben. Vor allem kleinere Anlageflächen insbesondere mit Weide sind gefährdet.

Untersuchungen zum Verbiss zeigen eine deutliche Bevorzugung der Weidenarten. Die Pappelklone »Androskoggin« und »Muhle Larsen« zeigen den stärksten Verbiss (HELBIG & MÜLLER, 2010; Abbildung 26). Eine Reduzierung von Wildverbiss, aber auch von Fegen (Abbildung 27) und Schälen (Rotwild) kann nur durch eine Reduzierung der Wildbestände erreicht werden. Eine Zäunung der Flächen macht einen Anbau meist unwirtschaftlich (Zaunkosten 7 €/l/m).

Eine Vielzahl von **Nützlingen** kann das Ausbreiten von Schädlingen in KUP verzögern bzw. ganz unterbinden. Die **Parasitischen Wespen** zählen zu den bedeutendsten natürlichen Gegenspielern von Schädlingen. Sie unterscheiden sich von den Blattwespen durch ihre so genannte »Wespentaille«, eine Einschnürung des Hinterleibes, die diese nützlichen Gegenspieler meist charakterisiert (GEORGI & MÜLLER, 2013). Zu diesen Nützlingen zählen die Schlupfwespen und Erzwespen, welche die Eier und Larven der Schädlinge parasitieren und deren Population entscheidend schwächen können. Parasitische Fliegen, zu denen die **Raubfliegen** (*Cleonice callida*) gehören und die Gruppe der **Schwebfliegen** bzw. deren Larven sind weitere wichtige Räuber von Schädlingen.

Gegen pilzliche und tierische Schädlinge in KUP mit schnellwachsenden Baumarten sind Pflanzenschutzmittel nur auf Antrag zugelassen. Genehmigungen müssen nach § 22 PflSchG im Einzelfall beantragt werden. Eine chemische Bekämpfung der schädlichen Insekten hat auch immer eine Vernichtung der Nützlinge zur Folge, was zu einer weiteren Verschiebung des ökologischen Gleichgewichts in KUP führt. Aus diesem Grund ist vorbeugenden Maßnahmen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Sie bestehen im Anbau mehrerer Sorten und Arten mit guten Resistenzeigenschaften gegen Schadfaktoren auf einer Anbaufläche. Ebenso ist die unmittelbare Nachbarschaft von Lärchen (bis 500 m Entfernung; Zwischenwirt des Pappelrostes) zu vermeiden.

- Ausführlichere Informationen
 → www.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_392.pdf

Düngung

Die Vorgaben der Düngeverordnung sind auch bei Nährstoffgaben zu Kurzumtriebsplantagen unbedingt zu beachten, so u. a.: »Vor der Aufbringung von wesentlichen Nährstoffmengen an Stickstoff oder Phosphat mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln ist der Düngebedarf der Kultur sachgerecht festzustellen. Erfordernisse für die Erhaltung der standortbezogenen Bodenfruchtbarkeit sind zusätzlich zu berücksichtigen. Die Düngebedarfsermittlung muss so erfolgen, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung gewährleistet ist.« Die Düngeverordnung wird derzeit überarbeitet. Es sind die jeweilig gültigen Regelungen zu beachten. Weitere Informationen unter: [→ www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/18414.htm](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/18414.htm)

Zur Düngung von Kurzumtriebsplantagen liegen auf Grund des bisher geringen Anbauumfanges wenige Ergebnisse aus Wissenschaft und Praxis vor. Durch die Ernte von KUP entsteht kein jährlicher Nährstoffentzug wie bei konventioneller Ackernutzung. Erfolgt ein Anbau auf einer Ackerfläche mit bisher konventionellem Anbau von Feldfrüchten, so ist in der Regel eine ausreichende Nährstoffversorgung für die ersten Umtriebe gewährleistet. Untersuchungen zur N-Düngung zeigen verschiedene Ergebnisse. HOFMANN-SCHIELLE et al. (1999) verwiesen auf eine deutliche Ertragssteigerung bei Weide auf Sonderstandorten (Bergbaufolgeland-

schaften). Dagegen wurde auf einer KUP mit Aspen nur in der ersten Rotation ein schwacher Mehrertrag durch eine zusätzliche N-Düngung festgestellt (REHFUESS, 1995). Besonders auf ärmeren oder abgereicherten Standorten (Brachen, Bergbaufolgelandschaften) kann eine Düngung notwendig werden. Der Düngebedarf ist im Gegensatz zum Bedarf von Ackerfrüchten als sehr gering einzustufen (N-Düngung: KUP ca. 2–6 kg/t_{atro}, Weizen ca. 20–30 kg/t_{atro}).

Für die Höhe der Düngung ist vor allem der Entzug an Nährstoffen durch das Erntegut maßgebend. Der ermittelte Düngerbedarf einer Kultur ist in Abhängigkeit vom Versorgungszustand des Bodens mit Nährstoffen und seinem Nachlieferungsvermögen weiter zu modifizieren. Bei schnellwachsenden Baumarten ist zu beachten, dass die entlaubten Vollbäume während der Vegetationsruhe beerntet werden. Die Blätter als nährstoffreichster Baumbestandteil verbleiben auf der Fläche und somit ein Großteil der notwendigen Nährstoffe (insbesondere N und P), die nach der Streuzersetzung und Mineralisierung den Pflanzen wieder zur Verfügung stehen. Zusätzlich werden durch die Baumwurzeln tiefere Bodenhorizonte als durch landwirtschaftliche Kulturen erschlossen.

Die Nährstoffgehalte der geernteten Vollbäume verändern sich in Abhängigkeit von der Umtriebszeit (Tabelle 7). Je länger die Umtriebszeit andauert, umso mehr verschiebt sich das Mineralverhältnis 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.

Tabelle 7: Durchschnittliche Nährstoffgehalte im Erntegut schnellwachsender Baumarten (Pappel/Weide) im Kurzumtrieb

Nährstoff	Umtrieb			
	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	12 Jahre
	Gehalt in kg/t TM			
Stickstoff (N)	6,6	4,8	3,7	2,0
Phosphor (P)	1,1	0,9	0,6	0,3
Kalium (K)	3,6	3,6	2,6	1,9
Magnesium (Mg)	0,6	0,6	0,8	0,5
Kalzium (Ca)	5,1	4,4	5,4	5,4

nach KRAPPENBAUER (1989); HARTMANN (2000); RÖHRICHT et al. (2002), STOLZENBURG (2007) Ertrag kalkuliert nach Angaben von LERCH (1985), Nährstoffgehalte nach Angaben von KAUTER et al. (2001)

Basierend auf den Nährstoffangaben in Tabelle 8 werden bei der im Kurzumtrieb zu erwartenden Ertragsspanne von 6–16 t_{atro}/ha*a vor allem Stickstoff, Kalium und Kalzium vom Acker exportiert. Insbesondere bei hohen jährlichen Erträgen >12 t_{atro}/ha*a werden bei langjähriger Nutzung der Baumbestände die Nährstoffreserven des Bodens stärker beansprucht (Tabelle 8). Auch die Bilanzierung des Nährstoffflusses unter Einschluss der über die Blattmasse im Kreislauf Boden-Pflanze verbleibenden Nährstoffe unterstreicht die Notwendigkeit, die entzogenen Nährstoffe über organisch-mineralische Düngungsmaßnahmen zu ersetzen.

Mit Hilfe der in Tabelle 7 angegebenen vorläufigen Richtwerte zum Nährstoffentzug und unter Einbeziehung des für den

Standort kalkulierten jährlichen Holzzuwachses ($t_{atro}/ha \cdot a$) kann man den Nährstoffbedarf für den geplanten Umtrieb ermitteln.

Für die 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 bodenspezifischen Normalwerten liegen, sind entsprechende Abschläge an der am Entzug ausgerichteten N-Düngergabe vorzunehmen. Auf sehr niedrige, unterhalb des N_{min} -Normalwertes liegende Gehalte sollte mit Zuschlägen reagiert werden.

Die für Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Kalzium (Ca) anhand der Entzugsrichtwerte (Tabelle 7 und 8) berechnete Düngergabe ist ebenfalls an die standortspezifischen Bedingungen (Versorgungsstufe der Ackerkrume) anzupassen.

Für die Berechnung dieser Zu- und Abschläge bilden die entsprechenden Richtwerte aus dem erprobten Düngungsberatungsprogramm BEFU (FÖRSTER, 2013) eine gute Grundlage. Weitere Informationen unter:

→ www.landwirtschaft.sachsen.de/befu

Mit Hilfe der Blattanalyse ist es möglich, den Ernährungszustand der Bäume in Kurzumtriebsplantagen zu beurteilen. Für Pappeln und Weiden liegen Grenzwertbereiche eines optimalen Ernährungszustandes vor (BERGMANN, 1988; MAKESCHIN, 1994). Die Blattanalyse wird in der Hauptwachstumsphase (Juli/August) der Bäume am vierten voll ausgebildeten Blatt von der Spitze des höchsten Triebes vorgenommen. Auf diese Weise kann der Versorgungszustand der Bäume mit Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium beurteilt werden (Tabelle 9). Die Blattdiagnose ist eine weitere Entscheidungshilfe, um Düngungsmaßnahmen gezielt anzuwenden.

Unter Nutzung der Richtwerte (Tabellen 7 und 8) wird beispielhaft der Düngerbedarf für eine vierjährige Rotation einer Kurzumtriebsanlage mit Pappeln und Weiden berechnet (Tabelle 10). Die Ausbringung der Düngermenge ist jeweils nach der Ernte vorzu-

nehmen. Obwohl zur Düngung einer KUP keine langjährigen Erfahrungen vorliegen, gilt es als relativ gesichert, dass auf gut versorgten landwirtschaftlichen Flächen im Pappelanbau mindestens die ersten 15 Jahre auf eine N-Düngergabe verzichtet werden kann (RÖHRICHT & RUSCHER, 2009).

Diese Ergebnisse decken sich mit Aussagen in der Literatur, wonach Pappeln auf ursprünglich gut versorgten Ackerflächen zumindest in den ersten Jahren keine Düngung benötigen (REHFUESS, 1995; HOFMANN, 1999; BUNGART, 1999; KOBUS, 2000; Werner et. al, 2004).

Bei Weide hingegen kann nach jedem Umtrieb eine N-Gabe nötig sein. Bei der Weide wird von einer N-Düngung jedoch ein gewisser Ertragszuwachs erwartet. Auf Kurzumtriebsflächen mit Weide wird deshalb eine jährliche N-Gabe in Höhe von 30 – 50 kg/ha*a als organischer Dünger empfohlen (ECKEL et al., 2006). Höhere N-Gaben beeinträchtigen die Qualität des Holzes durch zu lockeres Holzgewebe. Die Verholzung setzt erst im Herbst verzögert ein. Überdüngte Bäume sind anfällig für Krankheitserreger. Sie weisen auch einen erhöhten Wasserbedarf auf.

Im Sinne einer effizienten Versorgung mit Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium ist eine Kontrolle des P-, K- und Mg-Bodengehaltes sowie pH-Wertes im Rhythmus der Umtriebe notwendig, um die Grunddüngung unter Beachtung der Nährstoffentzüge vorzunehmen (ECKEL et al., 2006). Bei Pappel wird besonders auf den Erhalt des standortspezifischen optimalen pH-Wertes im Boden hingewiesen. Sie gilt als sehr säureempfindlich.

Abgeleitet aus den vorliegenden Erfahrungen ist im Kurzumtriebsanbau mit Pappeln und Weiden auf normal bewirtschafteten Ackerflächen zu einer eher verhaltenen Düngung mit Stickstoff und einer sorgfältigen Kontrolle des P-, K-, Mg-Versorgungszustandes sowie des pH-Wertes im Boden zu raten. P-, K-, Mg- und Kalkgaben können als Vorratsdüngung nach der jeweiligen Ernte erfolgen.

Tabelle 8: 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	100
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

nach RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

Tabelle 9: Grenzwerte für die Charakteristik des optimalen Ernährungszustandes von schnellwachsenden Baumarten auf der Grundlage der Blattanalyse

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

nach BERGMANN (1988) und MAKESCHIN et al. (1994)

der Erhöhung der Toleranz gegenüber abiotischen Umweltfaktoren (Trockenstress) und der Verbesserung des Erfolgs bei in-vitro-Vermehrung.

In der Düngerstrategie können auch die vergleichsweise schadstoffarmen **Rostaschen** auf den Anbauflächen Verwendung finden. Eine sinnvolle Kreislaufwirtschaft durch das Ausbringen der Asche ohne gesetzlich vorgeschriebene Schadanalyse ist aus hauseigenen Feuerstätten möglich. Dabei ist unter der Beachtung der Bodenverschlechterung die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zu beachten (BBodSchV). Flugaschen sind auf Grund ihrer Schadstoffkonzentration in der Regel zu deponieren.

Tabelle 10: Beispiel zur Berechnung einer NPK-Düngung im Kurzumtriebsanbau schnellwachsender Baumarten

Nährstoff	Nährstoffentzug bei geplantem Ertrag von 10 t TM/ha		Dünger-gabe	Zu-/Abschläge
	Entzug pro Jahr	Entzug pro Umtriebsdauer 4 Jahre		
	kg/ha	kg/ha		
Stickstoff (N)	37	148	148	bei Über- bzw. Unterschreitung des N_{min} -Normalwertes
Phosphor (P)	6	24	24	nach BEFU-Beratungsprogramm (FÖRSTER et al. 2003)
Kalium (K)	26	100	100	

nach RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

Impfungen von landwirtschaftlichen Böden mit **Mykorrhiza-Pilzen** (Symbiose zwischen Wurzeln von Pflanzen und Pilzen) ergaben positive Auswirkungen auf den Wachstumsverlauf von schnellwachsenden Gehölzen (STOLL & DOHRENBUSCH, 2010). Langjährig landwirtschaftlich genutzte Böden besitzen meist nur noch geringe Vorkommen von Mykorrhiza-Pilzen, die als Symbiosepartner für Gehölze für eine höhere Nährstoffversorgung wichtig sind. In Versuchen lag der gesteigerte Höhenzuwachs der Pappel-KUP bei 10 – 30%, bei einer besseren Phosphorversorgung der Blätter. Untersuchungen mit endophytischen Bakterien (im Inneren des Pflanzenkörpers) ergaben eine effektive Erhöhung der phänotypischen Plastizität unter sich veränderten Umweltbedingungen wie Trockenperioden, Nährstoffmangel oder Krankheitsbefall (ULRICH & DIETRICH, 2008). Anwendungsgebiete liegen in der Steigerung der Biomasse, der Nutzung von mit Schwermetallen belasteten Flächen zur Energieproduktion,

Ernte

Die Beerntung schnellwachsender Baumarten erfolgt während der Vegetationsruhe, wenn die Bäume weitgehend entlaubt sind und den niedrigsten Wassergehalt im Holz aufweisen. Für eine Erhaltung der Vitalität und des Stockausschlagvermögens ist eine Ernte im Winterhalbjahr erforderlich. Zu diesem Zeitpunkt liegt der Wassergehalt je nach Erntebedingungen in der Größenordnung von 45 bis 65%. Erfahrungsgemäß ist der Wassergehalt bei Pappeln gegenüber Weiden bis 10% höher.

Zur maschinellen Ernte sind breit bereifte (Forstbereifung) Maschinen oder Kettenfahrzeuge vorteilhaft, um den Boden zu schonen und Reifenschäden beim Überfahren der Stöcke zu vermeiden (HARTMANN & KALTSCHMITT, 2002). Ein Überfahren des Stubbens zur Ernte hat keinen Einfluss auf das Wiederaustriebverhalten. Eventuell können durch das zerstörte Gewebe Pilzinfektionen auftreten (NAHM et al. 2013). Um die Abnutzung der Maschinen zu minimieren, ist dies dennoch nicht zweckmäßig. Ein ausreichendes Vorgewende ist empfehlenswert, siehe Kapitel Bodenvorbereitung und Pflanzung.

Gefrorener Boden ist ideal für Erntemaßnahmen durch die starke Reduktion des Bodendruckes. Sind die Bodenverhältnisse am Standort oft eingeschränkt, ist es ratsam, ein Bewirtschaftungskonzept mit langen Rotationen zu nutzen.

Um die Erntekosten gering zu halten, ist die Verwendung regionaler Erntetechnik ratsam. Das Pflanzsystem und die Rotationsdauer sind den Vorgaben anzupassen. Erntesysteme müssen je nach Umtriebsdauer zwischen 40 – 100 t Holzfrischmasse je Hektar bewältigen. Die Auslegung der Verwertungstechnologie und deren Störanfälligkeit haben bei der Auswahl des Ernteverfahrens einen hohen Stellenwert. Die Hackschnitzelgeometrie muss zur Verwertungsform passen!

Die Erntesysteme für Kurzumtriebsplantagen sind in verschiedenen Verfahren mit unterschiedlichem Mechanisierungsgrad umsetzbar. So ist eine motormanuelle Ernte bis hin zur vollmechanisierten Ernte mittels Mähhäcksler möglich.

Entscheidend sind verschiedene Faktoren wie

- Größe der Erntefläche,
- Wurzelhalsdurchmesser des zu beerntenden Bestandes,
- Leistung der Erntemaschine,

- Befahrbarkeit der Fläche, Transportentfernungen,
- Art des Trocknungsverfahrens,
- zur Verfügung stehende Lagerfläche, Heizkesselgröße und deren Transportsystem.

Die Erntekette sollte so ausgerichtet sein, dass die Maschinen mit Leistung und Aktionsradius aufeinander abgestimmt sind und keine Standzeiten einzelner Maschinen entstehen.

Sie werden nachfolgend bezüglich der Verfahrensabschnitte, der Maschinen, der Leistungen und der Kosten charakterisiert.

Motormanuelle Ernte

Zum Fällen der Bäume können

- Motorsäge,
- Bügelmotorsäge und
- Freischneider

eingesetzt werden. Von den drei Schneidwerkzeugen ist die Bügelmotorsäge ergonomisch am günstigsten zu beurteilen, jedoch sehr unfallträchtig. Die Motorsäge verlangt bei der Trennschnittführung eine stark gebückte Haltung und führt zu einer hohen körperlichen Belastung. Bei der Bügelmotorsäge kann das Fällen der Bäume in aufrechter Haltung vom Motorsägenführer ausgeführt werden. Manuelle Ernten sind nur auf Kleinstflächen oder bei Beständen mit sehr langen Umtrieben zweckmäßig.

Im nächsten Verfahrensabschnitt der motormanuellen Ernte wird das Erntegut zum Hacken oder Vortrocknen abtransportiert. Der Einsatz von Kranrückeanhängern und modernen Forstrückemaschinen (Forwarder) führt zu hohen Flächenleistungen. Allerdings ist diese Technik in der Regel nur bei entsprechenden Ertragszuwächsen rentabel einsetzbar.

Auf einer 17-jährigen Pappelplantage, in der ersten Rotation mit $9,7 t_{atro}/ha \cdot a$, wurde motormanuell eine Leistung von $8,6 t_{atro}/h$ erreicht. Auf einer zweijährigen Weidenfläche lag die Leistung bei $0,4 t_{atro}/h$ (NAHM et al., 2011).

Unterzieht man das vorgestellte Ernteverfahren einer kurzen Wertung, ist das motormanuelle Verfahren, beim Einsatz von Lohnunternehmen und geringen Umtriebszeiten, sehr kostenintensiv. Es kommt daher nur für den Kleinanbau oder langen Umtriebszeiten in Eigenregie in Betracht. Je länger der Umtrieb andauert, desto eher eignet sich dieses Verfahren.



Abbildung 28: Harvester in 10-jährigem Pappelbestand



Abbildung 29: Kleinbagger mit Harvesterkopf in 13-jähriger Pappel

Bündellinie

Dieses Ernteverfahren ist dadurch charakterisiert, dass der Vollbaum durch die Erntemaschine in einem Arbeitsgang geerntet und zu Bündeln gesammelt wird. Die Vollbäume werden in 10 – 15 cm Höhe auf Stock gesetzt, zu Bündeln konzentriert und entweder auf ein an der Maschine befindliches Transportsystem verladen oder im Schwad getrocknet. Anschließend erfolgt eine Zwischenlagerung am Feldrand oder direkt auf der Fläche. Im Anschluss oder nach der Trocknungsphase erfolgt das Hacken der Bäume. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Trennung von Ernte und Trocknung der geernteten Vollbäume (siehe Kapitel Trocknung und Lagerung). Die auf dem Feld abgelegten Bündel können wiederum durch Forwarder mit Greifer oder Traktorenzug mit Greifer zum Großhacker transportiert werden.

Eine auf dem Markt verbreitete Maschine ist der Stemster MK III (Nordic Biomass). Dieser Mäh-Sammler ist mit einem Standardtraktor koppelbar und schneidet die Stämme mit zwei gegenläufigen Kreissägeblättern ab. Die Maschine kann auf Grund ihrer Leistungsparameter Vollbäume mit einem Stammdurchmesser von 5 – 15 cm je nach Maschinentyp ernten. Anschließend werden diese über zwei Förderketten auf die Ladefläche transportiert. Gute Bedingungen ermöglichen eine Erntegeschwindigkeit von über 5 km/h. Das Ladevolumen beträgt zwischen 2 – 3 $t_{\text{Frishmasse}}$ und wird mit Hilfe von Kratzerketten auf ein anderes Transportmittel umgeladen oder am Hackerplatz entladen. Bedingt durch die Entladezeiten der Bündel ist die Erntemenge geringer als bei Ernten mittels Häcksler, die ca. 26 t_{atro}/h in dreijährigen Beständen erreichen (NAHM et al., 2011). GROSSE et al. (2013) geben die Erntekosten mit 12 – 22 €/t_{erntefrisch} (25 – 45 €/t_{atro}) an. Die gesamten Verfahrenskosten, inklusive dem Hacken, belaufen sich auf 20 – 35 €/t_{erntefrisch} bzw. 40 – 70 t_{atro}.

Beim BioBaler WB 55 handelt es sich um eine modifizierte Rundballenpresse, an der die Strohaufnahme durch eine Welle mit Fräsworkzeugen ersetzt wurde. Somit ist eine Ernte und Zerkleinerung von Gehölzen bis 10 cm Durchmesser möglich. Die gebündelten, grob zerkleinerten Bäume werden gepresst, mehrfach gewickelt und nach dem Bündelprozess auf der Erntefläche entladen. Bei guten Verhältnissen ist vor dem Abtransport ein Vortrocknen auf

der Fläche möglich. Die erzeugten Ballen haben einen Durchmesser von ca. 120 cm und ein Frischgewicht von bis zu 500 kg. Stündlich ist eine Produktion von 40 Stück erreichbar. Aufgrund der Fräsworkzeuge entstehen aufgefaserte Schnittflächen, die bei kürzeren Umtriebszeiten zu keinen Nachteilen führen. Eine Beschädigung der Wurzelstöcke durch einen Abriss der Wurzeln bei der Vorspannung durch das Erntefahrzeug ist insbesondere bei frostfreiem Boden nicht auszuschließen. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist die notwendige Auflösung der Ballen vor der abschließenden Hackung und das ungleichmäßige Trocknen der Ballen.

Der Reihenhacker RH 25 ist ein Scheibenhacker, der mit einem Vorsatz zur Aufnahme der im Schwad oder in der Reihe liegenden Vollbäume ausgerüstet ist. Dieser ist in der Lage, Stämme mit bis zu 25 cm Durchmesser aufzunehmen und zu zerkleinern. Die Hackschnitzlänge kann dabei zwischen 1 – 30 mm stufenlos eingestellt werden. Mittels einer Stahlwalze wird das im Schwad liegende Holz aufgenommen. Ein Freiraum nach der Aufnahme-walze gewährleistet das Abtrennen von Steinen und anderen Fremdkörpern, bevor der Holzstrom in die Hacktrommel gelangt. Nachteil dieses Verfahrens ist verunreinigtes Erntegut, besonders nach langer Zwischenlagerung.

Eine Besonderheit der Bündellinie ist die Beerntung von **Mutterquartieren**. Diese Ernte von ganzen einjährigen Ruten erfolgt im ähnlichen Verfahren, nur dass die Ernte optimiert für geringere Durchmesser und schonender verläuft, um das Erntegut nicht zu beschädigen. »Rod-Picker« ist eine Rutenerntemaschine, welche allerdings momentan nur als Prototyp eingesetzt wird.

In Baumbeständen mit geringer Bestandesdichte (1.300 – 4.000 Bäume/ha) ist es möglich, durch längere Umtriebszeiten (<10 bis 20 Jahre) Sortimente zur stofflichen Nutzung (Papier- und Industrieholz) zu gewinnen. Das so gewonnene Erntegut kann nach Lagerung entweder dem Industrieholzmarkt (z. B. Papierherstellung) zugeführt oder in die Hackgutlinie eingespeist werden. Nach gegenwärtigem Stand der Technik kommen nur forstwirtschaftliche Vollernter oder eine manuelle Ernte in Betracht. Ab einem Durchmesser von 10 cm können Forstharvester aus der



Abbildung 30: Forwarder beim Rücken von Kronenmaterial

Jungbestandespflege eingesetzt werden (Abbildung 28 und 29). Die klassische Harvester-Forwarder Linie ist Stand der Technik und ermöglicht eine Ernte auch bei schwierigen Bodenverhältnissen. Das auf der Fläche verbliebene Ast- und Kronenmaterial kann nach dem Transport mittels Forwarder am Feldrand zu Hackschnitzeln verarbeitet werden (Abbildung 30). Dazu eignen sich leistungsstarke Hacker.

Ernteleistungen liegen beim Harvester zwischen 6 – 17 fm/h und beim Forwarder zwischen 6 – 14 fm/h bei einer Rückentfernung von 60 – 90 m vom Plantagenrand (HEINRICH, 2006; BECKER et al., 2010). Die Erntekosten betragen bei einem 10-jährigen Pappelbestand ca. 23 €/m³ (GROSSE et al., 2013).

Eine gleichzeitige Produktion von Stammholz und Hackschnitzeln ermöglicht den Einsatz von Hackschnitzelharvestern (Harvester-Hacker-Kombination mit Hochkippscontainer), die bisher nur als Prototypen vertreten sind und vor allem auf kleineren Flächen eine Alternative zur herkömmlichen Forsttechnik darstellen (Abbildung 31). Ausreichend Großcontainer am Feldrand ermöglichen einen schnellen und kostengünstigen Arbeitsablauf. Die Leistungen in einem 10-jährigen Pappelbestand lagen bei 6,5 fm Industrieholz und 14 – 17 srm Hackschnitzel pro Stunde (BECKER et al., 2010). Die verstärkte Befahrung der Fläche bei hohem Gewicht der Maschine ist ein Nachteil dieses Verfahrens.

In Beständen zwischen 6 – 15 Jahren besteht die Möglichkeit, die Beerntung mit einem Fäller-Bündler-Aggregat (Mehrfachfällkopf) durchzuführen. Forwarder mit diesem Aggregat ernten und transportieren die Bäume zum Hackerplatz. Geeignet sind stärkere Vollbäume mit Stammdurchmessern zwischen 10 – 30 cm.

Viele Verfahren sind möglich, sollten jedoch immer dem Einzelfall angepasst werden. Der Standort der Plantage, deren Bestandeseigenschaften, das erzielbare Verkaufsprodukt und der verfügbare Erntezeitraum sind die Haupteinflussfaktoren.

Stationäres Hacken

Zur Erzeugung von Hackschnitzeln sind verschiedene Hackertypen am Markt. Die Hackschnitzel müssen je nach geplanter Verwertung den jeweiligen Anforderungen entsprechen (Größen-



Abbildung 31: Prototyp Hackschnitzelharvester in 10-jährigem Pappelbestand

verteilung). Das Hacken von trockenem Erntegut verursacht einen höheren Feinanteil, was ein nachträgliches Sieben der Hackschnitzel erfordern kann.

Das durch Bündeln und Rücken vorkonzentrierte Material wird durch mobile oder stationäre Hacker zu Hackschnitzeln aufbereitet. Zu den mobilen Hackern zählen die Aufbau- und Anhängenhacker sowie selbstfahrende Hacker (Abbildung 33). Aufbauhacker werden an einen in der Leistung auf den Hacker abgestimmten Schlepper montiert und vom Schlepper selbst angetrieben. Anhängenhacker befinden sich auf einem speziellen Anhänger. Dabei verfügen mittlere und große Hacker über einen eigenen Motor. Bei selbstfahrenden Hackern ist dieser fest in ein Fahrzeug integriert.

Die Durchsatzleistungen steigern sich von 10 srm/h beim Anbauhacker hin zu einem beachtlichen Durchsatz von bis zu 200 srm/h bei selbstfahrenden Hackern. Entscheidend ist die Polterung der Bäume auf dem Hackplatz und die Abfuhrlogistik der erzeugten Hackschnitzel.

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 bis 75 cm Durchmesser zu Hackgut. Die Kantenlänge der Hackschnitzel kann zwischen 4 – 180 mm eingestellt werden.

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 100 cm. Das Hackgut kann in einer Kantenlänge von 8 – 80 mm geschnitten werden.

Im Spiralhacker besorgt eine rotierende Kegelschnecke das Zerkleinern des Holzes. Die Kantenlänge ist zwischen 20 – 50 cm variierbar. Es lassen sich Holzstärken von 16 – 27 cm verarbeiten.



Abbildung 32: Selbstfahrender Häcksler New Holland mit Holzerntevorsatz

Das Hacken am Feldrand oder auf einem zentralen Aufbereitungsplatz ist produktiver als auf der Rückgasse. Die Kosten betragen 7–29 €/t_{atro}. Die Produktion von Hackschnitzeln aus jüngeren Bäumen mittels Hacker ist stets kostenintensiver als die vollmechanisierte Ernte mit einem Gehölmähhäcksler.

Für Hackschnitzel gilt die Europäische Norm EN 14961, welche die Kennwerte und Klassen für Wassergehalt, Aschegehalt, Korngrößenverteilung, Schüttraumdichte, Stickstoff- und Chlorgehalt sowie Heiz- bzw. Brennwert von Hackschnitzeln als Brennstoff festlegt. In der Praxis ist auch in Deutschland die Klassifizierung nach der älteren, österreichischen Norm ÖNORM M 7133 noch verbreitet. Nachfolgend werden die geläufigsten Normen zur Korngrößenverteilung von Hackschnitzeln aufgeführt (Tabelle 11 und 12).

Hackgutlinie

Die derzeit in Deutschland bekannteste Verfahrenslösung ist der Einsatz selbstfahrender Feldhäcksler mit Holzerntevorsatz. Die Vollbäume werden in einem Arbeitsgang vom Stock getrennt, zu Hackschnitzeln verarbeitet und auf das Begleitfahrzeug geladen. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere für großflächige Ernten.

Die meisten Holzerntevorsätze sind für die Beerntung von Kurzumtriebsplantagen ausgelegt, die aus Doppelreihen mit 75 cm Reihenabstand bestehen. Eine Beerntung von Einzelreihen ist ebenfalls möglich. Die Vollbäume werden in 15–20 cm Höhe von den Stöcken durch mit Hartmetallzähnen bestückten Sägeblätter abgetrennt. Über eine Messertrommel und Zinkenräder wird das Erntegut zum Vorpressgehäuse und dann zur Hacktrommel zugeführt. Die erntetechnologische Begrenzung liegt bei Stammdurchmessern von bis zu 15 cm. Derartige Durchmesser erreichen Pappeln und Weiden auf guten Standorten bereits nach drei- bis vierjähriger Umtriebszeit. Hersteller von selbstfahrenden Häckslern mit Holzerntevorsatz, die nach diesem beschriebenen Prinzip arbeiten sind New Holland, John Deere und Class (Abbildung 32).

Die Ernteleistung der Häcksler liegt dabei bei ca. 40 t/ha (20 t_{atro}/ha), was einer Flächenleistung von einem ha/h eines zweijährigen Bestandes entspricht (GROSSE et al., 2013). Je Hektar fallen

Tabelle 11/12: Größenklassifizierung von Hackschnitzelnormen nach EN und ÖNORM

Norm	Hauptfraktion	Feinanteil	Grobanteil	Extremwerte
P	> 80 %	< 5 %	< 1 %	
P16	3,15 ... 16 mm	< 1 mm	> 45 mm	< 85 mm
P45	3,15 ... 45 mm	< 1 mm	> 63 mm	< 120 mm
P63	3,15 ... 63 mm	< 1 mm	> 100 mm	< 350 mm
P100	3,15 ... 100 mm	< 1 mm	> 200 mm	< 350 mm

Norm	Hauptfraktion	Feinanteil	Grobanteil	Extremwerte
Gewichtsanteil	> 60 %	< 20 %	< 20 %	
G30	3-16 mm, ø 30 mm	< 3 mm	> 16 mm	< 85 mm
G50	6-32 mm, ø 50 mm	< 6 mm	> 32 mm	< 120 mm
G100	11-63 mm, ø 100 mm	< 11 mm	> 63 mm	< 250 mm

EN 14961 (oben) und ÖNORM M 7133 (unten), nach Massenanteilen gegliedert

bei einem drei- bis fünfjährigen Umtrieb 105 m³ (40 t Frischmasse) bis 260 m³ (100 t Frischmasse) Holzhackgut an. Eine Durchsatzleistung von 25–35 t_{atro}/h wurde in zweijährigen Beständen auf Flächen mit unterschiedlicher Flächenausformung mit einem Claas Jaguar erreicht. Ähnliche Werte wurden mit einem New Holland FR9060 mit Holzerntevorsatz FB 130 erzielt. Die Produktionskosten beliefen sich auf ca. 27 €/t_{atro} mit einer Schwankung von 18–42 €/t_{atro} (NAHM et al., 2011).

Ein weiterer Vollernter ist der Holzerntevorsatz Woodcut 1500 mit dem Krone-Häcksler BIG X als Schlüsselmaschine (Abbildung 34). Der Erntevorsatz besitzt allerdings nur ein rotierendes Sägeblatt mit einem Durchmesser von 1800 mm, welches die Stämme schneidet und sie den beiden vertikalen Einzugswalzen zuführt. Von diesen wird das Erntegut den horizontalen Häcksler-Vorpresswalzen zugeleitet und anschließend gehackt.



Abbildung 33: Selbstfahrender Hacker zur Erzeugung von Hackschnitzeln aus Kronenmaterial

Alle diese Maschinen mit Trommelhacker produzieren ein feines, gleichmäßiges Erntegut, das je nach Einstellung der Grasmesser einer Partikelgröße von G30 bis G50 (ÖNorm 7133) entspricht. Starke Fröste erzeugen, bedingt durch das Brechen der Hackschnitzel im Auswurfbeschleuniger, einen höheren Feinanteil.

Vollernter sind nur für größere, geschlossene Anbaugelände mit KUP (200 ha Großraum) zu empfehlen. Organisierte Ernten in Absprache mit dem Dienstleister ermöglichen kostengünstige Ernten durch geringere Umsetzungskosten im Verbundraum. Bis zu 60 t (30 t_{atro}) Frischmasse pro Stunde sind bei günstig ausgeformter Flächengröße realisierbar (GROSSE et al., 2013).

Weitere Möglichkeiten der Beerntung sind ein- und zweireihig arbeitende Anbauhacker für Traktoren. Bei diesen Geräten kommen neben Trommelhackern auch Scheiben- und Schneckenhacker zum Einsatz. Die Anbaugeräte sind mit den meisten Traktoren kompatibel.

Der Scheibenhacker GMHS 100, ein Anbauhacker als Prototyp des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim und der Firma Jenz, ist geeignet für einreihige Bestände bis zu einem Durchmesser von 10 Zentimetern. Für das nur 1,3 t schwere Ernteggregat wird nur eine Antriebsleistung von 75 kW benötigt. Die Häckselleistung liegt laut Hersteller bei 120 srm/h.

Ein weiterer Anbauhacker ist der GMHT 140, der aus einer Zusammenarbeit von Schmidt-Stahlbau (Uchte) und der Firma Jenz entstand. Der für die Doppelreihe konzipierte Hacker eignet sich bis zu einem Wurzelhalsdurchmesser von 14 cm und benötigt 250 kW Antriebsleistung, um das Aggregat mit einer Masse von 3,5 t anzutreiben. Die produzierten Hackschnitzel sind Grobhackschnitzel je nach Konfiguration von G50 bis G100 (ÖNorm). Die Erntegeschwindigkeit beträgt laut Hersteller maximal 4 km/h, was einem Durchsatzwert von 40 t erntefrischen Materials (20 t_{atro}) entspricht.

Anbauhacker sind eine Alternative zu den Gehölmähähacklern. Der Einsatz ist auch schon für kleine Flächen geeignet und durch den günstigeren Transport des Aggregats sind die Gesamtver-



Abbildung 34: Selbstfahrender Häcksler Krone/Hüttmann mit Holzerntevorsatz

fahrenskosten niedriger. Das Bestandesalter sollte zwischen zwei und vier Jahren liegen, um die Durchsatzleistung von 6 – 20 t_{erntefrisch} nicht zu überschreiten.

Transport

Bei der Planung der Transportkapazität ist zu beachten, dass frisches Hackgut eine geringe Schüttdichte von ca. 340 – 350 kg/srm besitzt und demzufolge ein hohes Ladevolumen beim Transport und der Lagerung benötigt.

Bei den Vollerntern liegen die Transportkosten für Häckselgut bei kurzen Entfernungen zum Lager (1 – 5 km) in der Größenordnung von 7,5 – 10 €/t_{Frischmasse}. Bei 10 – 20 km Entfernung steigen sie auf 15 – 20 €/t_{Frischmasse} an.

Die einphasige Ernte mit direktem Beladen der Transportfahrzeuge bewirkt kostengünstigere Umschlagskosten. Ungünstige Lager- und Trocknungsmöglichkeiten in Plantagenähe sowie ein zusätzlicher Wassertransport durch aufgenommenen Schnee beim Erntevorgang tragen zu einer Erhöhung der Transportkosten bei. Die Maschinentransportkosten sind durch Verladung und Transport der Erntemaschine vor allem auf kleinen Ernteflächen ein bedeutender Kostenfaktor. Der übliche Pauschalpreis für den Transport von Mähähacklern mittels Tiefladeanhänger per Spedition liegt bei ca. 5 €/km.

Untersuchungen zur Wiederausschlagsfähigkeit von geernteten Stubben ergaben, dass schlechte Schnittflächen, gespaltene und hohe Stöcke zu keiner Beeinträchtigung führen (NAHM et al., 2011). Langzeituntersuchungen zum Auftreten erhöhter Pilzanfälligkeit und beeinträchtigter Standsicherheit liegen allerdings nicht vor.

■ Weitere Maschinen und Erntetechniken

→ www.kwf-online.de

■ Kalkulationshilfen zur Ernteplanung

→ www.fva-bw.de/forschung/wn/kurzumtriebsplantagen.html

Erträge

Das Ertragsniveau schnellwachsender Baumarten wird durch das Zusammenspiel von Baumart, Klon, Standort, Klima, Bestandesdichte, Alter und Erntezyklus bestimmt. Pappel- und Weidenarten, die im Kurzumtrieb verwendet werden, sind unseren einheimischen Baumarten in den Biomasseleistungen weit überlegen. Das besonders gute Wuchsverhalten der Züchtungen übertrifft unsere heimischen Baumarten bei weitem. Erträge werden in Tonnen Trockenmasse angegeben, ein theoretisch ermittelter Wert mit 0% Wasser im Holz.

Die durchschnittlichen Zuwächse liegen bei Pappeln im Osten Deutschlands meist zwischen 3 – 20 $t_{atro}/ha*a$, auf mittleren Böden zwischen 6 – 14 $t_{atro}/ha*a$ im ersten Umtrieb. Weiden erreichen 4 – 18 $t_{atro}/ha*a$ in der ersten Rotation (RÖHLE et al., 2005).

Ein Großteil der erhobenen Erträge im Kurzumtrieb beruhen auf Untersuchungen im Versuchs- und Pilotmaßstab, vor allem ab dem 4. Umtrieb der Plantage. Die Übertragbarkeit auf Praxisbedingungen verlangt somit gewisse Korrekturen im Sinne von Ertragsabschlägen von Extremwerten.

Untersuchungen haben ergeben, dass sich die Erträge vom ersten zum zweiten Umtrieb enorm steigern. So werden durch das schon vorhandene Wurzelsystem, die höhere Triebanzahl und die Stimulation durch den Rückschnitt bis zu doppelt so hohe Erträge erreicht (HORN et al., 2013). Die enorme Zunahme der Stammzahl betrug in Krummenhennersdorf von der ersten zur zweiten Rotation beim Pappelklon Max3 von 13.106 auf 51.333 Stück/ha und bei der Weidensorte Sven von 17.872 auf 106.115 Stück/ha. In Abbildung 38 ist die daraus resultierende Zunahme der Gesamtzuwächse der einzelnen Rotationen gut ersichtlich. Einen Rückschnitt zur Ertragssteigerung nach dem ersten Jahr durchzuführen, ist nicht praxisrelevant.

Hohe Biomasseerträge in den ersten Standjahren des ersten Umtriebes erreicht man meist über hohe Pflanzzahlen, was jedoch mit erhöhten Anlagekosten in Verbindung steht.

Kurzumtrieb zur energetischen Nutzung

Einige Ertragswerte aus der Literatur vermitteln einen Eindruck über mögliche Erträge:

- Auf einem grundwassergeprägten, sandigen Lehmboden der Bodenwertzahl 49 (600 mm Jahresniederschlag) wurde bei sehr hoher Bestandesdichte (18.000 Bäume/ha) und dreijährigem Umtrieb im Mittel von vier Rotationen mit den Zitterpappelsorten »Astria« und »Münden« ein durchschnitt-



Abbildung 35: Kurzholzrückung 10-jähriger Pappel zur Papierherstellung

licher Ertrag von 6,7 $t_{atro}/ha*a$ realisiert. Wesentlich besser für diese intensive Umtriebsform sind die Balsampappelsorten (»Max«, »Muhle Larsen«) geeignet. Sie erreichen einen durchschnittlichen Ertrag von 12 $t_{atro}/ha*a$.

- Sehr gut für diese Form des Kurzumtriebs sind auch die Weiden geeignet. Die Sorte »Zieverich« erreichte im Durchschnitt einen Ertrag von 14 $t_{atro}/ha*a$ (RÖHRICHT, 2007). Im drei- und vierjährigen Umtrieb (1994 – 2005) mit Pappel- und Weidenhybridsorten bei hohen Bestandesdichten (16.000 – 18.000 Pflanzen/ha) wurde ein jährlicher Holzzuwachs von 10,9 bzw. 13,9 $t_{atro}/ha*a$ mit den schwedischen Weidensorten »Björn« und »Tora« festgestellt.
- Bei mittlerer Bestandesdichte (12.000 Bäume/ha) auf einem niederschlagsbegünstigten sandigen Lehmboden erzielten die Pappelsorten »Max« und »Hybrid 275« sowie »Tora« (Weide) auf Großparzellen 8 $t_{atro}/ha*a$ im ersten dreijährigen Umtrieb (RÖHRICHT & KIESEWALTER, 2008).

- Auf einem rekultivierten Kippenboden (Standort Welzow-Süd, Lausitz) wurde ein Ertrag von $4,5 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ (dreijähriger Umtrieb) im Durchschnitt der geprüften Pappelsorten nachgewiesen.

Die in Versuchen und im praktischen Anbau ausgewiesenen Erträge zeigen, dass mit dem vorhandenen Sortenspektrum an Pappeln und Weiden auf normal bewirtschafteten landwirtschaftlichen Böden ein durchschnittlicher jährlicher Ertragszuwachs von $10 - 15 t_{\text{atro}}/\text{ha}$ realisiert werden kann. In Abhängigkeit von der Bodenqualität und Bestandesdichte ist jedoch mit einer breiten Ertragsamplitude von $6 - 25 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ zu rechnen.

Kurzumtrieb mit längeren Umtrieben

Die Versuche zeigen die Möglichkeit einer Produktion von Stammholz (Abbildung 35) auf sächsischen Standorten:

- Auf einem lehmigen bis schwach lehmigen Standort mit 760 mm Jahresniederschlagssumme erzielte die sich durch ein langsames Jugendwachstum auszeichnende Aspe (Sorte »Astria«) auf dem frischen Standort einen jährlichen Ertragszuwachs von $8,8 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$, auf dem mäßig frischen Standort $3,9 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ und auf dem trockenen Standort $1,4 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ bei vierjährigem Umtrieb.
- Aspen entfalten erst bei längerem Wachstumszyklus (8 Jahre) ihren optimalen Holzzuwachs. Insofern sind sie für den Anbau bei längeren Umtriebszeiten vorzusehen.
- Hohe Erträge bei längeren Umtrieben wurden auf den Versuchsplantagen in Methau trotz geringer Stückzahlen pro Hektar geliefert. Der größte durchschnittliche Gesamtzuwachs (DGZ) wurde in den durchforsteten Parzellen-

bereichen des Klons Hybrid 275 im Alter von 6 Jahren mit $12,7 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ festgestellt. Im Alter 9 ist dieser Klon immer noch der wüchsigste der untersuchten Klone und kommt auf $12,2 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$. Von den untersuchten Klonen ist Max 3 mit einem DGZ im Alter von 9 Jahren von 8,4 (undurchforstet) bzw. 5,5 (durchforstet) $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ der am schlechtesten wachsende Pappelklon im langen Umtrieb. Es wurden Mittelhöhen von 19 m bei zehnjährigem Umtrieb erreicht.

Beispiele aus der Praxis und dem Versuchswesen in Sachsen

In nachfolgender Tabelle 13 sind die Untersuchungsflächen mit ihren wichtigsten Standortparametern aufgeführt.

Die KUP am Lehr- und Versuchsgut **Köllitsch** umfasst 10 ha im Parzellenanbau mit verschiedenen Klonen. Die Plantage wurde innerhalb von zwei Jahren mit unterschiedlichen Bedingungen und Etablierungsmethoden begründet (Abbildung 36 und 37). Die geringen Erträge von »Androscoggin« und »Muhle Larsen« sind am Standort Köllitsch auf die sehr heterogenen Bodenverhältnisse und damit verursachten Probleme bei der Etablierung zurückzuführen. Des Weiteren war das Pflanzgut bei beiden Klonen von minderer Qualität. Diese Faktoren haben einen andauernd starken Zuwachsverlust zur Folge. Die Ergebnisse lassen keine Vorzüge einzelner Klone zu, sondern spiegeln gut die Bandbreite der Anbaubedingungen am Standort wider. Die Sorte »Beaupre« erzielt, im Gegensatz zu anderen Versuchen mit sehr guten Zuwachsergebnissen, durch den ständigen Befall mit Rostpilzen keine Wuchsleistung mehr. Inzwischen zeigt sie starke Absterbeerscheinungen.

Tabelle 13: Standorteigenschaften von verschiedenen Plantagen in Sachsen

Standort	Köllitsch	Krummenhennersdorf	Pommritz (Sortenversuch)	Kalkreuth (Sortenversuch)
Anlagengröße in ha	10	2	0,2	0,1
Anlagejahr	2007/2008	2005	2008	1995
Höhe in m über NN	84	320	230	121
Durchschnittliche Jahresniederschläge in mm	520	820	766	595
Jahresdurchschnittstemperatur in °C	9,8	7,2	9,9	10,2
Bodenart	Lehm	Sandiger Lehm	Lössboden	stark lehmiger Sand
Umtriebszeit in Jahren	3 - 4	2 - 3	3	3
Ackerzahl	70	45	61	49
Bestandesdichte in Stück/ha	12.000 bzw. 16.000	11800	13300	17800
Weidensorten	Inger	Jorr, Tordis, Tora, Sven, Gudrun	Inger, Tordis	Zieverich
Pappelsorten	Androscoggin, Muhle Larsen, Hybride 275, Max Mehrklon, Pegasus, Japan Mix, Beaupré, Max 1	Weser 6, Max 3, Hybrid 275	AF2, Max 1, Hybrid 275	Muhle Larsen, Max 1, Max 3, Beaupre, Münden, Austia

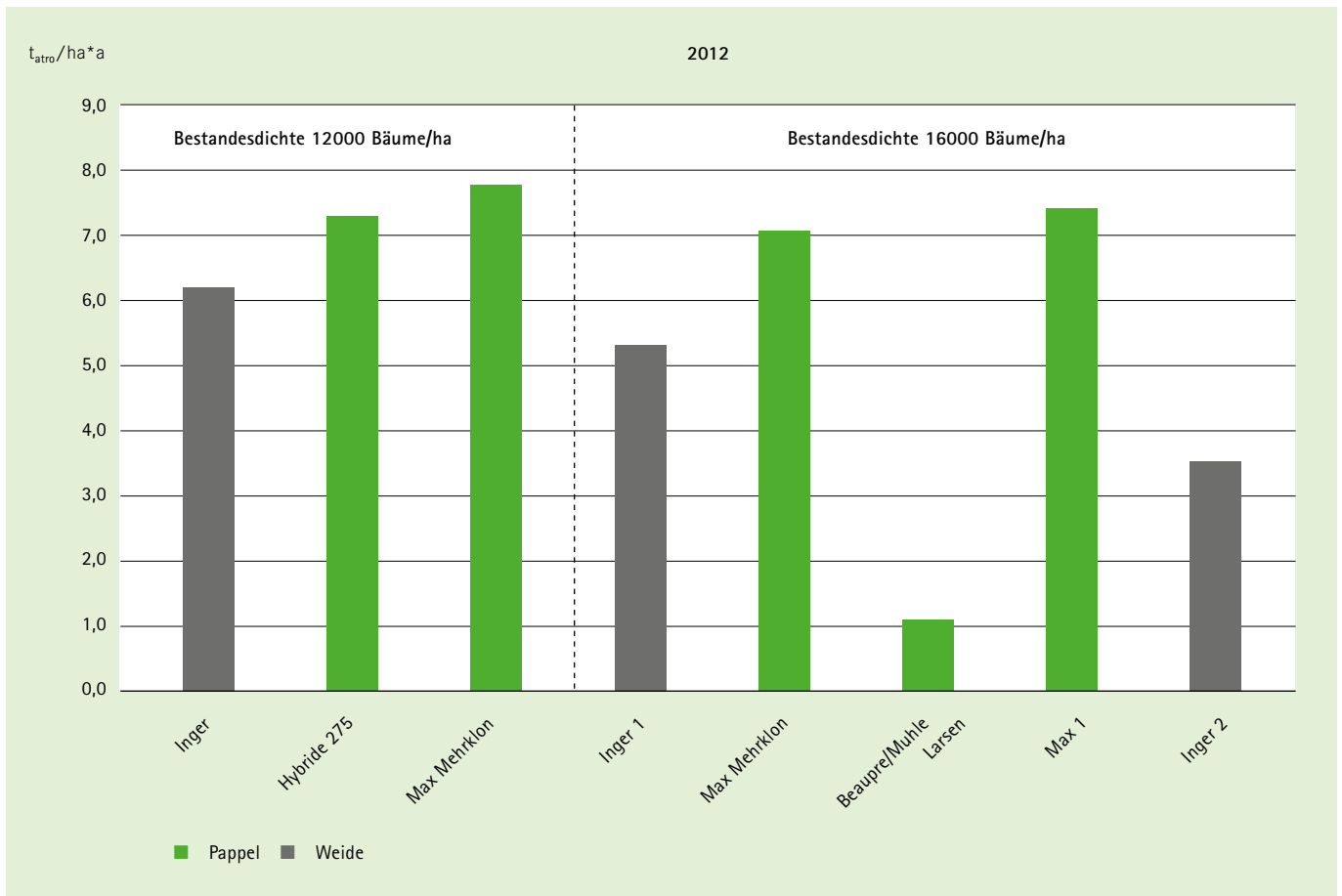
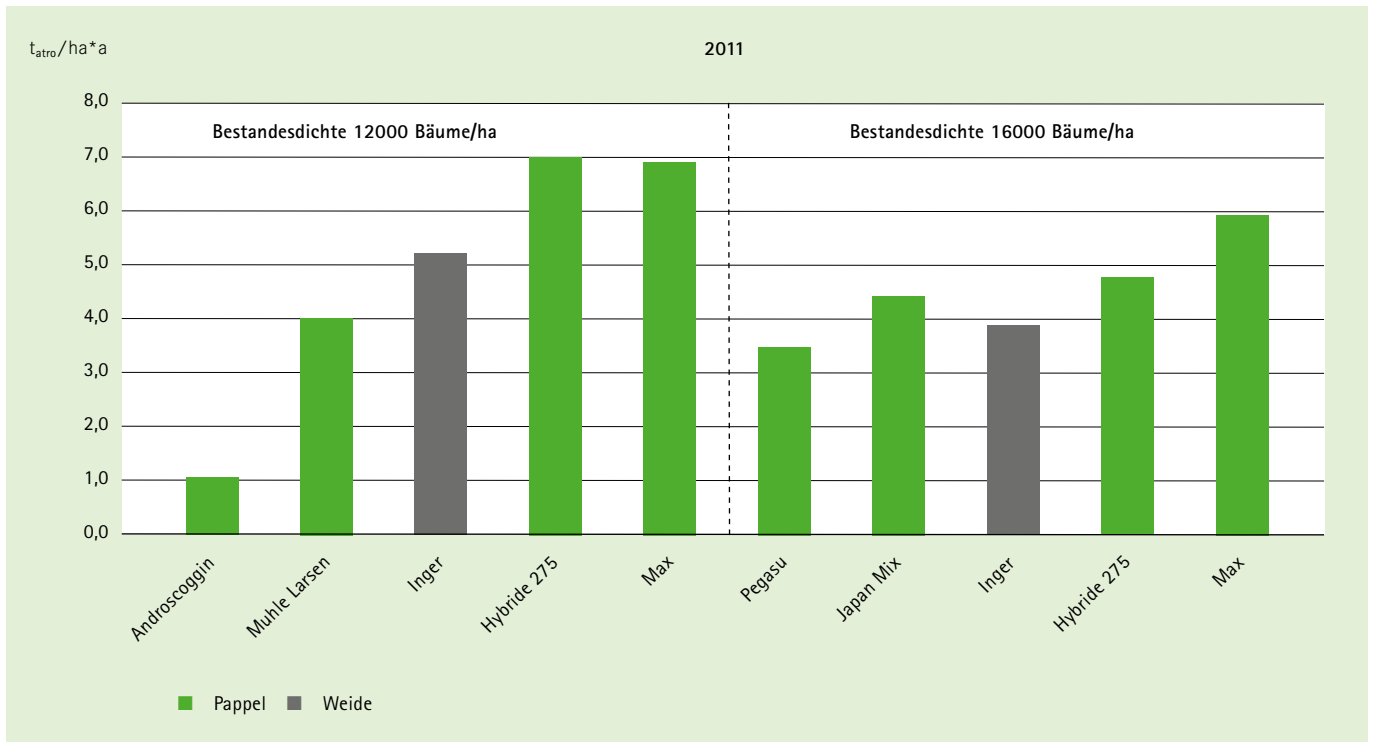


Abbildung 36 und 37: Erträge der KUP Köllitsch im ersten Umtrieb in den Jahren 2011 und 2012 in den einzelnen Parzellen in t_{atro} mit unterschiedlichen Stammzahlen von 12.000 und 16.000 Stück pro ha (Weide grau, Pappel grün)

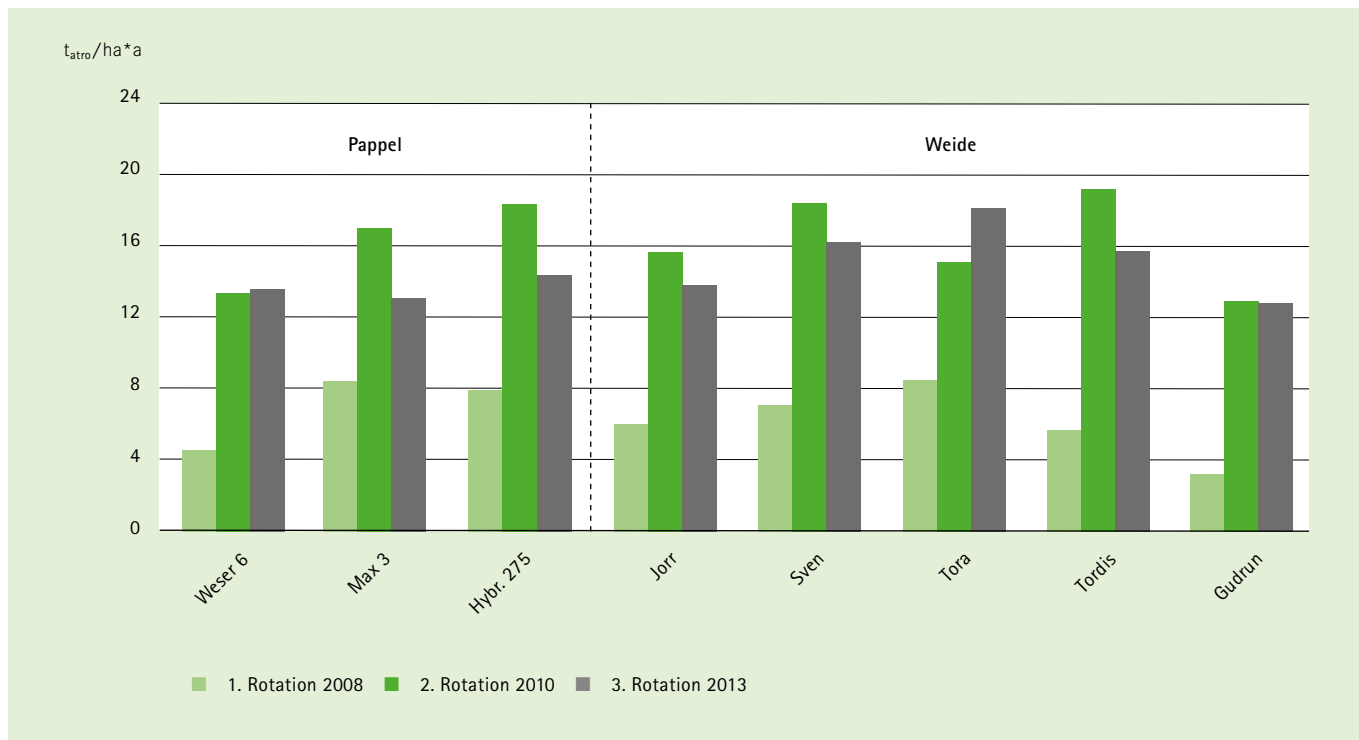


Abbildung 38: Durchschnittliche Erträge pro Jahr in t_{atro} in drei verschiedenen Rotationen in Krummenhennersdorf

Tabelle 14: Durchschnittlicher Gesamtzuwachs in t_{atro} pro Jahr von zwei dreijährigen Umtrieben in Pommritz

Sorten	Ernte 2010 Ertrag	Anzahl Nebentriebe	Brusthöhendurchmesser (Haupttrieb)	Wurzelhalsdurchmesser (Haupttrieb)	Wuchshöhe (Haupttrieb)
	t/ha (atro)				
Pappelklon »Max 1«	7,24	1,3	37,1	45,0	6,4
Pappelklon »Hybride 275«	9,94	1,3	40,4	48,2	6,7
Pappelklon »AF 2«	6,54	1,3	38,2	44,2	6,1
Weidenklon »Inger«	7,95	2,6	33,0	40,0	6,8
Weidenklon »Tordis«	8,98	2,4	30,7	37,4	6,9

Sorten	Ernte 2013 Ertrag	Anzahl Nebentriebe	Brusthöhendurchmesser (Haupttrieb)	Wurzelhalsdurchmesser (Haupttrieb)	Wuchshöhe (Haupttrieb)
	t/ha (atro)				
Pappelklon »Max 1«	11,67	9,02	15,89	n.g.	7,16
Pappelklon »Hybride 275«	13,00	7,45	13,11	n.g.	7,19
Pappelklon »AF 2«	5,08	6,09	16,12	n.g.	6,36
Weidenklon »Inger«	12,19	13,39	22,11	n.g.	7,14
Weidenklon »Tordis«	12,74	10,73	23,32	n.g.	7,06

n.g. = nicht gemessen

Tabelle 15: Durchschnittlicher Gesamtzuwachs in t_{atro} einer KUP Versuchsanlage (Parzellenversuch) in Kalkreuth im dreijährigem Umtrieb

Umtriebsdauer (Jahre)	2	3	3	3	3	14	Durchschnitt/Jahr
Erntejahr	1997	2000	2003	2006	2009	1996 – 2009	
Sorte/Art	d GZ1)	d GZ1)	d GZ1)	d GZ1)	d GZ1)	d GZ1)	
	t_{atro}/ha^*a	t_{atro}/ha^*a	t_{atro}/ha^*a	t_{atro}/ha^*a	t_{atro}/ha^*a	t_{atro}/ha^*a	t_{atro}/ha^*a
Balsampappel							
Muhle Larsen	8,4	11,0	9,4	7,4	11,0	133,3	9,5
Max 1	10,8	11,7	12,1	13,0	15,4	178,2	12,7
Max 3	12,6	10,3	12,0	10,1	12,7	160,6	11,5
Beaupré	13,7	15,2	11,7	10,2	9,0	165,9	11,9
Zitterpappel							
Austria	3,7	9,9	8,8	6,7	9,1	110,9	7,9
Münden	1,2	8,4	5,6	4,0	5,4	72,7	5,2
Korbweide							
Zieverich	5,3	17,4	18,2	15,2	17,2	214,6	15,3

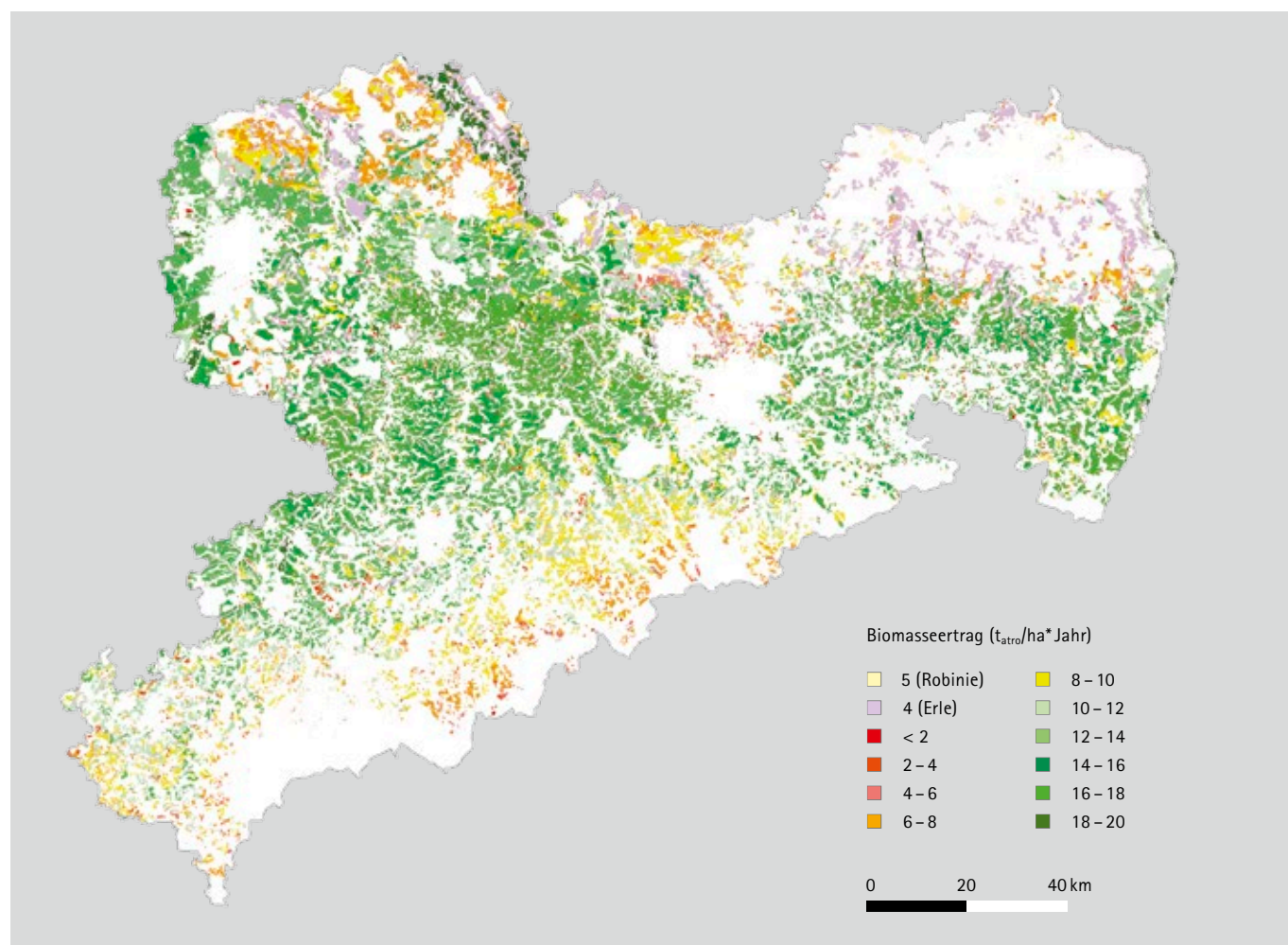


Abbildung 39: Standorttypisches Ertragspotenzial von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerstandorten in Sachsen

Quelle: FEGER et al. (2009)

Eine weitere Versuchsanlage befindet sich in **Krummenhennersdorf** bei Halsbrücke (Abbildung 38).

Gut ersichtlich ist der starke Zuwachs zwischen erstem und zweitem Umtrieb, welcher zu einer Verdopplung der Erträge führt. Dieser Aspekt setzt sich in den Umtrieben moderat fort. Die Weide »Gudrun« gilt als sehr winterharte Sorte mit durchschnittlichen Erträgen. Alle anderen Sorten zeigen ein hohes Ertragspotenzial auf einem für sächsische Verhältnisse idealen Standort. Der Pappelklon »Weser 6« ist derzeit in Deutschland nicht zugelassen. Weitere Informationen unter:

→ <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14994>

Am Standort **Pommritz** (Landkreis Bautzen) wurde 2008 eine Versuchsanlage nach einem bundesweiten Versuchsaufbau mit drei Pappelklonen und zwei Weidenklonen angelegt (Tabelle 14). Die Ergebnisse zeigen, dass der Anbau des Pappelklons »AF 2« in den östlichen Regionen Deutschlands nicht empfehlenswert ist. Dieser Schwarzpappelklon ist für den kontinentalen Klimateinfluss zu wärmeliebend. Weitere Informationen unter:

→ <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15076>

Der Parzellenversuch **Kalkreuth** mit hohen Stückzahlen und langen Versuchsreihen verdeutlicht die lang anhaltene Ertragsleistung im Kurzumtrieb. Wie auf anderen Standorten auch, erzielt die Weide sehr hohe Erträge bei trockenen Verhältnissen. Die Zuwächse der Sorte »Beaupre« lassen auf Grund des wiederkehrenden Pilzbefalls deutlich nach (Tabelle 15).

Standort-Leistungsschätzer im Kurzumtrieb

Durch die Entwicklung eines Standort-Leistungsmodells kann das Ertragspotenzial von Pappel-KUP bei unterschiedlichen Bestandesdichten für die gesamte sächsische Ackerfläche auf Gemeindebasis kalkuliert werden (Alu, 2009). Die Simulationsrechnungen basieren auf der Klonsorte Max mit 1.000 – 15.000 Stecklingen pro Hektar bis zu einer 9-jährigen Rotation. Stammzahlen von 1.667 Stück/ha ermöglichen in Mittelsachsen Erträge von $8 - 10 t_{atro}/ha \cdot a$. In den restlichen Landesteilen liegen sie meist mit $4 - 8 t_{atro}/ha \cdot a$ darunter. Bei Stammzahlen von 10.000 Stück/ha liegen die Erträge bei mindestens $8 t_{atro}/ha \cdot a$, in Mittelsachsen und bergnahen Lagen Ost Sachsens sind Erträge von $12 - 16 t_{atro}/ha \cdot a$ erzielbar (RÖHLE et al., 2013). Für die Stammzahl von 1.000 – 16.000 Stück/ha ist eine Simulation mit den Klonen Androcoggin, Matrix und Münden möglich. Abbildung 39 zeigt das standorttypische Ertragspotenzial von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerstandorten in Sachsen.

Ertragsschätzer im Kurzumtrieb

Der Ertragsermittler für KUP aus Pappel und Weide wurde auf der Grundlage von umfangreichen Messungen an mehreren Klonen entwickelt. Die Messdaten stammen von Flächen im Osten Deutschlands und repräsentieren KUP in Höhenlagen von 120 m bis 650 m ü. NN, mit jährlichen Niederschlägen von 450 mm bis

1.300 mm, mit mittleren jährlichen Temperaturen von 7 – 10 °C und Ackerwertzahlen von 30 – 70. Das Altersspektrum der untersuchten Klone deckt den Altersbereich von 3/3 (dreijährige Triebe auf dreijährigem Stock) bis 10/10 (zehnjährige Triebe auf zehnjährigem Stock) der ersten Rotation ab. Die Bestockungsdichten der untersuchten Flächen liegen mit 1.000 – 67.700 Trieben pro Hektar in einem sehr weiten Bereich.

Für alle KUP, die innerhalb dieser Bereiche liegen, ist es möglich, mit Hilfe dieses Ertragsermittlers eine Biomasseschätzung vorzunehmen. Die geschätzten Erntemengen sind Grundlage für Verhandlungen zum Hackschnitzelverkauf, zur Volumenermittlung zur geplanten Trocknung oder zur benötigten Lagerfläche.

■ Weitere Informationen

→ http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_forstwissenschaften/institute/ww/waldwachstum/forschung/kup-ertrag

Trocknung und Lagerung

Im Winterhalbjahr eingeschlagenes Holz aus Kurzumtriebsplantagen besitzt einen hohen Wasseranteil (45 – 65%), der je nach Baumart, Witterungsbedingungen und Standortverhältnissen jahreszeitlich schwankt. Mit dem geringsten Wassergehalt ist von Dezember bis Januar zu rechnen. Um eine Lagerfähigkeit des Erntegutes (Hackschnitzel) zu erreichen, ist eine Trocknung auf einen Wassergehalt von unter 30% notwendig. Dadurch wird eine Verdopplung des Heizwertes erreicht.

Die Trocknung erfolgt als Hackschnitzel im Haufwerk oder als Ganzbaum im Polter mit anschließender Hackung (siehe Kapitel Ernte).

Wird Hackgut von 50% auf 15% Wassergehalt getrocknet, steigt der effektive Heizwert um bis zu 60% von ursprünglichen ca. 2 kWh/kg auf ca. 4,5 kWh/kg an. Somit ist eine Einsparung von bis zu 50% der erforderlichen Hackgutmenge möglich (siehe Abbildung 40).

Die Trocknung verhindert auch, dass im Lager stärkerer Substanzverlust (Trockenmasseverlust) durch mikrobiellen Abbau (Schimmel, Verpilzung) stattfindet und vermindert das Risiko von gesund-

heitlichen Schäden beim Umlagern der Hackschnitzel (IDLER et al., 2004). Besonders feuchtes Feinhackgut wird bei längerer Liegezeit ohne Belüftung von Pilzen besiedelt (Abbildung 41). 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 (IDLER et al., 2009). Beim Umschlag von Holzhackschnitzeln im Lager ist deshalb das Tragen einer Atemschutzmaske vorgeschrieben.

Eine direkte Verwertung von erntefrischen Hackschnitzeln zur Energiegewinnung ist nur in Großverbrennungsanlagen wirtschaftlich sinnvoll. Kleinere Anlagen benötigen unbedingt eine vorgeschaltete Trocknung. Feuchtes Material verursacht einen diskontinuierlichen Verbrennungsvorgang, höhere Emissionswerte, eine geringere Effizienz und eine geringere Kesselhaltbarkeit.

Eine zusätzliche Trocknung ist vor allem bei feuchtem Fein- und Mittelhackgut ($\geq 40\%$ Wassergehalt) erforderlich, um eine Kompostierung des Materials zu vermeiden.



Abbildung 40: Beziehung von Heizwert zum Wassergehalt des Holzes

Für einen Wiederaustrieb im Frühjahr legen die Gehölze ausreichend Reservestoffe an, die überwiegend aus leicht abbaubaren Substanzen wie Zucker und Stärke bestehen. Das Hacken bewirkt eine Vermischung der Reservestoffe der Triebe und der Bakterien, die sich an den Trieben befinden (BRUMMACK et al., 2013), was zu hohen biologischen Umsetzungen führt. Bedingt durch die hohe biologische Aktivität entstehen hohe Temperaturen bis über 60°C. Solange der Wassergehalt höher als 30% ist, bilden sich thermophile Pilze, nach Abkühlung des Haufwerks auch mesophile Pilze.

Je länger dieser biologische Prozess andauert, desto mehr Biomasse wird abgebaut. Ohne Unterbrechung würde eine Kompostierung entstehen, mit Abbau der festen Biomasse. Bei einer Ganzbaumernte laufen diese Prozesse nur sehr langsam ab. Grobhackschnitzel zeigen dadurch auch ein besseres Trocknungsverhalten als Feinhackschnitzel (IDLER et al., 2009).

Trockenmasseverluste sind weder in den Grundlagen befriedigend erforscht, noch sind ausreichend Versuchsreihen für die einzelnen Trocknungsvarianten erprobt. SCHOLZ (2007) spricht über einen Bereich der Trocknungsverluste von 10 – 30% pro Jahr, in Einzelfällen bis 40% pro Jahr. 30% Trockenmasseverlust durch Schimmelpilze verursachen eine Reduzierung der technisch nutzbarer Energie um 25%. Durch eine idealere Durchlüftung treten bei einer Hackschnitzellänge von 100 – 150 mm nur geringe Energieverluste auf. Mit einer Größe von 40 – 50 mm ist eine Trocknung auf unter 30% Wassergehalt möglich, bei einem Trockenmasseverlust von 15% (IDLER et al., 2004), siehe Tabelle 16.

Zum **Trocknen von Vollholz** werden die Triebe an einem möglichst windigen, sonnenexponierten Standort im Polter aufgeschichtet (Abbildung 43). Eine Unterlage von ca. 30 cm schafft ein besseres Trocknungsverhalten der unteren Triebe und verringert die Verunreinigung für das anschließende Hacken. Der Wiederaustrieb von Blättern und Trieben schafft zusätzliche Verdunstungsfläche und somit einen schnelleren Trocknungsvorgang.

Untersuchungen von BÄRWOLFF & HERING et al. (2012) ergaben für einen Feldversuch mit 4-jährigen Trieben einen Biomasseverlust von 6% nach einer 6-monatigen Trocknung auf einen Wassergehalt von 34%.

BÖHME (2012) erreichte innerhalb von 7 Monaten eine Wassergehaltsreduzierung von 57% auf 22%.

Untersuchungen von Stammholz ergaben eine Trocknung mit einem Wassergehalt von kleiner als 20% nach 8 Monaten (HÖLD-RICH et al., 2006). Die Trocknung als Ganzbaum erzeugt einen sehr geringen Biomasseabbau und gute Trocknungsergebnisse, jedoch ist der Mehraufwand der Lagerung und die zusätzliche Logistikkette zu beachten.

Zur **Trocknung von Hackschnitzeln** können verschiedene Verfahren herangezogen werden (Abbildung 44).

Die üblichsten Verfahren sind nachfolgend aufgeführt, wobei die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Trocknungsverfahren je nach Rahmenbedingungen des Betriebes schwankt.

Tabelle 16: Jährliche Trockenmasseverluste (TM) bei Holzlagerung in Haufen im Freien (z. T. mehrmonatige Lagerung auf 1 Jahr hochgerechnet)

Material/Lagerart	Verlust % TM/Jahr
feines Hackgut, frisch, unabgedeckt	20 – 35
feines Hackgut, getrocknet, abgedeckt	2 – 4
grobstückiges Hackgut (7 – 15 cm), frisch, abgedeckt	ca. 4
Ganzbäume (Pappel, Weide), frisch, unabgedeckt	6 – 15

Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009)



Abbildung 41: Schimmelpilzbefall auf einem Hackschnitzelhaufwerk



Abbildung 42: Querschnitt durch ein Hackschnitzelhaufwerk (Vliesabdeckung) mit gutem Trocknungsergebnis



Abbildung 43: Trocknung von Vollbäumen auf befestigtem Untergrund

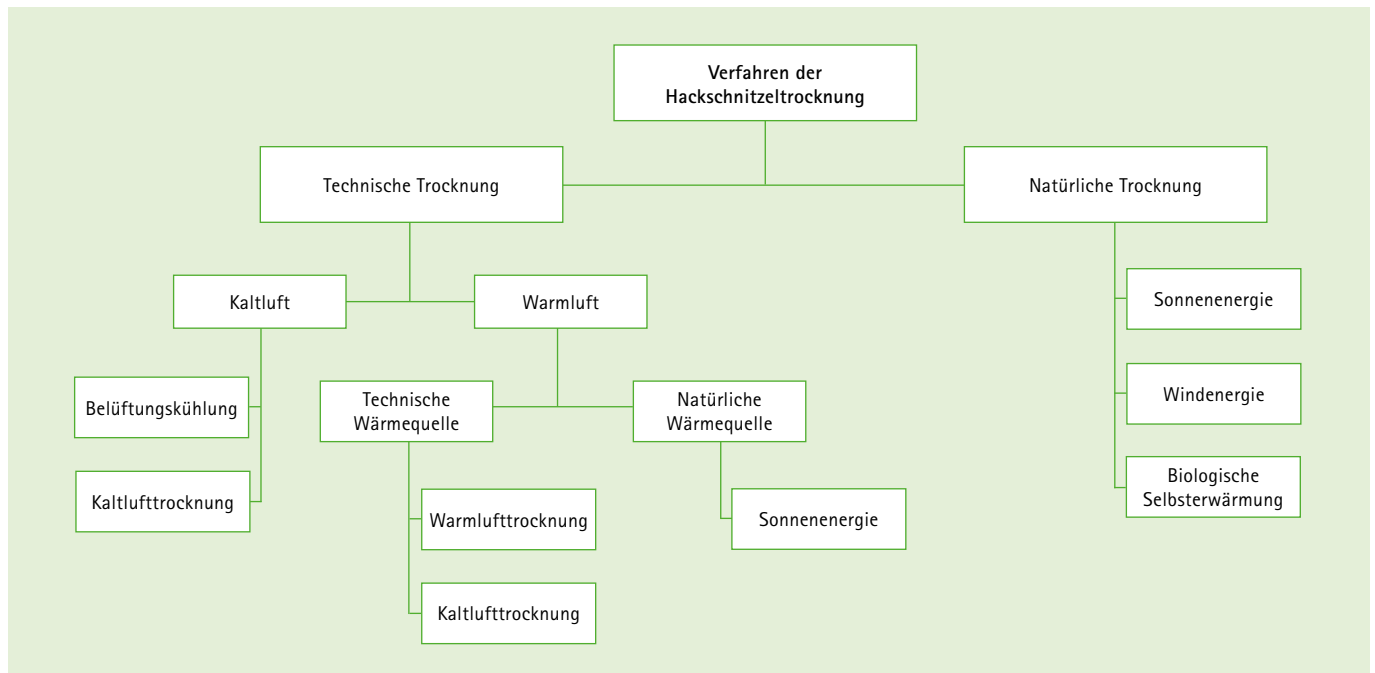


Abbildung 44: Verfahren der Hackschnitzeltrocknung
 Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

Unterschiedliche Hackschnitzelgrößen führen zu einem differenzierten Trocknungsverhalten (BÄRWOLFF & HERING et al., 2012). Dabei gilt: Je größer das Hackgut, desto besser ist das Belüftungsverhalten während der Trocknung und deren Ergebnis.

Kaltbelüftung

Beim Kaltbelüftungsverfahren wird ein maschineller Luftstrom künstlich erzeugt. Der Luftstrom wird entweder kalt (Kaltbelüftung) oder erwärmt (Belüftungskühlung) durch das Haufwerk der Hackschnitzel geblasen. Dies erfolgt in der Regel unter Dach, um eine Wiederbefeuchtung zu vermeiden.

Wenn der Wassergehalt im Holz von 50 auf $\leq 20\%$ gesenkt werden soll, ist mit Trocknungskosten von 15 €/t Hackschnitzel zu rechnen (KOLLOCH, 1990).

Die Gebläseluft treibt die feuchte Luft aus dem Haufwerk. Die Trocknung dauert mit Kaltluft etwa 4–6 Monate.

Effektiver ist die Belüftungskühlung. Bei diesem Verfahren nutzt man die biologische Selbsterwärmung im Haufwerk durch einen zielgerichteten Wechsel von Kaltbelüftungsphasen und Belüftungspausen. Somit wird die Wärme aus den Umsetzungsprozessen im Hackschnitzelhaufen für die Trocknung ausgenutzt. Das Verfahren kann auch im Winter eingesetzt werden. Die Trocknungszeit dauert etwa 3 Monate.

Ein weiteres Trocknungsverfahren ist das so genannte **Domrocknungsverfahren** nach BRUMMACK (TU Dresden, EP05 776652.9, Abbildung 45). Dieses Verfahren kann im Freien angewendet werden und nutzt ebenfalls die Selbsterwärmung im Holzhackschnitzelhaufen. Die Belüftung des Haufwerks erfolgt durch horizontal bzw. vertikal angeordnete Kanäle und Schächte

(Dome). Dabei steigt die erwärmte Luft zwischen den Hackschnitzeln nach oben und entweicht durch den Kamineffekt aus dem Haufwerk. Gleichzeitig wird kalte, trocknere Außenluft über die Kanäle am Boden nachgezogen. Dieses Verfahren stammt aus der Nachrotte von Bioabfall (ZIMMERMANN & WERN, 2004). Die Einbauten können aus Baustahl bzw. Stahlmatten hergestellt werden. Durch die stark saure Umgebung, gepaart mit hohen Temperaturen während der Trocknungsphase, ist eine Konstruktion aus verzinktem Stahl, Aluminium oder Kunststoff vorteilhaft.

Weitere Vorzüge dieses Verfahrens liegen in der schnellen Trocknungszeit (drei bis vier Monate) der Hackschnitzel, im flexiblen Standort der Miete und in der Möglichkeit der anschließenden Lagerung in der Miete. Der Auf- und Abbau ist zeitintensiver als eine vergleichbare Silobewirtschaftung. Die Kosten belaufen sich auf 2–2,5 €/m³, bei fünffacher Verwendung der Kanäle auf 0,40–0,50 €/m³ (BRUMMACK & PESCHEL, 2013). Das Material (Dome und Kanäle aus Baustahl) eines Mietenaufbaus in einem Durchfahrtssilo mit Strohisolierung und Hauptbelüftungskanälen entlang der Silowände kostet über 10 €/m³ bei einjähriger Nutzung. Eine semistationäre Miete mit isolierten Fertigteilen veranschlagen BRUMMACK & PESCHEL (2013) mit 15–20 €/m³.

Die Kondensationszone unterhalb der Plane und an den Entlüftungsdomen, mit einem Wassergehalt von ca. 70%, führt zu einer starken Kompostierung des eingelagerten Materials. Ein Praxisversuch ergab nach 4 Monaten Trocknungszeit einen Biomasseabbau von 15% mit einem Restwassergehalt von 37% (BÄRWOLFF et al., 2012). BRUMMACK & PESCHEL (2013) berichteten von einem Versuch mit der Trocknung erntefrischen Materials von 60% auf 30% Wassergehalt bei einem Dendromasseverlust von 6%. Erfahrungen aus einem Mietenaufbau in einem Durchfahrtssilo ergaben nach 6 Monaten einen Wassergehalt von 24% bei stark ausgeprägter Kondensationsschicht, die diesem

Durchschnittswert auf 36% anheb. Der Kern des Haufens besaß einen Wassergehalt von meist unter 25%.

Eine weitere mögliche Variante ist die Kombination des Aufbaus des Dombelüftungsverfahrens und der Abdeckung mit einem wasserdampfdurchlässigen Vlies (Abbildung 46).

Belüftungstrocknung (Warmluft)

Ein weiteres Trocknungsverfahren ist die Belüftung mit vorgewärmter Luft. Die Temperaturen liegen je nach System im Bereich zwischen 40 – 130 °C (Warmlufttrocknung) und 600 – 1.000 °C (Heißlufttrocknung). Dadurch wird der Trocknungsprozess enorm beschleunigt. Wirtschaftlich vertretbar ist die Trocknung durch den Einsatz von Abwärme (z. B. Biogasanlage). Der Einsatz von Heizöl oder Erdgas verteuert den Prozess deutlich.

Die Belüftung des Haufwerks erfolgt vom Lagerboden aus über spezielle Lüftungsschächte (Unterflurschächte). In der ersten Phase des Trocknungsprozesses kommt es dabei zur Ausbildung von Kondensationszonen in der äußeren Schicht der Miete, die im weiteren Trocknungsverlauf zurückgehen. Um diesen feuchten Kondensationsbereich rasch abzubauen, ist die Haufwerkshöhe auf maximal 4 m zu begrenzen. Die Mindesthöhe beträgt 1 m. Die Oberfläche des Haufens sollte möglichst eben sein, um die Unterschiede im Strömungswiderstand zu verringern. Außerdem wird eine Belüftungsrate von mindestens 40 m³/h je Kubikmeter Holzhackgut empfohlen (HARTMANN, 2003). Große Wassermengen werden auf diese Weise in relativ kurzer Zeit entzogen. Der sehr intensive Trocknungsvorgang ist allerdings mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden. Diese Verfahren sind nur für einen größeren Holzumschlag zweckmäßig. Die Trocknungskosten mit Hilfe von Abwärme einer Biogasanlage beliefen sich beim Ertrag einer 2 ha großen Plantage auf 6,30 €/srm Hackschnitzel.

Natürliche Trocknung

Während der Lagerung der Hackschnitzel im Freien erfolgt die Trocknung durch deren Selbsterwärmung. Die Schütthöhen sind dabei in Abhängigkeit der Kantenlänge der Hackschnitzel zu wählen (Tabelle 17), um eine Trocknung im ganzen Haufwerk zu erreichen.

Je nach Kantenlänge der Hackschnitzel erfolgte ein unterschiedlicher Trocknungsverlauf mit unterschiedlichem Ergebnis, siehe Abbildungen 47 und 48.

Der Trocknungsverlauf und die Substanzverluste (Trockenmasseverluste), vor allem in der Kondensationsschicht an der Holzbiomasse, werden in starkem Maße durch die Hackschnitzelstruktur, die Witterungsbedingungen und die Abdeckung des Haufwerks beeinflusst. Danach sind für die Lagerung im Freien vor allem Grobhackschnitzel geeignet. Eine **Vliesabdeckung** (dampfdurchlässiges Kunststoffgewebe) beschleunigt den Trocknungsverlauf und vermindert die Substanzverluste (Abbildung 42). Die Dachschrägen sollten deutlich über 45° Neigung (optimal 60° Dach-

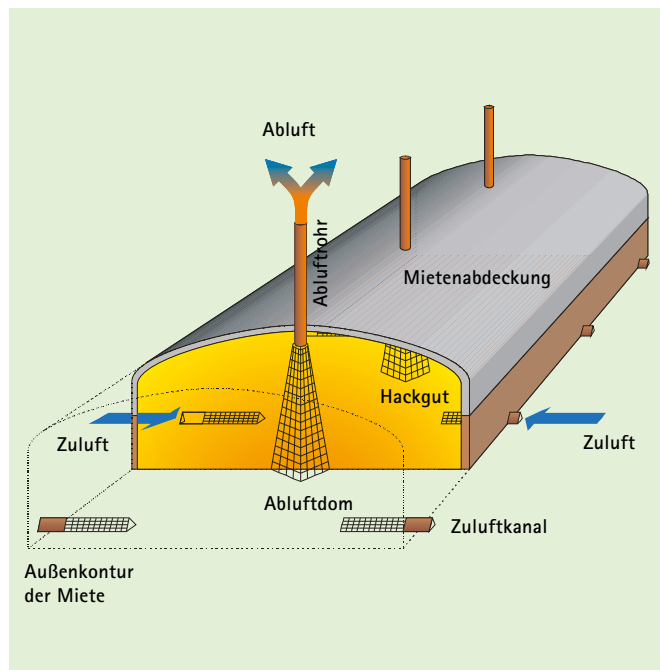


Abbildung 45: Verfahrensprinzip Dombelüftungsverfahren
Quelle: BRUMMACK (2014)

Tabelle 17: Trocknungsverfahren für Hackschnitzel (Trocknung durch Selbsterwärmung, kegelförmige Haufen im Freien)

Körnigkeit	Maximale Schütthöhe	Trocknung
grob	bis 7 m	Selbsterwärmung von innen nach außen; Nachteil: Substanzverluste, evtl. aktive Kaltbelüftung
mittel	bis 5 m	
fein	bis 3 m	

Quelle: RÖHRICHT & RUSCHER (2009)



Abbildung 46: Dombelüftungsverfahren mit Abdeckvlies

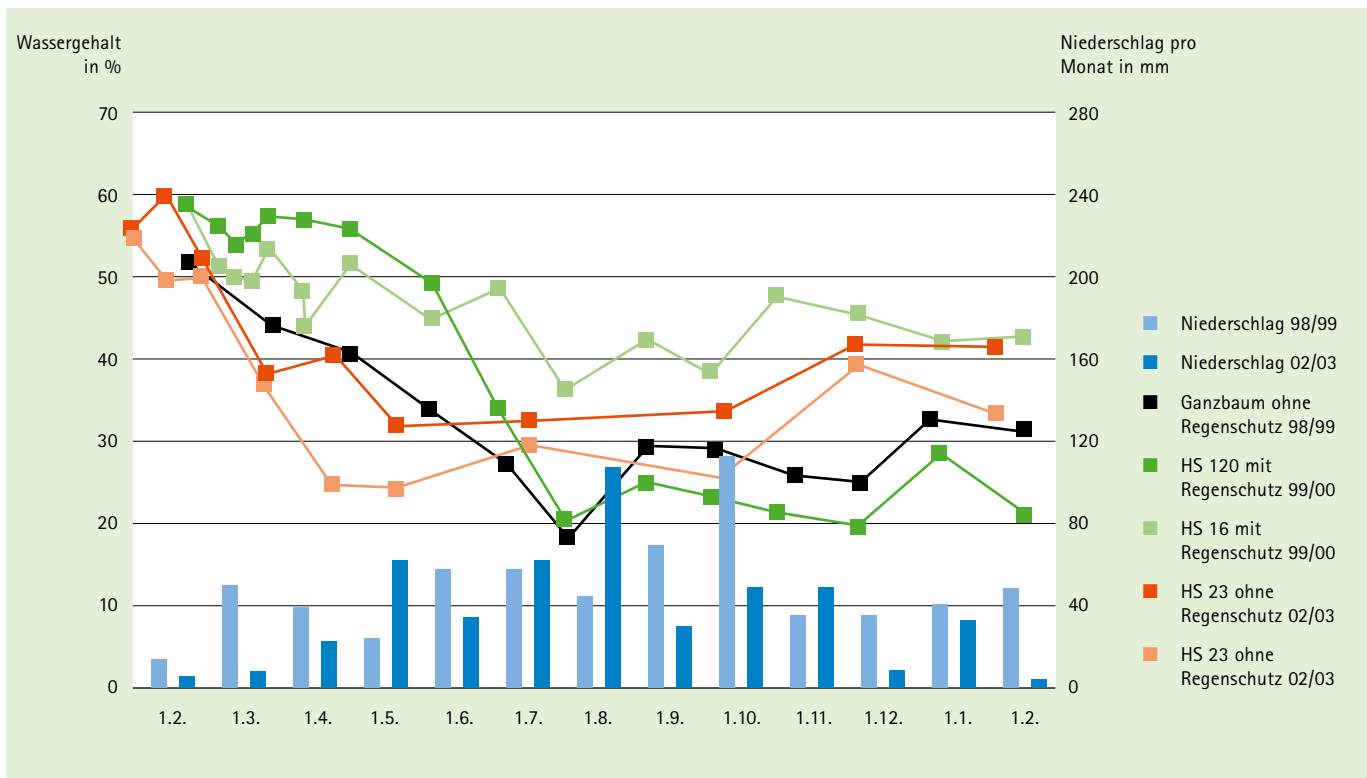


Abbildung 47: Trocknungsverläufe in 10 m³ Schüttungen aus unterschiedlichen Hackformaten (ATB Potsdam-Bornim)

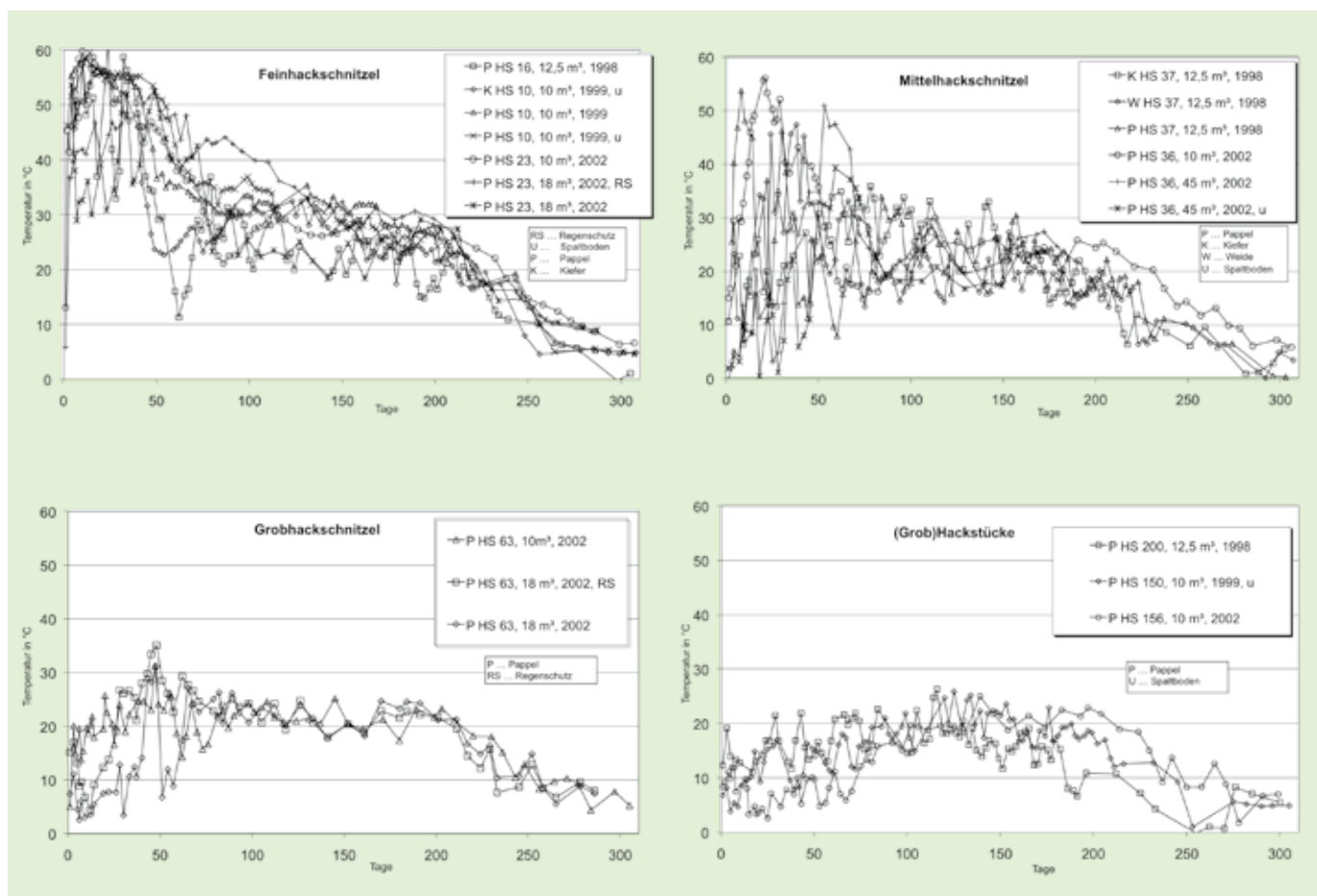


Abbildung 48: Mittlere Temperatur von Hackschnitzeln in verschiedenen Lagerhaufen (ATB Potsdam-Bornim)

KUP-Hackschnitzelpreise (WG 35) in Euro pro Tonne

(Lieferung von 80 Srm im Umkreis von 20 km; alles inklusive)

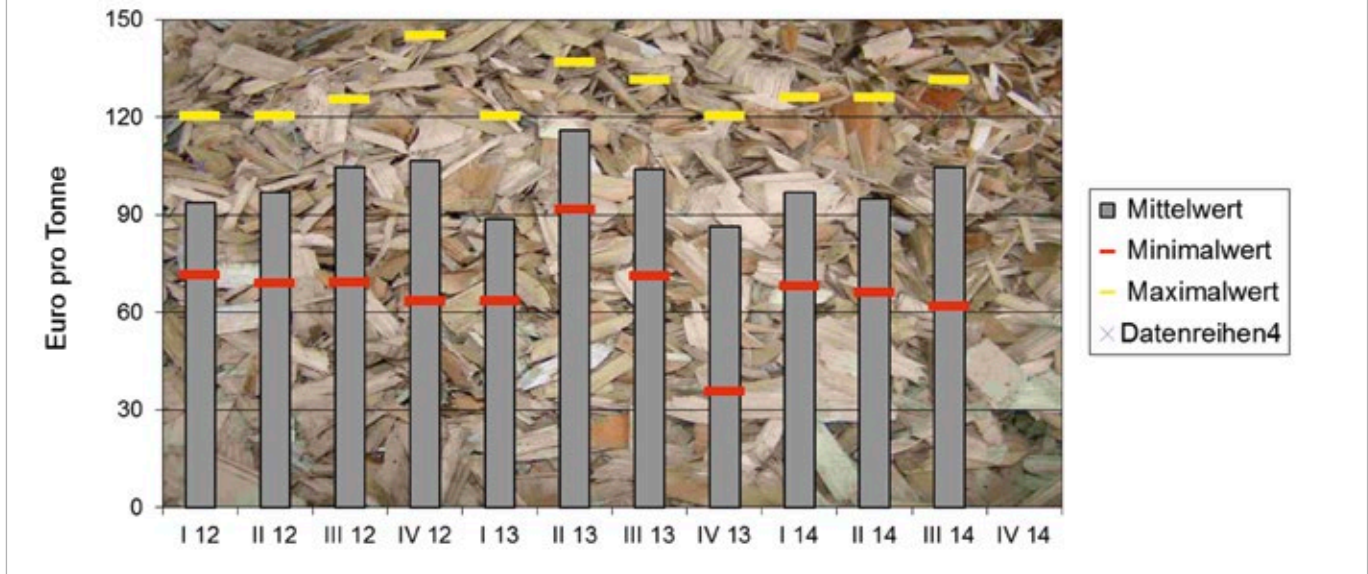


Abbildung 49: Preisindex der Jahre 2012 – 2014 für Hackschnitzel aus KUP nach einer Umfrage von C.A.R.M.E.N. e. V.

neigung) aufweisen, um Starkregen auf dem Vlies einen schnellen Abfluss zu ermöglichen. Kritisch an der Freilandlagerung ist die ständige witterungsbedingte Wiederbefeuchtung, die mitunter eine Trocknung verhindert oder stark verzögert. Für die Abdeckung von 1 m³ Hackschnitzeln wird 0,5 m² Vliesfolie benötigt. Diese ist 200 g/m² schwer und kostet 2 – 3 €/m², ist wasserabweisend, atmungsaktiv, reißfest, wind- und UV-stabil und gegen Mikroorganismen beständig. Die Nutzungszeit ist bis zu 5 Jahre möglich. Die Trocknungsdauer beträgt ca. 1 Jahr.

Ein Versuch zeigte bei Feinhackschnitzeln Wassergehalte von 47% nach 6 Monaten unter ungünstigen Trocknungsverhältnissen (BÄRWOLFF & HERING, 2012).

Im Ergebnis eines Großversuches (Material G 30 [ÖNORM], Lagermenge 400 srm) erreichten PEZENKA et al. (2014) in einem Durchfahrtsilo einen Wassergehalt von 29% und einen Trockenmasseverlust von 22% innerhalb von 6 Monaten Trocknungszeit.

Zwei Praxisversuche in Bayern mit je zwei Varianten (mit und ohne Vliesabdeckung) ergaben in einer Variante einen Wassergehalt von 23% gegenüber der unabgedeckten Variante mit 70% innerhalb einer siebenmonatigen Trocknungsphase. Der durchschnittliche Jahresniederschlag am Versuchsstandort betrug 1.200 mm.

Ein weiterer, gleich aufgebauter Versuch erreichte einen Wassergehalt von 25% bei beiden Versuchsvarianten, allerdings wiesen die durchschnittlichen Jahresniederschläge nur ca. 550 mm auf (BURGER, 2005).

Die Vorteile dieses Trocknungsverfahrens sind die geringen Kosten der benötigten Materialien, der einfache flexible Aufbau, der geringe Unterhaltungsaufwand und der fließende Übergang zur

Lagerung. Allerdings wird dieses Verfahren durch die Witterung beeinflusst und ist von der Neigung und der Höhe des Haufwerkes abhängig.

Die Trocknung unter Dach ist eine Möglichkeit, um gute Trocknungsergebnisse bei einem akzeptablen Biomasseverlust zu erzielen. Gelegentliches Umlagern des Haufwerkes in den ersten Monaten der Trocknung bringt entscheidende Vorteile im Trocknungsverhalten.

Ein Wassergehalt von 28% bei einem Masseverlust von 13% erreichte ein Trocknungsversuch mit Hackschnitzeln von BÄRWOLFF & HERING (2012).

Lagerung unter Dach

Um ein Wiederbefeuchten der abgetrockneten Hackschnitzel zu vermeiden, ist eine anschließende Lagerung ohne Umwelteinflüsse notwendig. Dabei ist die Schütthöhe zu beachten, um eine Selbstentzündung zu vermeiden. Ein Überfahren oder zusätzliches Verdichten der gelagerten Hackschnitzel reduziert die lagerfähige Höhe vor allem bei erhöhtem Wassergehalt. Teilweise können die Trocknungsvarianten für eine anschließende Lagerung genutzt werden, was aus ökonomischer Sicht auch anzustreben ist.

Abbildung 49 zeigt die Verkaufspreise für Hackschnitzel aus Kurzumtrieb mit einem Wassergehalt von 35% bei einer Anlieferung bis 20 km. Die Preise wurden mit Hilfe von 5 Vertriebsstellen ermittelt. Für eine Tonne mit 35% Wassergehalt ergibt sich ein Durchschnittspreis von 92 € (32 €/MWh).

Rückwandlung

Mit dem Rückgang der Erträge bzw. dem Verlust der Wirtschaftlichkeit (nach 20–25 Jahren) besteht die Möglichkeit, die Kurzumtriebsplantage rückzuwandeln und die Nutzungsfläche wieder in den jährlichen Fruchtfolgewechsel des Landwirtschaftsbetriebes einzuordnen. Eine Rückwandlung ist technisch unproblematisch und auf allen Böden möglich.

Entscheidend für die spätere landwirtschaftliche Nutzung ist die Qualität der einzelnen Verfahrensschritte. Dabei sollten nicht die entstehenden Kosten, sondern die Erfahrung des Anbieters im Vordergrund stehen.

Ein Mulchen der gesamten Arbeitsfläche hat sich als beginnender Arbeitsschritt bei verschiedenen Rückwandlungen bewährt (Abbildung 50 und 51). Mit dem Mulchgerät wird zunächst der oberirdische Stock und das verbliebene Ast- und Kronenmaterial zerkleinert. Die Menge an oberirdischem Material, welches anschließend in den Boden eingearbeitet wird, beträgt je nach Umtriebszeit und Qualität der Erntemaßnahme zwischen 1–5 t_{atro}/ha. Der sich schneller drehende Mulcher zerkleinert das Restholz und die Wurzelanläufe feiner als die Bodenfräse. Vor allem auf leichten Standorten, die der Bodenfräse nicht genügend Gegen- druck bieten, empfiehlt sich diese Maßnahme. Ein flächiges Mulchen vor den Fräsarbeiten verbessert entscheidend die abschließende Qualität.

Eine Rückwandlung mittels Bodenfräse durch Zerfasern der Wurzelstöcke ist das derzeit gebräuchlichste Verfahren (Abbildung 52). Die Bodenfräse, meist eine Rodefräse aus dem Forstbereich mit 1,5–2,0 m Arbeitsbreite, dringt bis zu 40 cm tief in den Boden ein und zerstört dadurch die Wurzeln. Eine Arbeitstiefe von 25 cm ist auf den meisten Böden ausreichend, um einen Wiederaustrieb zu verhindern. Die Bereiche zwischen den Stubbenreihen können flacher bearbeitet werden. Dabei ist eine Arbeitstiefe von 15 cm zum Beseitigen der flachen Seitenwurzeln oft ausreichend. Auf Standorten mit leichten Böden ist eine Rückwandlung schwieriger, da die Wurzeln viel leichter in den Boden gedrückt und somit schlechter zerkleinert werden. Dabei kann es notwendig sein, unmittelbar nach dem Fräsen den Boden rückzuverdichten. Die Fahrgeschwindigkeit des Schlepperfahrzeuges und die Lauf- richtung des Aggregates entscheiden wesentlich über die an-



Abbildung 50: Forstmulcher Eco FFS 250



Abbildung 51: Zerkleinern des oberirdischen Teils der Wurzelstöcke durch Forstmulcher

schließende Qualität. Beim Gleichlauf (Abbildung 53), die Fräse dreht sich mit den Fahrzeugrädern, ist der Fräskontakt zum Boden kurz, jedoch wird dieser als Widerlager gut genutzt. Allerdings besteht die Gefahr eines verdichteten Bodenhorizonts. Beim Gegenlauf ergibt sich ein längerer Fräskontakt ohne Verdichtungsgefahr für den Boden, doch bei stärkeren Wurzeln werden diese aus dem Boden gehoben. Ein Anstieg der Fahrgeschwindigkeit erzeugt eine Zunahme von grob gefrästen Holzmaterialien. Je nach Rotationsrichtung der Rodungsfräse ergibt sich ein anderes Erscheinungsbild des umgewandelten Bodens. Beim Gleichlauf (Fräse dreht in Fahrtrichtung) lagert sich verstärkt größeres Fräsmaterial mit grober Struktur an der Oberfläche an. Ein Großteil des groben Materials befindet sich in den oberen 5 cm des erzeugten Bodens.

Eine stärkere Zerkleinerung des Ausgangsmaterials wird beim Gegenlauf erzielt. Das Fräsmaterial ist feiner und der Holzanteil gleichmäßiger verteilt. Optisch ist die Fräsfurche durch den hohen Feinanteil an der Oberfläche schöner anzusehen. Die Verdichtung des Unterbodens ist bei dieser Rotationsrichtung geringer. Die mehrmalige Zerkleinerung des Fräsgutes bewirkt allerdings einen höheren Energieverbrauch als beim Gleichlauf.

Im Anschluss ist der mehrmalige Einsatz von Grubber und Kreiselegge empfehlenswert. Als abschließende Bodenbearbeitung empfiehlt sich das Grubbern mit nachlaufender Kreiselegge der gesamten Fläche. Dabei lockert der Grubber die Fläche einheitlich und ebnet diese ein. Die Kreiselegge zerkleinert noch größeres Material. Auf Grund dieser beiden Arbeitsgänge wird der Wiederaustrieb fast vollständig unterdrückt (BECKER & WOLF, 2009).

Allerdings wird durch diese Maßnahmen das Bodengefüge der oberen 30 cm, das sich im Bewirtschaftungszeitraum der Plantagen regeneriert hat, komplett gestört. Eine Rückwandlung mit einer Bodenfräse sollte unbedingt bei trockenen Bodenverhältnissen erfolgen, um einen Verdichtungshorizont vor allem bei gleichlaufender Fräse zu verhindern.

Ein Großteil der KUP wurde bisher auf Grenzertragsstandorten oder flachgründigen Böden angelegt, welche meist einen hohen Skelettanteil besitzen. Die Störung des homogenen Bodengefüges wirkt sich vor allem auf diesen Standorten besonders nachteilig aus.

Eine Stockrodung, auch bei stofflich genutzten KUP, ist aus wirtschaftlichen Gründen und der tiefen lokalen Störung des Bodens (1,5 m) nicht zu empfehlen.

Die Flächenleistung beim Tieffräsen von 25 – 30 cm beträgt je nach Bodenart und Anbauform zwischen 0,1 – 0,25 ha/h (0,6 km/h). Beim vorherigen empfohlenen Mulchen werden ca. 0,35 ha/h (1,4 km/h) erreicht.

Die Kosten der gesamten Rückwandlung sind mit 1.000 – 2.500 €/ha zu beziffern. Schwankungen liegen in der Umtriebszeit des zu rodenden Bestandes und der Art des Bodengefüges. Das Mulchen ist mit ca. 300 €/ha in der Kalkulation bereits enthalten.



Abbildung 52: Rodefräse (URF 200 FAE) mit einer Arbeitsbreite von 200 cm



Abbildung 53: Einsatz der Rodefräse zum Zerkleinern der Wurzelstöcke bis 30 cm Tiefe, Arbeitsrichtung Gleichlauf

Die Düngung nach erfolgter Rückwandlung richtet sich nach der eingearbeiteten Biomasse von 6 – 25 t/ha (GROSSE et al., 2010), was einer Erhöhung des Humusgehalts in den oberen Bodenschichten (0 – 20 cm) von 50 % entspricht (LANDGRAF et al., 2009). Laut WACHENDORF et al. (2011) erhöhen sich die Kohlenstoffmengen im Boden deutlich, vor allem durch eingearbeitetes Kronenmaterial, welches ein niedrigeres C/N-Verhältnis gegenüber Wurzelmaterial besitzt. Beim Düngen hat sich das Einbringen von Gülle mit Scheibeneggen sehr gut bewährt.

Nach dem Umbruch der Fläche ist mit einer starken Nährstofffreisetzung über einen längeren Zeitraum zu rechnen. Durch die nicht ausreichende Zerkleinerung der Holzreste stehen diese den Pflanzen nicht sofort durch Mineralisierung zur Verfügung. Die Freisetzung erfolgt je nach Zerkleinerungsgrad über Jahre hinweg.



Abbildung 54: Anbau von Mais nach der Rekultivierung einer 10-jährigen KUP

Eine Rückwandlung ist im zeitigen Frühjahr nach der winterlichen Beerntung durchzuführen. Als Erstfrucht sind Klee gras, Mais, Sonnenblumen und Sommergetreide geeignet (Abbildung 54). Danach soll über den Anbau von Winterraps (Aussaat Mitte August) erreicht werden, dass Stickstoff und Kalium aus der Mineralisation der organischen Bodensubstanz durch die Rapspflanzen noch vermehrt in der Vorwinterentwicklung aufgenommen werden können, um dadurch Nährstoffverluste insbesondere während der ersten Sickerwasserperiode nach dem Umbruch zu verringern. Bisher konnten für Folgekulturen auf Versuchsflächen keine signifikanten Ertragseinbußen festgestellt werden.

Ein weiteres Verfahren der Rückwandlung ist ein mehrmaliges Bearbeiten mittels einer schweren Scheibenegge. Pappelstöcke besitzen ein viel größeres Volumen gegenüber gleichaltrigen Weidenstöcken, daher ist eine derartige Rückwandlung vor allem bei Plantagenholz mit stofflicher Nutzung fraglich.

Umweltwirkung

Auf der Grundlage des gegenwärtigen Kenntnisstandes wird die Wirkung des Anbaus schnellwachsender Baumarten (Pappel, Weide) auf die Natur und Landschaft anhand verschiedener Kriterien bewertet.

Dabei ergeben sich Synergien und Konflikte mit der unmittelbaren Umwelt:

Negativ bzw. Konfliktpotenzial:

- großflächiger Anbau verursacht Verdrängung von Offenlandschaften
- Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch Reduzierung des Sickerwassers
- nachteilige Veränderung des Landschaftsbildes
- Verwendung invasiver Arten, die das Ökosystem beeinflussen (Robinie in extensiv genutzten Grünlandbereichen)
- Verbreitung und Vermischung gebietsfremder Arten und Vermischung derer mit bedrohten einheimischen Arten
- KUP können seltene Biotope beeinträchtigen
- Einwachsen der Wurzeln in Dränagen und somit Zerstörung der Meliorationsmaßnahme

Positiv bzw. Synergien:

- Erosionsminderung an Hanglagen und sonstigen erosionsgefährdeten Standorten durch dauerhafte Bestockung und tiefe Durchwurzelung
- Verringerung der Windgeschwindigkeiten und Verdunstung
- Bodenstabilisierung offener Flächen
- Abpufferung von Stoffeinträgen in Fließ- und Stillgewässer sowie in Schutzgebieten mit oligotrophen Standortbedingungen
- Rückhaltung von gelösten Nähr- und Schadstoffen im Boden
- mit KUP wird eine ausgleichende Wirkung bezüglich Luftfeuchtigkeit und Wasserrückhalt erzielt
- Vernetzung wertvoller Biotope, Verbindung der Landschaftsräume, Anreicherung von ausgeräumten Landschaften mit Strukturelementen
- Verbesserung der Luftqualität (Staubfilter), Verbesserung der Landschaftswahrnehmung (Lärm- und Sichtschutz)
- insbesondere bei KUP mit Mantel- und Saumbiotopen wird das Landschaftsbild aufgewertet, wobei die Plantagenbestände auch ein unerwünschtes Sichthindernis darstellen können
- gentechnisch veränderte Baumarten werden nicht eingesetzt, Sorten sind Ergebnis von Auslese und kontrollierten Kreuzungen

In Bezug auf **Grünland** ergibt sich eine geringe Synergiewirkung aus Sicht des Bodenschutzes, da mit dem Anbau von Dauerkulturen im Regelfall ein Grünlandumbruch einhergeht. Damit verbunden sind kräftige Mineralisationsschübe, die sowohl erhöhte Nähr- als auch Schadstoffausträge verursachen, was zur Gewässerbelastung führt. Zusätzlich reduziert der anfängliche Humusabbau die positive Klimawirkung, was die CO₂-Bilanz der Anlage verschlechtert. Durch die Neuanlage wird die Erosion in den ersten zwei Jahren gegenüber dem bisherigen Grünland erhöht.

Für die Darstellung der Verträglichkeit zwischen Dauerkulturen auf Ackerflächen sowie natur- und bodenschutzfachlichen Kriterien wurde Synergieklassen gebildet (FEGER et al., 2010). Die Synergieklasse »Synergie prüfen« nimmt mit 44% den größten Flächenanteil ein (Abbildung 55). Für ein Drittel der Ackerflächen werden Synergieeffekte erwartet. Als Ausschlussflächen gelten etwa 16% der Ackerflächen. Durch Risikominimierung ist selbst in diesen Gebieten zumindest ein kleinflächiger oder streifenförmiger Anbau möglich. Ausschlussgebiete sind nur in geringen Anteilen zu finden (< 5%). Dazu zählt das (potenzielle) Habitat des Feldhamsters in Nordwestsachsen.

Anbauintensität

Der Einsatz von im Herstellungsprozess energieintensiven und die Umwelt belastenden Pflanzenschutzmittel ist bei der Kurzumtriebsplantage nur auf das Anlagejahr beschränkt. Je nach Unkrautbedeckungsgrad der Fläche sind eine bis maximal vier Behandlungen im ersten Standjahr notwendig. Im Vergleich zu den normalen Behandlungsindizes in Ackerkulturen mit Fungiziden, Herbiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren (Durchschnitt 3,2 Behandlungen je Kultur und Jahr) ist der Wert (< 0,3) für schnellwachsende Baumarten sehr niedrig (RIPPEL, 2008). Bei Zunahme des Anbauumfanges kann sich durchaus eine höhere Intensität an Pflanzenschutzmaßnahmen (Insektizide, Fungizide) ergeben. Ein chemischer Pflanzenschutz ist durch die Höhe der Bestände meist nur in den ersten Etablierungsjahren bzw. nach der Ernte möglich.

Die Intensität des Anbaus bestimmt auch weitgehend die CO₂-Bilanz der Energiepflanzen.

Hier weisen mehrjährige Energiepflanzen mit geringer Anbauintensität (Düngung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung, Ernte, Aufbereitung) und hoher CO₂-Bindung je Hektar eine günstigere Klimabilanz (CO₂-Äquivalent) von 1 : 13 auf als einjährige Energie-

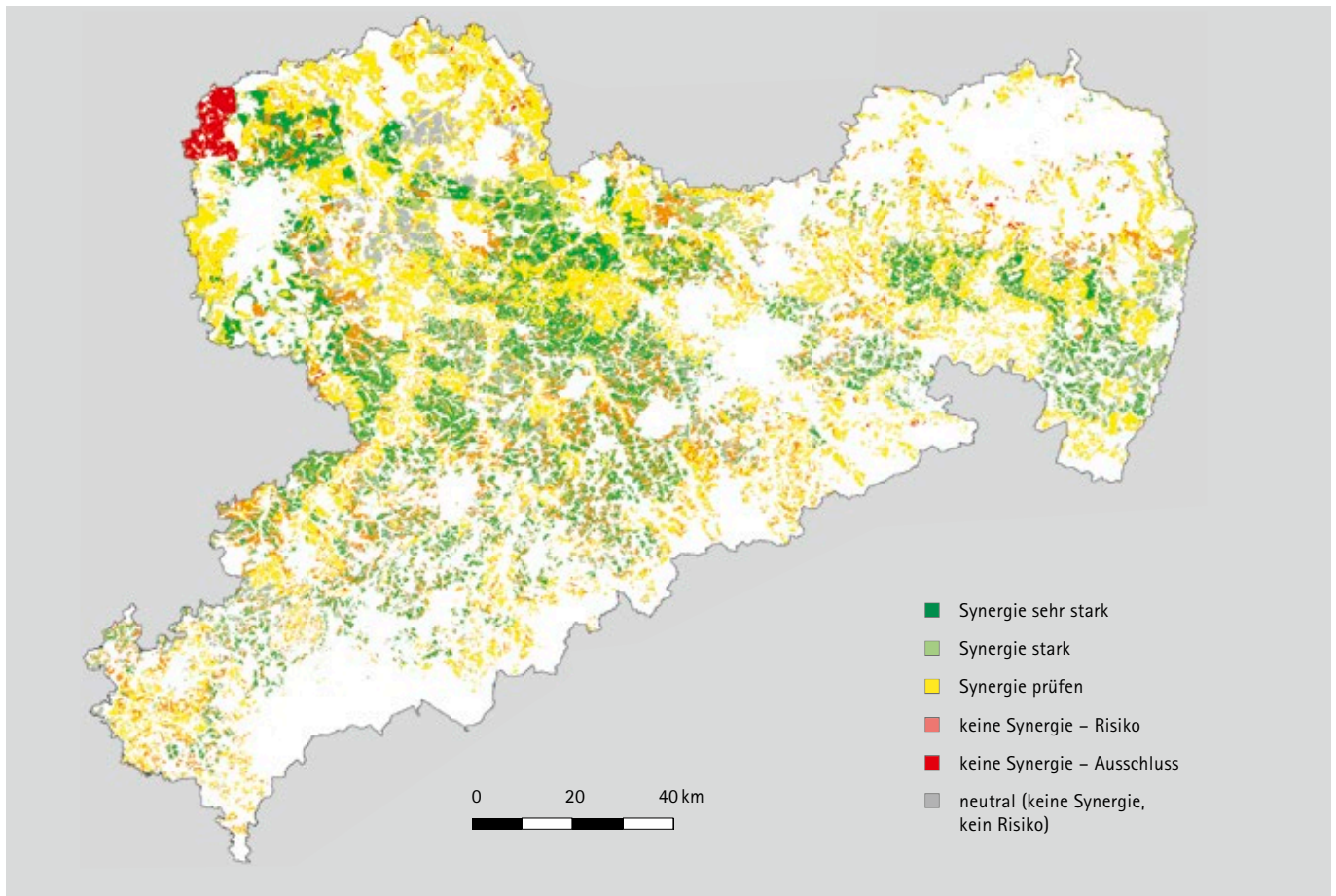


Abbildung 55: Räumliche Verteilung der Synergieklassen für den Anbau von Dauerkulturen auf Ackerflächen nach natur- und bodenschutzfachlichen Kriterien in Sachsen
 Quelle: FEGER et al. (2010)

pflanzen wie Getreideganzpflanzen (1:8) oder Raps (Korn und Stroh) von 1:2.

Im Wesentlichen ist dies auf den extensiven Einsatz von Betriebsmitteln (Pflanzenschutz, Düngung) und den hohen Ertrag der mehrjährigen Kulturen (Miscanthus, schnellwachsende Baumarten) zurückzuführen (MOERSCHNER et al., 2002).

Zur Düngungsintensität in Kurzumtriebssystemen liegen noch wenige Kenntnisse vor. Insbesondere mit Bezug auf die langjährige Nutzung der Baumbestände können mehrere NPK-Düngungsmaßnahmen erforderlich sein, die den Nährstoffentzug durch die Ernte der entlaubten Vollbäume ausgleicht. Der Nährstoffentzug (N, P, K) je erzeugter Tonne Holz ist bei schnellwachsenden Baumarten (255 MJ/t TM) im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen, z. B. Weizen mit 1.159 MJ/t Korn (Entzug Korn und Stroh) sehr niedrig.

Energetische Effizienz

Die energetische Effizienz bei der Erzeugung von Hackschnitzeln aus KUP oder Waldrestholz ist im Gegensatz zu anderen biogenen Energieträgern sehr günstig zu bewerten:

- Pappelholz 60 : 1 bis 64 : 1 bei $10 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$
- Raps 2 : 1 bis 7 : 1 bei 2 – 3 t ha
- Silomais etwa 3 : 1 bis 15 : 1 bei 16 – 25 t TS/ha*a

Durch die Dauerbestockung erfolgt weiterhin eine Reduzierung der Nitratauswaschung in das Grundwasser. Nach dem derzeitigen

Kenntnisstand ist von einer eher extensiven Düngung von Kurzumtriebsflächen auszugehen. Nach den bisherigen Erkenntnissen wird die Nährstoffversorgung bei einer langjährigen Nutzung durch schnellwachsende Baumarten auch bei unterlassener Düngung nicht nachteilig beeinflusst (KAHLE & BOELCKE, 2004). Die Bodenbearbeitung ist im Aufwand viel geringer einzustufen als bei landwirtschaftlichen Kulturen. Sie beschränkt sich auf das Anlagejahr. Hier sind zur erfolgreichen Anpflanzung tiefgründiges Pflügen, Grubbern oder Fräsen und eine sorgfältige Pflanzbettvorbereitung notwendig. Bodenschonendere Etablierungsverfahren sind nur bei guten Ausgangsbedingungen möglich. Zu beachten ist ferner, dass die Rückumwandlung der Kurzumtriebsanlage ein erheblicher einmaliger Eingriff in das Bodengefüge durch Fräsen der Wurzelstöcke darstellt.

Im Vergleich zum Marktfrucht- und annuellen Energiepflanzenanbau mit jährlicher Bodenbearbeitung zur Bestellung und nach der Ernte ist die sich auf das Anlagejahr und letzte Nutzungsjahr beschränkte Bodenbearbeitung bei einer über 20 Jahre zu führenden Kurzumtriebsanlage als gering zu bewerten. Die Verbesserung des Bodengefüges wird zum Teil durch den starken Eingriff der Rückumwandlung aufgehoben.

Der Wasserverbrauch von Weiden und Pappeln im Kurzumtrieb liegt auf einem höheren Niveau (600 – 800 g Wasser/g Trockenmasse) gegenüber Weizen, Gerste und Raps (300 – 600 g Wasser/g

Trockenmasse) (KALTSCHMITT & HARTMANN, 2001). Hieraus leitet sich ab, dass bei intensivem Anbau von Weiden und Pappeln Probleme im Gebietswasserhaushalt auftreten können. Allerdings müsste die Anbaufläche ein Viertel des Wassereinzugsgebietes einnehmen, damit eine Änderung des Abflussverhaltens erkennbar wird. Durch die Anlage von KUP in der Nähe von naturschutzfachlich wertvollen kleinen Fließ- und Standgewässern oder Feuchtgebieten können negative Folgeerscheinungen auftreten. Aus diesem Grund sind die Anlagengröße und der Standort zu prüfen. Anlagen am direkten Zufluss von Kleinbiotopen sind kritisch zu betrachten (PETZOLD et al., 2010 b).

Ein Vorteil der Wasserregulation durch KUP ist ein geringerer Oberflächenabfluss vor allem bei Starkregenereignissen. Dadurch wird der möglichen Bodenerosion, die im sächsischen Lösshügelland über 15 t/ha*a und im Erzgebirge über 50 t/ha*a betragen kann, entgegengewirkt (Anonymus; BRÄUNIG, 2011; BISCHOFF, 2010).

Bodenwirkung

Der langjährige, sehr dichte Baumbestand einer KUP trägt dazu bei, dass die Gefahr der Bodenerosion auf diesen Flächen stark vermindert wird. Ab dem zweiten Standjahr ist wegen des dichten Wurzelwerkes und der aus den abfallenden Blättern gebildeten Mulchschicht ein guter Bodenschutz gegeben. Die Phasen einer offenen Bodenfläche beschränken sich im Anlagejahr auf ca. vier Monate und die Monate nach der Ernte. Höhere Umtriebszeiten reduzieren die kritischen Phasen nach der Ernte.

Die lange Wachstumsdauer und das tiefgehende Wurzelsystem der Bäume verhindern eine Auswaschung der mobilen Nährstoffe (NH_4^+ , NO_3^-) in die Grundwasserzone und tragen daher zum Gewässerschutz bei. Allerdings besteht die Gefahr der Auswaschung von Nährstoffen auf Böden mit hoher Mineralisierungsrate in den ersten beiden Etablierungsjahren (REINHARDT et al., 2004). Neben der überwiegend geringen Eutrophierung (Stoffeintrag) des Grundwassers verbessern sich im Kurzumtriebsanbau noch weitere wichtige Bodeneigenschaften. In langjährig genutzten KUP mit Pappeln und Weiden erhöhte sich nach 6 bzw. 15 Jahren signifikant der C_{org} -Gehalt des Oberbodens durch Laub- und Wurzelstreumasse (1 – 3 t jährlicher Blattabfall) mit Aufweitung des C/N-Verhältnisses. Gleichzeitig nahm das Porenvolumen des Bodens, besonders der Anteil Mittelporen, die das pflanzenverfügbare Wasser führen, zu. Schadverdichtungen des Bodens sind aber im Zuge der maschinellen Ernte möglich, wenn die Tragfähigkeit des Bodens eingeschränkt ist (REINHARDT et al., 2004).

Biodiversität/Landschaftsbild

Schnellwachsende Baumarten erweitern das Spektrum angebaute Kulturen in der Landwirtschaft. Neben Pappeln und Weiden sind weitere Baumarten wie Robinie, Erle (Luftstickstoffbindung), Birke und Eiche für den Kurzumtrieb vorgesehen.

KUP sind verglichen mit intensiv genutzten, ertragreichen Acker- und Grünlandnutzungsformen erfahrungsgemäß artenreicher. Bei Begründung einer KUP nimmt die Pflanzenartenanzahl der Begleitvegetation schlagartig zu und hält sich in den ersten Jahren auf einem recht hohen Niveau, um mit zunehmendem Alter

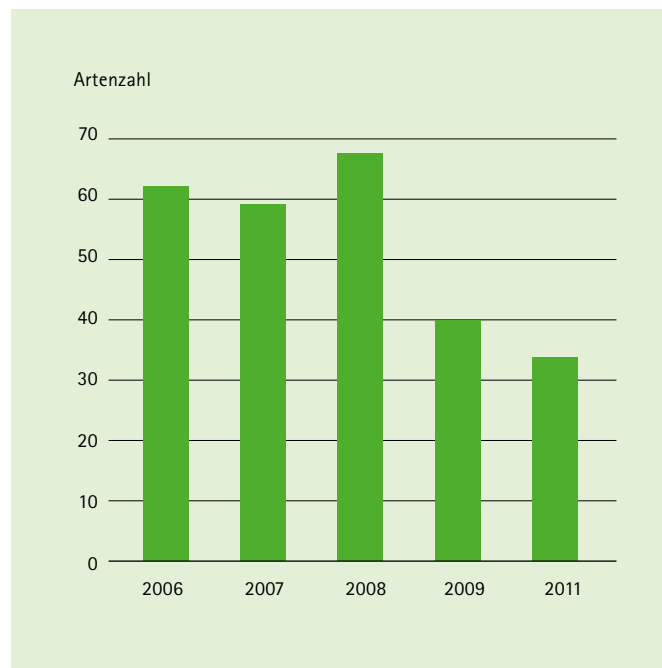


Abbildung 56: Gesamtartenanzahl an Blütenpflanzen auf der KUP-Fläche Krummenhennersdorf

Quelle: SCHMIDT et al. (2012)

langsam abzufallen (Abbildung 56). Die Artenzusammensetzung verändert sich bei weiterhin großer Anzahl der vorkommenden Arten. Seltene naturschutzrelevante Arten kommen nur in Einzelfällen vor. Lichtbedürftige Arten dominieren das Artenspektrum. Eine zunehmende Artenvielfalt ist ebenfalls bei den analysierten Organismengruppen (Gefäßpflanzen, Spinnen, Laufkäfer, Vögel, Tagfalter, Springschnecken) zu beobachten.

Meist sind euryöke Arten vertreten und nur selten wird eine KUP von naturschutzfachlich besonders schutzwürdigen Arten besiedelt. Die Artenzahlen in KUP sind in der Nähe von Wäldern oder Hecken höher als bei isolierter Lage in großen Ackerflächen. Kleinere, mit langen Grenzlinien ausgestaltete KUP besitzen einen vielfältigeren Lebensraum für wild lebende Pflanzen- und Tierarten als großflächig und einheitlich strukturierte KUP. In großflächig einheitlich genutzten Gebieten erhöhen KUP oft die regionale Diversität. Umgekehrt vermögen KUP in strukturreichen Gebieten mit höher Artenvielfalt keine zusätzlichen naturschutzfachlichen Effekte auszulösen (FELDWISCH, 2011).

Untersuchungen durch ZÖPHEL (2010) am Versuchsstandort Köllitsch zeigen an unterschiedlichen Demonstrationsanlagen eine größere Anzahl von pflanzensoziologischen Einheiten als auf den Ackerflächen (Abbildung 58). Insbesondere die Anteile von Grünland-, Saum-, Gebüsch- und Waldarten weisen auf eine bewirtschaftungsabhängige Sukzessionsentwicklung hin. Nach drei bis vier Jahren der Etablierung der Bestände gleicht sich die Artenzusammensetzung am ehesten Vorwäldern auf frischen, anthropogen beeinflussten Standorten an. Frühe Stadien der KUP bieten Regenerationsmöglichkeiten für seltene oder rückläufige Ackerarten und für Arten der Ruderalflora. Durch zunehmende Beschattung der sich entwickelnden Bestände gehen die Begleitvegetation und somit der Arten- bzw. Blütenreichtum zurück.



Abbildung 57: Bereicherung des Landschaftsbildes durch KUP mit positiven Auswirkungen für die landwirtschaftliche Produktion

Deshalb sind breite Säume entscheidend, insbesondere deren fließender Übergang zu den benachbarten Flächen.

Extensiv angelegte KUP mit extensiver Nutzung weisen einen größeren Artenreichtum auf. Weiter tragen die Mischung der Baumarten, die Pflanzenabstände, die Begleitsäume und die gewählten Umtriebszeiten zur Artenzusammensetzung bei. Strukturarme und gleichaltrige Gehölzbestände, die meist aus Monokulturen bestehen, weisen ohne Begleitbiotope bezüglich Naturnähe, Vielfalt oder Vorkommen seltener und gefährdeter Arten zumeist nur einen geringen naturschutzfachlichen Wert auf (GLASER, 2010). Eine Flächenausrichtung und die räumliche Anbindung an bestehende Biotope sind vorteilhaft. Räumlich gestaffelte Erntetermine fördern ebenso die Strukturvielfalt und das Habitatangebot.

Ohne Begleitbiotope haben KUP bezüglich Naturnähe, Vielfalt oder Vorkommen seltener und gefährdeter Arten zumeist nur einen geringen naturschutzfachlichen Wert. Deshalb sind sie innerhalb eines Biotopverbundsystems nach § 20 und § 21 BNatSchG nicht als Kern- oder Verbindungsflächen geeignet. Zur Vernetzung von Gehölzbiotopen im Sinne § 21 Abs. 6 BNatSchG können KUP beitragen. Dazu sollten strukturreiche Randgestaltungen der KUP mit abschnittswisen Mänteln aus heimischen Straucharten vorgesehen werden. Weiterhin sollten Krautsäume und Begleitbiotope Beachtung finden.

Generell sind KUP zur Biotopvernetzung nur bedingt geeignet, da es sich nicht um eine dauerhafte Anbauform handelt und eine Rückwandlung in konventionellen Acker jederzeit möglich ist. In der Wirkung auf das Landschaftsbild ist zu berücksichtigen, dass schnellwachsende Baumarten in den Hauptertragsjahren

8 – 10 m Wuchshöhe erreichen und somit im großflächigen Anbau einen Eingriff ins Landschaftsbild darstellen. In ausgeräumten Agrarlandschaften mit nur gering ausgebildetem Relief bereichern hochwüchsige Kulturen dagegen die Landschaft (Abbildung 57). In zu kompakten Strukturen hingegen überprägen sie die Gebietskulisse. Sehr gut können schnellwachsende Baumarten auch als harmonische Übergänge zwischen Wald- und Offenlandschaft fungieren. Dabei sollten die Strukturelemente möglichst aus unterschiedlichen Baumarten zusammengesetzt sein. Ebenso schafft die zeitlich gestaffelte Pflanzung und Ernte ein abwechslungsreiches Bild in einer vorwiegend agrarisch strukturierten Landschaft (RODE et al., 2005).

Auch die Anlage schnellwachsender Baumarten in Form von Feldstreifen unter Einbindung in bestehende Heckenbiotope ist positiv zu bewerten. Dies erhöht den Wert offener ausgeräumter Agrarlandschaften, verbessert das Mikroklima, schafft Lebensräume für Nützlinge und erlaubt eine wirtschaftliche Nutzung des Baumaufwuchses unter Beibehaltung der ökologischen Funktion des Feldstreifens (RÖHRICHT & RUSCHER, 2007). Mehrere Streifen auf einem Schlag werden als Agroforstsystem bezeichnet. Weitere Informationen unter:

→ <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15041>

Die Flora und Fauna eines vierjährigen extensiv geführten Feldstreifens war durch eine diverse, von Ruderal- und Ackerarten geprägte Krautschicht, die durchaus mit einer Brache und Naturschutzhecke vergleichbar ist, gekennzeichnet. Den Feldstreifen besiedelten darüber hinaus Spinnenarten und Laufkäfer, die

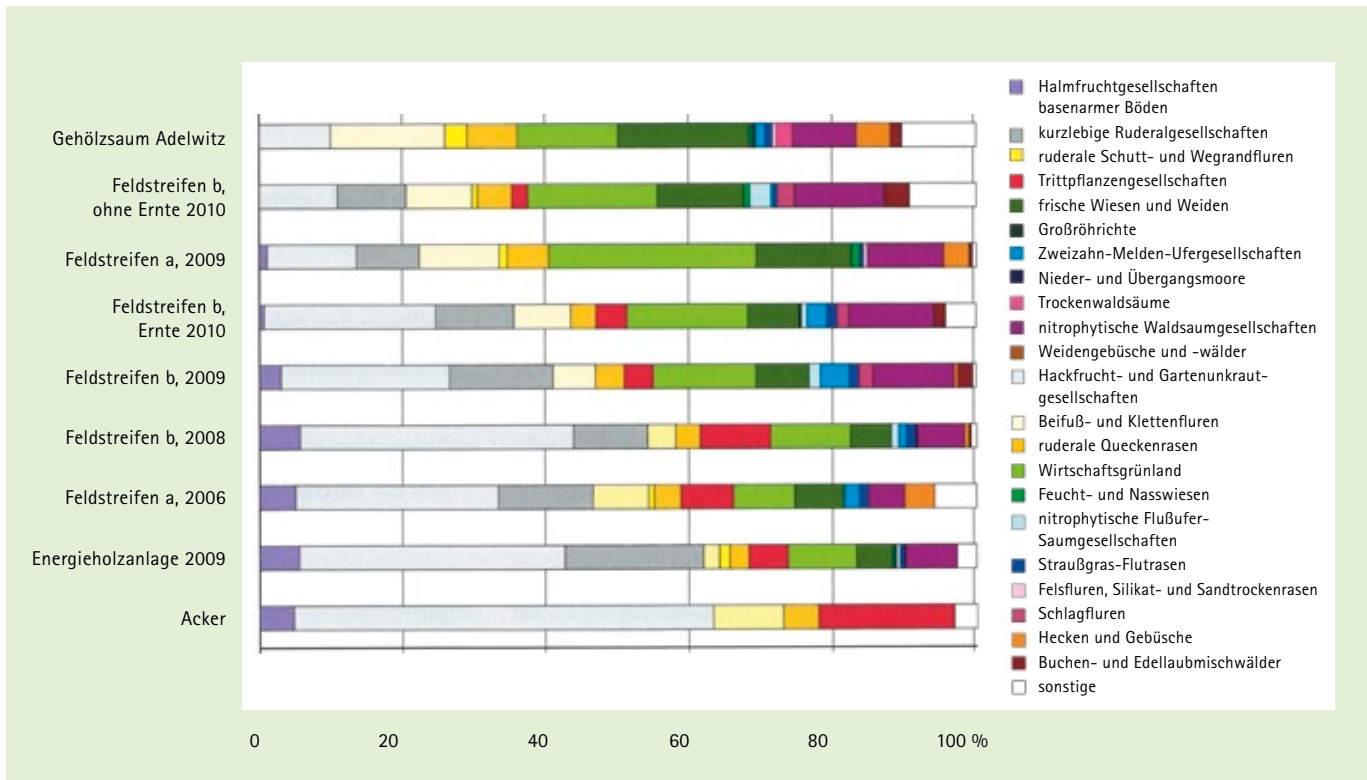


Abbildung 58: Artenzusammensetzung und deren Abnahme mit zunehmendem Alter in den untersuchten Gehölzstrukturen im Vergleich zum Ackerland
 Quelle: ZOEBEL (2010)

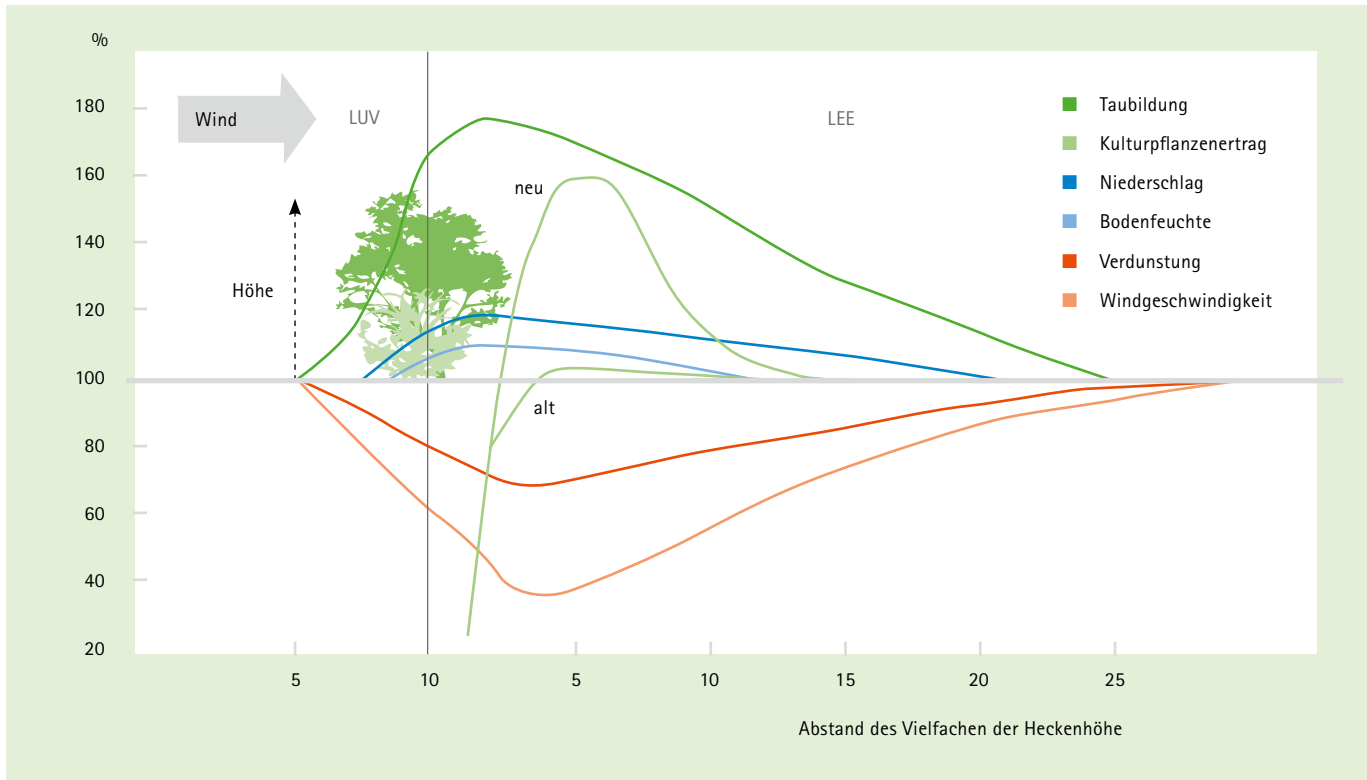


Abbildung 59: Effekte von Windschutzstreifen auf das Mikroklima und den Ertrag angrenzender landwirtschaftlicher Kulturen
 Quelle: SCHWAB (TLL) nach BUCHNER (1999)

Tabelle 18: Energetische und ökologische Kenndaten für ausgewählte Biobrennstoffe (Bereitstellung Brennstoff)

Biobrennstoff	mittl. Ertragsniveau	Bodenerosionswirkung	Transpirat. Koeffizient	spez. Flächenverbrauch	spez. N-Entzug	Energiebilanz Primärenergiebereitstellung	CO ₂ -Äquiv. Bilanz
	t TM/ha (15% H ₂ O)		l/kg TS	m ² /GJ	kg/GJ		
Miscanthus ab 3. Standjahr	15	+++	250	45	0,33	1:20	1:13
Getreideganzpflanzen	12	++	450	58	0,97	1:15	1:8
Kurzumtriebsholz	12	+++	700	58	0,17	1:15	1:9
Raps, Korn u. Stroh	7	++	650	72	1,04	1:3	1:2

nach RÖHRICHT & RUSCHER (2009)

teilweise zu den Rote-Liste-Arten gehören. In der Besiedlungsdichte und Artenvielfalt ist eine neun Jahre alte Naturschutzhecke einem fünf Jahre alten Feldstreifen überlegen (RÖHRICHT & RUSCHER et al., 2007).

Des Weiteren können Feldstreifen die **Winderosion auf großen landwirtschaftlichen Schlägen** mindern (Abbildung 59) und insbesondere auf Hanglagen das **Erosionsverhalten bei Starkniederschlägen** reduzieren. Ein Anbau von KUP in Erosionsrinnen wird durch die erschwerte Bewirtschaftung nicht empfohlen. Lineare Gehölzstrukturen verhindern vor allem auf ertragsschwachen Standorten (Sandböden, flachgründige Böden) Wassermangel und Hitzestress. Der ertragssteigernde Effekt bleibt bis zu einer Fläche von 5 – 10% der benachbarten Ackerfläche erhalten.

Energie- und CO₂-Bilanz (Anbau/Bereitstellung)

Die Energiebilanz zur Bereitstellung von trockenen Hackschnitzeln aus schnellwachsenden Baumarten ist durch ein sehr günstiges Verhältnis von 1:14 bis 1:23 gekennzeichnet (WINTZER et al., 1993; HARTMANN & STREHLER, 1995; MAIER et al., 1998; MOERSCHNER et al., 2002). Als energieintensiver Verfahrensschritt ist die Düngung herauszustellen. Ein vergleichsweise hoher Energieaufwand ist auch mit der Ernte und vor allem der Trocknung des ca. 50% Wasser enthaltenden Erntegutes (Hackschnitzel) verbunden. Die Intensität des Einsatzes dieser Faktoren und die Höhe des Ertrages verursachen hauptsächlich die starke Schwankungsbreite des Input-Output-Verhältnisses. Ein steigendes Ertragsniveau verbessert meist das Input-Output-Verhältnis. Lachgasemissionen sind durch ihre hohe Treibhauswirksamkeit von besonderer Bedeutung. Im Vergleich zur Ackerbrache oder zum Rapsanbau verursachen Pappel-KUP deutlich geringere N₂O-Emissionen (TEEPE, 1999). So emittieren Rapsbestände bis zu viermal höhere Mengen Lachgas als KUP (HELLERBRAND et al., 2003). Eine Tonne KUP-Hackschnitzel verringert das Treibhausgas-CO₂ um 1.850 kg in der Atmosphäre und bindet es im Holz (RÖDL, 2008). Beim Vergleich der Energiepflanzen weisen Miscanthus (Häcksel) und schnellwachsende Baumarten (1:20) ein günstigeres Input-Output-Verhältnis als Getreideganzpflanzen (Ballen frei Heizwerk) mit 1:10 aus. Vorrangig verringert der hohe Dünger- und Pflanzenschutz Aufwand im Getreideanbau die Energieeffizienz.

Im Vergleich zu Getreideganzpflanzen erreicht Stroh eine bessere Bilanz (1:14). Gegenüber Energieholz hat Waldrestholz (1:50) deutliche Vorteile in der Energiebilanz (MOERSCHNER et al., 2002).

Schwermetalle

Aus ökotoxikologischer Sicht ist auf die Eigenschaft der Weiden und Pappeln hinzuweisen, insbesondere Cadmium in erhöhten Konzentrationen aus dem Boden aufzunehmen (BUNGART, 1999; SCHOLZ et al., 2004). Beim Anbau auf schadstoffbelasteten Böden sind hohe Cadmiumkonzentrationen im Blatt und Holz festzustellen. Weiden zeigen dabei eine höhere Akkumulatorwirkung als Pappeln. Bei Erträgen von 6,0 – 8,0 t_{atro}/ha*a werden dem Boden mit dem Erntegut der Weide 49 – 65 g Cd/ha*a entzogen. Bei den Pappeln sind es 9,0 bis 20,0 g Cd/ha*a (RÖHRICHT & KIESEWALTER, 2008).

Die schnellwachsenden Baumarten Weide und Pappel sind somit alternative Kulturen für stark schwermetallbelastete Flächen. Bei der Nutzung kontaminierter Aufwüchse als Brennstoff ist zu beachten, dass die Schwermetalle beim Abbrand überwiegend in den Flugasche fraktionen eingelagert werden. Ihr Einsatz ist deshalb an Heizanlagen gebunden, die über entsprechende Abscheidetechniken verfügen.

Wie aus einer zusammenfassend vergleichenden Betrachtung verschiedener Energiepflanzen hervorgeht, ist der Anbau schnellwachsender Baumarten (Pappel, Weide) sowohl energetisch als auch ökologisch sehr günstig zu bewerten (Tabelle 18).

Weitere Informationen unter:

→ <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14994>

Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen

Einleitung

Soll über eine erfolgreiche Etablierung des Produktionsverfahrens Energieholzanbau im Kurzumtrieb entschieden werden, so gilt es, die ökonomischen Rahmenbedingungen zu analysieren, die neben speziellen betriebsindividuellen Zielen den Ausschlag für die Anbauentscheidung geben können. Der Beitrag zum Unternehmensgewinn, der jährlich pro Hektar Kurzumtriebsplantage erwirtschaftet werden kann, stellt dabei mit Sicherheit das Hauptkriterium aus ökonomischer Sicht dar. Ist dieser Gewinnbeitrag, verglichen mit dem Anbau annueller Kulturen wie beispielsweise Wintergerste, Wintertriticale oder Winterroggen höher, dann ist die Anlage einer KUP aus betriebswirtschaftlicher Sicht gerechtfertigt. Zudem können sich beispielsweise im Zu-

sammenhang mit agrarpolitischen Vorgaben ergänzende Überlegungen anbieten.

Nachfolgend werden einige grundsätzliche Möglichkeiten der Gewinnbeitragsermittlung vorgestellt. Weiterhin wird erläutert, welches Kalkulationsverfahren am besten geeignet ist, den langen Produktionszeitraum einer Gehölzplantage angemessen zu berücksichtigen und somit die erzielten Gewinnbeiträge mit denen einjähriger Kulturen vergleichbar zu machen. Abschließend erfolgen anhand einer ausführlich beschriebenen Datengrundlage aus der Praxis Beispielkalkulationen zur Ermittlung des jährlichen Gewinnbeitrags von Pappel- und Weiden-KUP sowie ein Ergebnisvergleich mit einer Ackerbau-Fruchtfolge.

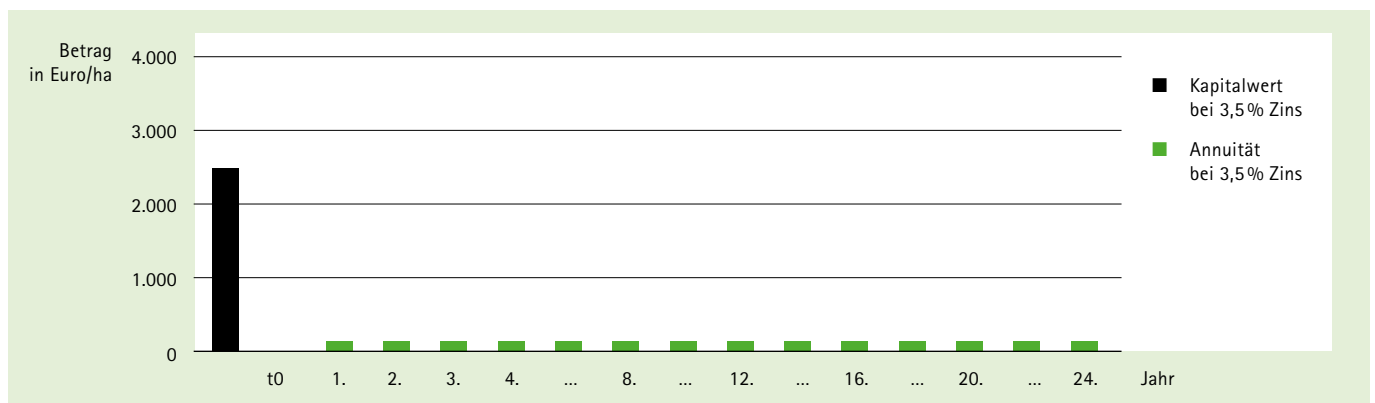
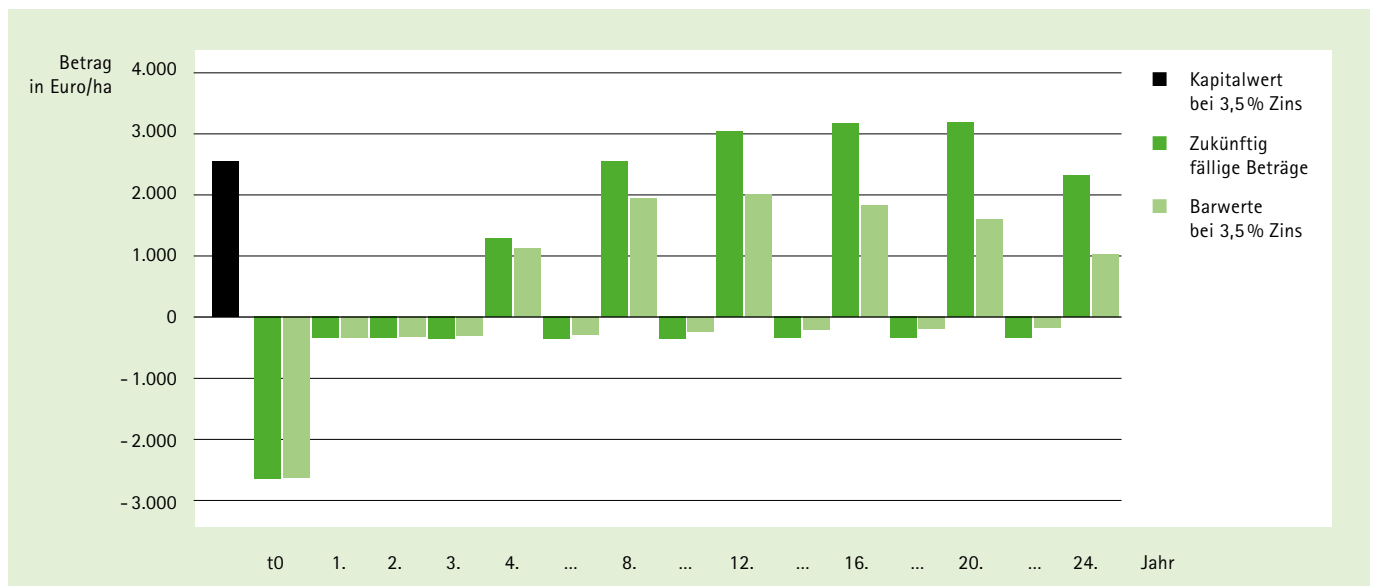


Abbildung 60 und 61: Berechnung des Kapitalwertes und seine Überführung in eine Annuität

Deckungsbeitragsrechnung stößt an Grenzen

Für die kurzfristige Planung von Produktionsprogrammen hat sich im landwirtschaftlichen Unternehmen die Nutzung der Deckungsbeitragsrechnung für die einzelnen Produktionsverfahren bewährt. Dabei wird berücksichtigt, dass bei gegebenen Produktionskapazitäten ein Teil der Kosten für einen bestimmten Zeitraum fix ist. Diese können dann – weil nicht entscheidungsrelevant – in der Berechnung unberücksichtigt bleiben. Sie sind – neben dem erwarteten Gewinn – durch den zu ermittelnden Deckungsbeitrag mit abzudecken. Bei der Berechnung des Deckungsbeitrages werden die geplanten variablen Kosten von den geplanten Leistungen abgezogen. Dabei ergeben sich die Leistungen als Summe der mathematischen Produkte von geplanten Erzeugungsmengen mit den Produktpreisen sowie die Kosten als Summen der mathematischen Produkte der geplanten Verbrauchsmengen an variablen Produktionsfaktoren und deren Preise. Damit wird die Kalkulation übersichtlich und vergleichsweise einfach. Um zu miteinander vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, sollten jedoch die Fixkosten der Produktionsverfahren nicht zu weit voneinander abweichen.

Beim Anbau von KUP geht es aber nicht um eine kurzfristige Planung des Produktionsprogramms, und auch die beim KUP-Anbau auftretenden Fixkosten sind nicht in annähernder Weise identisch mit denen der um die (begrenzte) Ackerfläche konkurrierenden anderen Verfahren des Marktfruchtanbaus. Deshalb eignet sich die Deckungsbeitragsrechnung nicht für den Vergleich zwischen annuellen Produktionsverfahren und KUP und zu einer darauf basierenden Ermittlung der relativen Vorzüglichkeit. Die wirtschaftliche Situation bei mehrjährigen Anbauverfahren lässt sich durch die Anwendung von Methoden aus der dynamischen Investitionsrechnung besser und in geeigneter Weise darstellen. Die so ermittelten Ergebnisse können dann mit denen einjähriger Verfahren verglichen werden.

Gewinnbeitragsermittlung anhand dynamischer Investitionsrechnungen

Durch die Anwendung von dynamischen Investitionsrechnungen können im Vergleich zu den statischen Verfahren alle Zahlungsströme und das zeitliche Auftreten dieser berücksichtigt werden. Bezüglich des KUP-Anbaus bedeutet dies, dass sämtliche Kosten (Auszahlungen) von den erzielten Erlösen (Einzahlungen) aus dem Biomasseverkauf abgezogen werden. Anschließend wird der sich ergebende Einzahlungs- bzw. Auszahlungsüberschuss unter Berücksichtigung eines kalkulatorischen Zinssatzes auf t_0 (Beginn der Investition) abgezinst (siehe Gleichung 1).

Positive Kapitalwerte bedeuten die Erzielung von Gewinnen, negative Werte hingegen weisen Verluste aus. Durch Multiplikation mit dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor kann der ermittelte Kapitalwert der Investition in eine jährlich konstante Größe, die so genannte Annuität, überführt werden (siehe Gleichung 2 und Abbildung 60/61).

$$KW = \sum_{t=0}^n \left[\frac{E_{(t)} - A_{(t)}}{(1+i)^t} \right]$$

KW ... Kapitalwert; n ... Nutzungsdauer in Jahren; t ... Jahr; $E_{(t)}$... Einzahlungen nach Jahren; $A_{(t)}$... Auszahlungen nach Jahren; i ... Zinssatz

Gleichung 1: Ermittlung des Kapitalwerts

Die Annuität entspricht also dem durchschnittlichen kalkulatorischen Gewinnbeitrag einer KUP je Hektar und Jahr. Sie kann nun zum Ergebnisvergleich mit landwirtschaftlichen Marktfrüchten herangezogen werden, um so die relative Vorzüglichkeit eines Produktionsverfahrens gegenüber dem anderen bewerten zu können.

$$r = KW \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$$

r ... Annuität

Gleichung 2: Berechnung der Annuität

Datengrundlage

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit des Produktionsverfahrens Energieholzanbau im Kurzumtrieb werden die Bewirtschaftungskosten den durch die Erzeugung von Holzhackschnitzeln erzielbaren Produktionserlösen gegenübergestellt. Um dies durchzuführen, müssen zuerst die zu Grunde liegenden Mengen und Preise, aus denen sich Kosten und Erlöse ableiten, bestmöglich abgeschätzt werden (siehe Tabelle 19). Die durchgeführten Berechnungen unterliegen den folgenden Annahmen, die zum Großteil auf langjährigen Praxiserfahrungen beruhen:

Die Berechnung basiert auf einer Flächengröße von zehn Hektar. Es werden bei der Pappel-KUP 10.000 Stecklinge in Einzelreihe und bei der Weiden-KUP 13.000 Stecklinge in Doppelreihe je Hektar gepflanzt. Die Plantage wird über eine Standzeit von 24 Jahren im vierjährigen Umtrieb bewirtschaftet. Die Ernte erfolgt vollmechanisiert mit Feldhäcksler und Schwachholzvorsatz mit anschließendem Transport der frischen Hackschnitzel direkt zum Abnehmer über eine Entfernung von 20 Kilometern. Die Rückwandlung wird mittels Bodenfräse durchgeführt.

Ergebnisse

Unter den getroffenen Annahmen ergeben sich für beide Baumarten positive kalkulatorische Gewinnbeiträge. So kann beim Anbau von Pappeln eine Annuität von rund 156 Euro je Hektar und Jahr erzielt werden (siehe Tabelle 20). Die Weiden-KUP erreicht trotz der geringeren Etablierungskosten aufgrund des etwas niedrigeren Biomassezuwachses ein in etwa vergleichbares Ergebnis.

Tabelle 19: Berechnungsgrundlage für die Kalkulation einer KUP

Variable	Jahr des Anfalls	Einheit	Pappel	Weide
Unkrautbekämpfung	Etablierungsjahr	€ ha ⁻¹	33,00	33,00
Pflügen	Etablierungsjahr	€ ha ⁻¹	69,00	69,00
Saatbettbereitung	Etablierungsjahr	€ ha ⁻¹	36,00	36,00
Pflanzgut [†]	Etablierungsjahr	€ ha ⁻¹	1.680,00	994,00
Pflanzung ^{**}	Etablierungsjahr	€ ha ⁻¹	500,00	500,00
Pflege	Etablierungsjahr	€ ha ⁻¹	115,00	115,00
<i>Etablierungskosten gesamt</i>		€ ha ⁻¹	<i>2.433,00</i>	<i>1.747,00</i>
Ernte	jedes 4. Jahr	€ ha ⁻¹	350,00	350,00
Transport	jedes 4. Jahr	€ t _{atro} ⁻¹	15,00	15,00
Rückwandlung	24. Jahr	€ ha ⁻¹	1.000,00	1.000,00
Flächenkosten	jährlich	€ ha ⁻¹	200,00	200,00
Gemeinkosten	jährlich	€ ha ⁻¹	150,00	150,00
Biomassevorrat ^{***}	jedes 4. Jahr	t _{atro} ha ⁻¹	40,00	38,00
Hackschnitzelpreis	jedes 4. Jahr	€ t _{atro} ⁻¹	100,00	100,00

[†] Pflanzgut inklusive Frachtkosten (Transport zur Fläche) ^{**} Pflanztechnik inklusive Pflanzpersonal und Anfahrt
^{***} kein linearer Ertragsverlauf (Abbildung der Ertragsentwicklung mit Hilfe von modellgeschätzten Ertragsfaktoren)

Quelle: KRÖBER & HEINRICH (2014) (nach HORN, 2014 und NEUMEISTER, 2014)

Sensitivitätsanalyse

Zur Darstellung des Einflusses einzelner Parameter auf das Gesamtergebnis werden die Eingangsvariablen (Kosten, Ertrag, Hackschnitzelpreis) um jeweils zehn Prozent verändert. Den größten Einfluss auf den jährlichen kalkulatorischen Gewinn je Hektar haben die Veränderung des Hackschnitzelpreises und des Biomasseertrages (siehe Tabelle 21). Weitaus geringer wirken sich veränderte Flächen- und Gemeinkosten, Ernte- und Transportkosten sowie Pflanzgutkosten auf das Gesamtergebnis aus. Alle anderen Positionen sind mehr oder weniger zu vernachlässigen.

Vergleich von Energieholzanbau und Marktfruchtproduktion

Die Ergebnisse der Beispielrechnung zeigen, dass mit dem Anbau von Energieholz in KUP durchaus positive Gewinnbeiträge zu erzielen sind. Um die Anbauwürdigkeit des Produktionsverfahrens beurteilen zu können, erfolgt in einem zweiten Schritt die Ermittlung der Konkurrenzfähigkeit mit um die Ackerfläche konkurrierenden Kulturen. Sinnvoll ist in der Regel ein Wirtschaftlichkeitsvergleich mit einer standorttypischen Fruchtfolge – genau wie bei der Kalkulation der KUP – auf der Basis einer Vollkostenbetrachtung. Es werden demnach nicht die Deckungsbeiträge der Kulturen mit der Annuität der KUP verglichen, sondern die kalkulatorischen Gewinnbeiträge je Hektar! In Tabelle 22 sind diese Gewinnbeiträge ausgewählter Marktfrüchte (Standort Mittelsachsen) dargestellt. Auf dieser Grundlage wird für eine viergliedrige Fruchtfolge Winterraps-Winterweizen-Sommergerste-Wintergerste der jährliche kalkulatorische Gewinnbeitrag ermittelt, der dann der Annuität der KUP gegenübergestellt werden kann. Als Datenbasis dienen die

mittleren Erträge der Marktfrüchte (Landkreis Mittelsachsen) sowie der Durchschnitt der Erzeugerpreise im Freistaat Sachsen.

Unter Berücksichtigung der mittleren Erträge und Marktpreise erzielt der Landwirt mit der gesamten Fruchtfolge im Durchschnitt einen jährlichen Gewinnbeitrag von rund 142 Euro je Hektar (siehe Tabelle 23). Dieser Wert liegt auf einem ähnlichen Niveau wie die Pappel- und Weidenplantage. Verengt der Landwirt seine Fruchtfolge und baut anstatt der Sommergerste erneut Winterweizen an, erhöht sich der jährliche kalkulatorische Gewinnbeitrag der Fruchtfolge, die nun aus einem Viertel Winterraps, einem Viertel Wintergerste und 50 Prozent Winterweizen besteht, auf knapp 190 Euro je Hektar. Die Differenz zum Energieholz beträgt in diesem Fall rund 35 Euro je Hektar.

Allgemein kann festgestellt werden, dass geringere Biomasseerträge aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen oder niedrigere Erzeugerpreise für Marktfrüchte bzw. Holzhackschnitzel die jährlichen Gewinnbeiträge der Produktionsverfahren entsprechend verringern und gleichzeitig zu einer veränderten Konkurrenzsituation führen. Umgekehrt vergrößert sich die Vorzüglichkeit eines Verfahrens gegenüber dem anderen mit der Erzielung hoher Ernteerträge bei gleichzeitig hohem Erzeugerpreisniveau.

Eine pauschale Beurteilung der Opportunität eines Produktionsverfahrens gegenüber einem anderen ist generell nicht möglich, sondern immer im Einzelfall an den gegebenen Bedingungen zu

Tabelle 20: Ausführliche Darstellung der Zahlungsströme und Ermittlung der Annuität (Pappel) in Euro

Standjahr t	Etablierungskosten	Flächen- und Gemeinkosten	Ernte- und Transportkosten	Rückwandlungskosten	Summe Kosten	Erlöse	Saldo Kosten und Erlöse	Abzinsung (3,5 %)
0	-2.433,00	-200,00			-2.633,00		-2.633,00	-2.633,00
1		-350,00			-350,00		-350,00	-338,16
2		-350,00			-350,00		-350,00	-326,73
3		-350,00			-350,00		-350,00	-315,68
4		-350,00	-696,90		-1.046,90	2.312,64	1.265,74	1.103,02
5		-350,00			-350,00		-350,00	-294,69
6		-350,00			-350,00		-350,00	-284,73
7		-350,00			-350,00		-350,00	-275,10
8		-350,00	-920,24		-1.270,24	3.801,60	2.531,36	1.922,34
9		-350,00			-350,00		-350,00	-256,81
10		-350,00			-350,00		-350,00	-248,12
11		-350,00			-350,00		-350,00	-239,73
12		-350,00	-1.003,48		-1.353,48	4.356,56	3.003,08	1.987,39
13		-350,00			-350,00		-350,00	-223,79
14		-350,00			-350,00		-350,00	-216,22
15		-350,00			-350,00		-350,00	-208,91
16		-350,00	-1.028,45		-1.378,45	4.523,60	3.145,06	1.813,77
17		-350,00			-350,00		-350,00	-195,02
18		-350,00			-350,00		-350,00	-188,43
19		-350,00			-350,00		-350,00	-182,05
20		-350,00	-1.029,36		-1.379,36	4.529,08	3.149,72	1.582,94
21		-350,00			-350,00		-350,00	-169,95
22		-350,00			-350,00		-350,00	-164,20
23		-350,00			-350,00		-350,00	-158,65
24		-150,00	-1.021,48	-1.000,00	-2.171,48	4.476,56	2.305,08	1.009,52
Kapitalwert								2.499,02
Annuität								155,62

Quelle: KRÖBER & HEINRICH (2014)

Tabelle 21: Entwicklung der Annuität bei zehnpromzentiger Veränderung der Eingangswerte

Variable	N ¹⁾	Einheit	Eingangswert	Annuität [€ ha ⁻¹]	Δ Annuität [€ ha ⁻¹]
Unkrautbekämpfung	1	€ ha ⁻¹	33,00	155,62	± 0,21
Pflügen	1	€ ha ⁻¹	69,00	155,62	± 0,43
Saatbettbereitung	1	€ ha ⁻¹	36,00	155,62	± 0,23
Pflanzgut	1	€ ha ⁻¹	1.680,00	155,62	± 10,46
Pflanzung	1	€ ha ⁻¹	500,00	155,62	± 3,11
Pflege	1	€ ha ⁻¹	115,00	155,62	± 0,72
Ernte	6	€ ha ⁻¹	350,00	155,62	± 8,30
Transport	6	€ t _{atro} ⁻¹	15,00	155,62	± 13,67
Rückwandlung	1	€ ha ⁻¹	1.000,00	155,62	± 2,73
Flächenkosten	24	€ ha ⁻¹	200,00	155,62	± 20,70
Gemeinkosten	24	€ ha ⁻¹	150,00	155,62	± 15,00
Biomasseertrag	6	t _{atro} ha ⁻¹	40,00	155,62	± 77,44
Hackschnitzelpreis	6	€ t _{atro} ⁻¹	100,00	155,62	± 91,11

¹⁾ Häufigkeit je Nutzungsdauer; Δ ... Veränderung
Quelle: KRÖBER & HEINRICH (2014)

Tabelle 22: Kalkulatorische Gewinnbeiträge der Marktfrüchte (mittlere Erträge und Preise)

Variable	Einheit	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps	Winterroggen	Wintertriticale	Sommergerste
Ertrag	dt ha ⁻¹	75,00	70,00	40,00	70,00	65,00	55,00
Marktpreis	€ dt ⁻¹	18,50	15,10	39,30	14,45	14,50	18,60
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1.387,50	1.057,00	1.572,00	1.011,50	942,50	1.023,00
Direktkosten	€ ha ⁻¹	475,99	405,37	520,75	382,13	345,88	335,62
variable Maschinenkosten	€ ha ⁻¹	133,55	127,36	137,25	126,36	122,91	119,15
Variable Kosten insgesamt	€ ha ⁻¹	609,54	532,73	658,00	508,49	468,79	454,77
Deckungsbeitrag	€ ha⁻¹	777,96	524,27	914,00	503,01	473,71	568,23
Maschinen- und Personalkosten	€ ha ⁻¹	205,40	194,50	234,55	192,03	185,94	180,34
Flächenkosten	€ ha ⁻¹	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Gemeinkosten	€ ha ⁻¹	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Gewinnbeitrag	€ ha⁻¹	222,56	-20,23	329,45	-39,02	-62,23	37,89

Quelle: KRÖBER & HEINRICH (2014) (nach Planungs- und Bewertungsdaten Sachsen)

Tabelle 23: Durchschnittlicher kalkulatorischer Gewinnbeitrag der viergliedrigen Fruchtfolge

Variable	Einheit	Winterraps	Sommergerste	Wintergerste	Winterweizen
Ertrag	dt ha ⁻¹	40,00	55,00	70,00	75,00
Marktpreis	€ dt ⁻¹	39,30	18,60	15,10	18,50
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1.572,00	1.023,00	1.057,00	1.387,50
Gesamtkosten	€ ha ⁻¹	1.242,55	985,11	1.077,23	1.164,94
Gewinnbeitrag	€ ha ⁻¹	329,45	37,89	-20,23	222,56
Fruchtfolgeanteil	%	25,00	25,00	25,00	25,00
Ergebnis Fruchtfolge	€ ha⁻¹				142,42

Quelle: KRÖBER & HEINRICH (2014) (nach Planungsdatenbank Sachsen)

prüfen. Nach den vorliegenden Erfahrungen lohnt es sich, auch innerhalb der Unternehmen die zwischen den Marktfrüchten und KUP auf den verschiedenen betrieblichen Standorten auftretende abweichende Ertragsfähigkeit zu ermitteln und darauf aufbauend kleinräumig differenzierte Anbauentscheidungen zu treffen. Dabei sollte Beachtung finden, dass der Gewinnbeitrag beim Anbau von Energieholz geringeren Schwankungen unterliegt als beim Marktfruchtanbau, da die Holzbiomasseerträge auch bei für Marktfrüchte ungünstigen Witterungsbedingungen deutlich gleichmäßiger auftreten. Außerdem zeigt ein Blick in die Statistik, dass sich der Energieholzpreis auf einem recht einheitlichen Niveau (mit leicht steigender Tendenz) gefestigt hat (Abbildung 49).

KUP-Kalkulator

Für eine eigenständige Berechnung der Wirtschaftlichkeit von KUP mit betriebseigenen Daten steht auf der Internetseite des BMBF-Verbundprojektes AGROFORNET ein Kalkulationsprogramm für interessierte Landwirte bereit.

→ www.energieholz-portal.de/367-0-KUP-Kalkulator-Oekonomie.html

Nutzung und Vermarktung

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. Hauptquelle für die Holzgewinnung ist der Wald. Durch die weltweit steigende Nachfrage an hochwertigem Stammholz, aber auch Waldrestholz (minderwertige Stämme, Zopfstücke, stärkere Äste) zeichnet sich eine Verknappung verbunden mit einem Preisanstieg auf den Industrie- und Brennstoffmärkten ab.

Insgesamt wurden in Deutschland 54,4 Mio. Festmeter im Jahr 2011 eingeschlagen. Der Vorrat an Waldholz beträgt ca. 3,4 Mrd. Festmeter. Im Jahr 2007 wurden 58 % des Holzeinschlages stofflich und 42 % energetisch verwertet. Derzeit findet eine Angleichung der beiden Verwertungsformen statt und es wird eine noch stärkere energetische Nutzung erwartet.

Vor diesem Hintergrund bildet der feldmäßige Anbau von schnellwachsenden Baumarten mittelfristig eine zusätzliche Rohstoffquelle, um den steigenden Bedarf für den Industrie- und Brennstoffmarkt zu befriedigen.

Das Holz aus dem Kurzumtrieb schnellwachsender Baumarten ist vielseitig verwendbar. Im Industriebereich ist es 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 Industriespanngutes durch Pappelholz ersetzt werden. Pilotstudien haben zu positiven Ergebnissen geführt.

Bau- und Dämmstoffe

Je nach Aufbereitung des Holzes unterscheidet man Span- und Faserplatten.

Spanplatten werden hergestellt, indem das Holz in Zerspänungsmaschinen zu 0,5 – 2 cm langen und 0,2 – 0,5 mm dicken Spänen zerkleinert wird. In Trocknern wird das Material auf 8 %

Tabelle 24: Erstellungsenergiebedarf verschiedener Baustoffe

Baustoff	Erstellungsenergiebedarf (kWh/t)
Lehm	0 – 2,5
Holz	5 – 7,5
Kalksandstein	250
Normalbeton	250 – 300
Hohllochziegel	450
Dachziegel	550
Gasbeton	750
Zement	1 000
Kalk	1 200
Glas	6 000
Kunststoffe	8 200 – 20 000
Aluminium	72 000

Quelle: FRÜHWALD et al. (1994)

Restfeuchte getrocknet. Die Holzspäne werden mit Plastematerialien (Polyesterharze, Phenolharze, Polyvinylchloride u. a.) beleimt und anschließend im Flach- oder Strangpressverfahren zu Platten verdichtet.

Bei Holzfasern bilden die Einzelfasern und Faserbündel den Ausgangsstoff. Zu diesem Zweck erfolgt in Zerspänungsmaschinen (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.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen haben mit insgesamt 1 Mio. m³ im Jahr einen vergleichsweise geringen Anteil am Dämmstoffmarkt (42 Mio. m³/a). Die Dämmstoffe aus Altpapier und Holz nehmen innerhalb der nachwachsenden Rohstoffe den größten Umfang ein.

Erst bei wachsenden Märkten und stärkerer Förderung ökologischer Dämmmaterialien ist mit einer Nutzung schnellwachsender Baumarten in diesem Bereich zu rechnen. Vergleicht man den Erstellungenergiebedarf für verschiedene Baustoffe, haben Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen schon jetzt enorme Vorteile (Tabelle 24).

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 wurden im Jahr 2013 22,3 Mio. Tonnen Papier hergestellt (Quelle: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.). Für die inländische Zellstoffproduktion wird vorwiegend Waldholz eingesetzt. 71 % der Papierherstellung erfolgt aus Altpapier (weltweit führend). Prognosen gehen von einem wachsenden Papierverbrauch aus, sodass neben Forstholz auch Pappelplantagen künftig als Rohstofflieferant wirtschaftliche Bedeutung erlangen werden.

Zur Verarbeitung gelangen 2 m lange Stammabschnitte der Pappel im Durchmesserbereich 8 – 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.

Der Verbrauch an Papier und Pappe liegt bei 247 kg/Kopf und Jahr (2013) mit starken Wachstumstendenzen in den letzten Jahren. Bei ausgeschöpften Altpapierquoten können Pappelplantagen neben den Forsthölzern eine wirtschaftliche Rohstoffbasis bilden. Für eine Tonne Zellstoff werden etwa 2,5 – 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 Weidenart sind in der Rinde 1,5 bis über 11 % Salicylate mit unterschiedlicher Zusammensetzung enthalten (WICHTL, 1997).

Brennstoff

Die verschiedenen Holzarten weisen im absolut trockenen 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 25).

Der Heizwert eines Kubikmeters Hackschnitzel aus Pappel- und Weidenholz ist niedriger als der der Harthölzer Eiche und Rotbuche. Zur Substitution von 1.000 l Heizöl sind 2,3 t Kurzumtriebsplantagenholz notwendig. Das CO₂-Reduktionspotenzial je t Holz beträgt daher 1,61 t CO₂.

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 ca. 50 %. Sein Heizwert beträgt nur 10 MJ/kg. Luftgetrockenes Holz (20 % Restfeuchte) dagegen hat einen Heizwert 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.

Exakt arbeitende Hackvorrichtungen sichern einheitliche Hackschnitzelgrößen. Die Hackschnitzellänge ist maßgebend für die störungsfreie Zufuhr des Brennmaterials in den Brennraum durch Stokerschnecken. Außerdem beeinflusst sie das Trocknungsverhalten. Feinhackschnitzel trocknen schneller als Grobhackschnitzel.

Tabelle 25: Heizwert verschiedener Holzarten

Holzart (mit Rinde)	Heizwert darrtrocken Hu MJ/kg TM	Darrdichte* kg/m ³	Hackschnitzel kg/Srm	Heizwert von 1 Srm Hackschnitzel MJ/ Srm	Substitution von 1 t Heizöl Srm (gerundet)
Pappel	18,5	410	164	3 034	14,0
Fichte	18,8	430	172	3 234	13,0
Kiefer	19,2	490	196	3 763	11,2
Eiche	18,2	650	260	4 732	8,9
Rotbuche	18,4	680	272	5 005	8,4
Weide	18,4	420	168	3 091	13,6

* entspricht 1 Festmeter (Fm) 1 Fm ≈ 2,5srm (Schüttraummeter)

Holzfeuerungsanlagen haben inzwischen einen hohen technischen Standard in der Bedienung, der Beherrschung des Abbrandes und der Rauchgasemission erreicht. Für den Betrieb mit Hackschnitzeln eignen sich bevorzugt Rostfeuerungen. Automatische Hackschnitzelheizungen werden auch im kleinen Leistungsbereich ab 20 kW angeboten und reichen bis 10 MW. Die Versorgung der Anlage erfolgt vom Hackschnitzelsilo aus vollautomatisch über Transportschnecken. In Großanlagen wird der Brennstofftransport über Unterschubböden und auf Kettenbändern vorgenommen.

Weitere Informationen zu Heizkesseln:

→ <http://mediathek.fnr.de/broschuren/bioenergie/feste-biobrennstoffe/hackschnitzel-heizungen-marktubersicht.html>

Anlagen im kleineren Leistungsbereich sind gegenüber der Qualität der verwendeten Hackschnitzel anspruchsvoller.

Für die Inbetriebnahme ab 1. Januar 2015 sind die Bestimmungen der 1. BImSchV zu beachten. Der verwendete Kessel darf dadurch nicht mehr als 0,02 g/m³ Staub und 0,4 g/m³ CO₂ emittieren. Bereits in Betrieb genommene Anlagen unterliegen dem Bestandsschutz.

Bewertet man die kurz- und mittelfristigen Chancen schnellwachsender Baumarten am Industrierohstoff- und Energiemarkt, kann von einem zunehmenden Interesse ausgegangen werden. Die Verknappung des Rohstoffes Holz veranlasst beide Verwertungslinien, auf Erzeugnisse aus KUP zurückzugreifen und diese dem Produktionsprozess zuzuführen. Eine Zumischung bis reine Verwertung der Erzeugnisse aus KUP ist möglich. Für den energetischen Markt ist insbesondere die Eigenversorgung eine zukunftssträchtige Option, die bereits als Stand der Technik angesehen werden kann.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen unterliegt verschiedenen Bestimmungen und Richtlinien.

Nach der am 1. Januar 2009 in Kraft getretenen Verordnung (EG) Nr. 73/2009 zählen Flächen mit »Niederwald im Kurzumtrieb« (KN-Code ex: 06029041), zu **den beihilfefähigen Flächen**, für die Zahlungsansprüche aktiviert werden können. Weitere Baumarten, die nach Bekanntmachung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) Nr. 15/10/31 vom 17. Dezember 2010 (eBAnz AT135 2010 B1) möglich sind, werden in Tabelle 26 aufgeführt. Kurzumtrieb bedeutet eine maximale Umtriebszeit von 20 Jahren, was mindestens einer Ernte in diesem Zeitraum entspricht. Eine Rückwandlung nach 20 Jahren in Acker ist nicht erforderlich, sodass eine KUP auch länger bestehen darf.

Zu beachten ist, dass für **Agroforstsysteme** mit Bäumen nach dem KN-Code ex: 06029041, die der Wertholzgewinnung dienen und demzufolge das Kriterium »Niederwald im Kurzumtrieb« nicht erfüllen, keine Beihilfe gewährt wird. Das trifft nicht zu, wenn nur 50 Bäume/ha gleichmäßig auf der Fläche verteilt sind. Die Fläche muss dann aber noch zusätzlich landwirtschaftlich genutzt werden (z. B. Schafweide).

Durch die Definition von KUP als Nichtwaldflächen im Waldgesetz (**Bundeswaldgesetz bzw. Sächsisches Waldgesetz BWaldG**) ist eine Erstaufforstungsgenehmigung beim Anbau auf Ackerflächen grundsätzlich nicht notwendig (Stand Sachsen). Voraussetzung ist eine Umtriebszeit von maximal 20 Jahren. Bei einer Neuanlage auf Waldflächen ist eine Umwandlungsgenehmigung erforderlich. Dies gilt auch für unbestockte Flächen laut § 2 Abs. 1 BWaldG, ausgenommen ist die Bewirtschaftung als Nieder- und Mittelwald. Eine Anbaubeschränkung für die in Tabelle 26 aufgeführten Baumarten besteht nicht. Erfolgt innerhalb von 20 Jahren nach Anlage einer KUP keine Beerntung dieser, erreicht sie den Waldstatus und unterliegt deren Gesetzgebung.

Die Erzeugung, das Inverkehrbringen und die Ein- und Ausfuhr von forstlichem Vermehrungsgut (Saatgut, Pflanzenteile, Pflanzgut) wird im **Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG)** geregelt. Alle förderfähigen Baumarten und deren Hybriden (Pappel, Robinie, Trauben-, Stiel- und Roteiche, Esche, Sand- und Moorbirke, Schwarz- und Grauerle), außer der Baumart Weide, unterliegen dieser Gesetzesregelung.

Das **Naturschutzgesetz** (BNatSchG – § 5 Abs. 2) und das **Bodenschutzgesetz** (BBodSchG – § 17 Abs. 2) müssen bei der Neuanlage einer KUP den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis entsprechen. Dazu zählen die standortangepasste Bewirtschaftung mit standorttypischen Baumarten sowie das Verbot des Grünlandumbruchs auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, auf Standorten mit hohem Grundwasserstand und auf Moorstandorten nach § 5 Abs. 2 Nr. 3 BNatSchG. In Sachsen gilt der Umbruch von Dauergrünland zur Ackernutzung auf einer Fläche von mehr als 0,5 ha als Eingriff und ist somit genehmigungspflichtig nach § 17 Abs. 3 BNatSchG.

Die Anforderungen an KUP in Schutzgebieten hängen von der jeweiligen Schutzkategorie und der jeweiligen Schutzverordnung ab (GLASER & SCHMIDT, 2010b). Zusätzlich können Anforderungen des besonderen Artenschutzes, insbesondere die Zugriffsverbote hinsichtlich der in § 7 Abs. 2 Nr. 13 und 14 BNatSchG genannten Arten greifen. Werden durch die Anlage einer KUP europäische Vogelarten nach Anhang IV der FFH-RL oder in einer Rechtsverordnung nach § 54 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG beeinträchtigt, ist diese nur möglich, solange der Erhaltungszustand der lokalen Population der betreffenden Art nicht verschlechtert wird (§ 44 Abs. 4 S. 2 BNatSchG).

Bei der Anlage von KUP wird das **Nachbarschaftsgesetz (NachbG)** angewandt, da es keine besonderen Abstandsregelungen von KUP gibt. Die Abstandsregelungen sind länderspezifisch unterschiedlich. In Sachsen liegt der Mindestabstand zu landwirtschaftlich genutzten Nachbargrundstücken bei 2,0 m, sollte die benachbarte Grundstücksfläche mit Schattenwurf beeinträchtigt werden, bei 3,0 m. Im Gegensatz zum öffentlichen Recht können Nachbarn im Nachbarrecht vom Gesetz abweichende einvernehmliche Regelungen treffen.

Ferner gelten das Bodenschutzgesetz, das Gewässerschutzrecht, das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien und weitere gesetzliche Grundlagen der EU, des Bundes und der Länder.

Tabelle 26: Baumarten (zugelassen nach Bekanntmachung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung [BLE] Nr. 15/10/31 vom 17. Dezember 2010 [eBANz AT135 2010 B1]), bei deren Anbau weitere Beihilfezahlungen möglich sind und zulässige Arten laut Gemeinsamer Agrarpolitik (Direktzahlungen-Durchführungsverordnung – DirektZahlDurchfV)

Gattung		Art		Anbau für »Greening« zulässig
dt. Bezeichnung	bot. Bezeichnung	dt. Bezeichnung	bot. Bezeichnung	
Weiden	Salix	alle Arten		Mandel-, Korbweide*
Pappeln	Populus	alle Arten		Silber-, Grau-, Schwarz-, Zitterpappel*
Robinien	Robinia	alle Arten		nein
Birken	Betula	alle Arten		Gemeine Birke, Hängebirke
Erlen	Alnus	alle Arten		Schwarz-, Grauerle
Eschen	Fraxinus	Gemeine Esche	Fraxinus excelsior	ja
Eichen	Quercus	Stieleiche	Quercus robur	ja
Eichen	Quercus	Traubeneiche	Quercus patraea	ja
Eichen	Quercus	Roteiche	Quercus rubra	nein

* einschließlich der Kreuzungen auch mit anderen Arten dieser Gattung

Agrarbeihilferecht

Um eine Direktzahlung für eine KUP nach Agrarbeihilferecht zu erhalten, ist eine Betriebsmindestgröße des Antragstellers von 1,0 ha und eine Mindestanlagengröße von 0,3 ha erforderlich. Ferner müssen die Verpflichtungen (Anhang II nach Verordnung EG Nr. 73/2009) nach CrossCompliance beachtet werden, um Kürzungen zu vermeiden. Dazu gehören die Grundanforderungen an die Betriebsführung, wie beispielsweise die FFH-Richtlinie, die Vogelschutzrichtlinie, sowie die Erhaltung der Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand.

Der **Erhaltung von Dauergrünland (DGL)** kommt dabei ein besonderer Stellenwert zu. Gemäß Art. 6 Abs. 2 Verordnung (EG) Nr. 73/2009 in Verbindung mit Art. 3 und 4 Verordnung (EG) Nr. 1122/2009 ist zu gewährleisten, dass der sachsenweite Grünlandanteil zum 2003 erhobenen Referenzwert nicht um mehr als 10% sinkt.

Das umweltsensible Dauergrünland unterliegt einem einzelbetrieblichen Verbot von Umwandlung. Sobald der Referenzanteil in Höhe von >5% des Grünlandanteils von 2003 überschritten wird, ist die Umwandlung von Grünland nur mit Genehmigung möglich und bedarf der Antragstellung ab dem ersten Quadratmeter. Ansonsten besteht die Verpflichtung zur Rückumwandlung und Wiederanlage von Dauergrünland. Es kann jedoch auch eine andere Fläche als Ersatz als neues Dauergrünland angelegt werden (Tausch).

Nach § 4a DirektZahlVerpflV ist der Schutz von Dauergrünlandflächen in Überschwemmungsgebieten, gesetzlich geschützten Biotopen und Naturschutzgebieten zu beachten. Darunter fallen alle am 1. Januar 2015 bestehenden Grünlandflächen in FFH-Gebieten. Grünland, welches danach entsteht, gehört nicht zu diesem »umweltsensiblen« Dauergrünland.

Mit Inkrafttreten der neuen Direktzahlungen-Durchführungsverordnung (DirektZahlDurchfV) am 1. Januar 2015 ist als Auflage das sogenannte »Greening« vorgeschrieben. Verpflichtet ist jeder Landwirt, der Direktzahlungen erhalten möchte. 30% der Direktzahlungen sind unmittelbar an die Erfüllung der Greeningauflagen gebunden. Ansonsten muss mit Sanktionen gerechnet werden.

Drei Anforderungen müssen gleichzeitig erfüllt werden: die Erhaltung des Dauergrünlandes, die Ausweisung ökologischer Vorrangflächen auf 5% der angemeldeten Ackerfläche und die Anbaudiversifizierung mittels Fruchtfolgen.

Ausnahmen gelten nur für Öko-Betriebe, Betriebe, die an der Kleinerzeugerregelung teilnehmen und Betriebe, die maximal 1.250 EUR Direktzahlungen erhalten.

Zu den möglichen ökologischen Vorrangflächen zählen »Niederwald im Kurzumtrieb« (KUP) auf Ackerland. Diese werden mit einem Gewichtungsfaktor von 0,3 auf die Ackerfläche angerechnet. Gehölzarten sind nur laut festgelegter Liste zulässig (Anlage 1 der DirektZahlDurchfV). Als Weidenarten können noch Mandelweiden- und Korbweidenarten angebaut werden. Bei Pappeln ist der Anbau von Silber-, Grau-, Schwarz- und Zitterpappel auf ökologischen Vorrangflächen möglich. Alle verwendeten Hybriden müssen von den vorgenannten Arten einen Kreuzungspartner aufweisen (Tabelle 26). Weitere mögliche Arten sind Gemeine Birke, Hängebirke, Schwarzerle, Grauerle, Gemeine Esche, Stieleiche und Traubeneiche. Durch das zurzeit massive Auftreten des Eschentriebsterbens, ist von einem Anbau dieser Baumart abzuraten. Der pilzliche Krankheitserreger kann bei starkem Befall zum kompletten Absterben der Neuanpflanzung führen.

Als weitere Auflage muss auf eine mineralische Düngung und das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln bei der Bewirtschaftung von KUP verzichtet werden. Ein Ausbringen von Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist usw.) und Gärresten (flüssige oder feste Rückstände der Vergärung von Biomasse) ist weiterhin möglich.

Wird die KUP unter Beachtung der beihilferechtlichen Vorgaben bewirtschaftet, darf es zu keiner Einschränkung der landwirtschaftlichen Tätigkeit kommen. Dies betrifft die Trocknung und Lagerung des Erntegutes auf der Fläche länger als 14 Tage während der Vegetationsperiode. Außerhalb der Vegetationsperiode wird ein längerer Zeitraum toleriert.

Um den Produktionsprozess einer KUP zu beenden, erfolgt nach der letzten Ernte eine Rückwandlung durch Beseitigung der Wurzeln. War die Anlage für die Nutzung von Zahlungsansprüchen für eine einheitliche Betriebsprämie angemeldet, steht nach § 1 Abs. 3 S. 2 FGIG dem Betriebsinhaber das Recht zu, die Fläche wie vor dem Anbau einer KUP zu nutzen (MICHALK et al., 2013).

Pflanzenschutzmittel sind laut **Pflanzenschutzgesetz (PflSchG)** immer aktuell auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen (Pflanzenschutzmittelverzeichnis, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit).

→ www.bvl.bund.de

Ist das Mittel nicht aufgeführt, bedarf es eines Antrags nach § 22 Abs. 2 PflSchG bei der nach Landesrecht zuständigen Stelle (in Sachsen: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie), um eine Einzelfallgenehmigung zur Anwendung zu erhalten.

Förderung

Im Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum (EPLR) werden derzeit für die aktuelle Förderperiode 2014 – 2020 Richtlinien erstellt, in denen auch der Anbau von KUP berücksichtigt werden soll. Über die aktuellen Förderregelungen informieren die Geschäftsstellen des Ländlichen Raums:

→ www.smul.sachsen.de/laendlicher_raum/4712.htm

Zusammenfassender Überblick

Definition

- Dauerkultur mit mehrjähriger Nutzungsdauer von mindestens 20 Jahren
- Ernte im 3- bis 20-jährigem Umtrieb
- Gewinnung von Energieholz (Hackschnitzel) oder Industrieholz (Zellstoff- oder Papierherstellung)

Eigenschaften schnellwachsender Baumarten

- rasches Jugendwachstum
- leichte Vermehrbarkeit
- langandauerndes Stockausschlagvermögen
- Dichtstandverträglichkeit

Baumarten

- Pappeln (*Populus*)
- Weiden (*Salix*)

Standortansprüche

- Lehm- und Sandböden, möglichst mit Grundwasseranschluss
- Mindestbodenqualität: Ackerwertzahl 30
- Niederschläge: mindestens 500 mm pro Jahr

Sorten (Auswahl)

- Pappelsorten
 - Max-Klone, Muhle Larsen: hohe Ertragsleistung (Mini-Rotation)
 - Androscoggin, Matrix: mittlere bis hohe Ertragsleistung (Midi-Rotation)
 - Münden, Hybrid 275: hohe Leistung bei Maxi-Rotation
- Weidesorten
 - Zieverich: hohe Ertragsleistung Mini-Rotation
 - mittlere Resistenz gegen Blattrost
 - Tora, Sven, Tordis, Inger: hohe Zuwachsraten, weitgehende Blattrostresistenz

Pflanzgut

- gut gekühltes, in Winterruhe befindliches Material
- Steckholz einjähriger Triebe, gerade, ohne Verletzungen, geschlossene Knospen, 20–30 cm lang, Durchmesser 1–3 cm
- Steckruten 120–230 cm, Bezug aus Forstbaumschulen
- einjährige Pflanzen für Aspen
- bewurzelte Stecklinge für schwierige Flächen

Bodenbearbeitung

- Lehm Böden: Herbstfurche vor dem Anlagejahr
- Frühjahr: Grubber-Eggen-Strich
- Sandböden: Frühjahrsfurche und Grubber-Eggen-Strich
- verunkrautete Flächen: Totalherbizid im Herbst, weitere Behandlung einige Tage vor dem Pflanzen

Pflanzung

- Pflanzung im Frühjahr, manuell mit Steckeisen (nur auf Kleinstflächen)
- Pflanzmaschine für Stecklinge und Ruten
- Leistung bei maschineller Pflanzung: 600–8.000 Steckhölzer/h
- auf Bodenschluss achten (Sitz der Pflanze im Substrat)

Pflanzverband

- 10.000–13.000 Steckhölzer/ha für kurze Umtriebszeiten
- 1.000–4.000 Steckhölzer/ha für Umtriebszeiten von mehr als 8 Jahren

Pflege und Schutzmaßnahmen

beschränken sich auf das erste und zweite Standjahr:

- gegen Unkräuter im Voraufbau mit einem Bodenherbizid
- Bewässern der Steckhölzer bei starker Trockenheit nach der Anpflanzung
- Entfernen von Ungräsern und Unkräutern mit mechanischen Werkzeugen

Krankheiten und Pflanzenschutz

- wirtschaftliche Schäden durch verschiedene pilzliche und tierische Schaderreger durch Anbau mehrerer Baumarten und Sorten reduzierbar
- weitere Gefahren: Rehwildverbiss (Fege-, Fraßschäden) und Wühlmausbefall

Nährstoffentzug

- geringer Nährstoffentzug durch Verbleiben der Blätter auf der Fläche mit ihren Inhaltsstoffen an N, P, K und Mg
- die meisten Nährstoffe werden mit der Rinde entzogen

Düngung

pro Rotation in Höhe des Entzuges:

- Versorgungszustand des Bodens mit P, K, Mg
- Bodenreaktionszustand – pH-Wert beachten
- N-Düngung auf mitteldeutschen Standorten in den ersten Jahren nicht erforderlich

Ernteverfahren

- Motormanuelle Ernten (Kleinstflächen bzw. stoffliche Nutzung)
 - mittels Motorsäge oder Freischneider
 - Rücken mit Kranrückeanhänger oder Vorwader mit anschließendem Hacken mittels Hackaggregat
- Hackgutlinie
 - selbstfahrende Häcksler-Vollernter und traktorgezogene Anbauhacker
 - hohe Ernteleistung, verschiedene Hackschnitzelgrößen möglich
- Bündellinie
 - verschiedene Fäller-Bündler-Aggregate
 - Ganzbaumbündelung mit anschließender Trocknung und Hackung

Erträge

- bei mittlerer Umtriebszeit (4 – 5 Jahre) sind Jahreserträge von 10 – 15 t_{atro} /ha erreichbar
- Schwankungsbreite: 6 – 25 t_{atro} /ha nach Standort, Sorte
- lange Umtriebe mit geringeren Erträgen von 8 – 12 t_{atro} /ha

Trocknung

- je nach Trocknungsvariante treten unterschiedliche Biomasseverluste auf
- Trocknung als Hackschnitzel, Scheitholz und Ganzbaum möglich
- Kaltbelüftung ist das gebräuchlichste Verfahren

Rekultivierung

- meist mittels Rodefräse mit sehr hohem Wirkungsgrad
- anschließend sind zwei bis drei Arbeitsgänge und der Einsatz der Kreiselegge notwendig
- hohe Kosten

Wirtschaftlichkeit

- vergleichbar mit annuellen Kulturen der Fruchtfolgen von Raps, Weizen, Gerste
- Erlöse aus dem Biomasseverkauf frühestens zur ersten Ernte

Ökologische Wirkung

- geringer Einsatz an Pflanzenschutz- und Düngemitteln
- Anbau in Form von Schutzstreifen mindert die Winderosion auf offenen Flächen
- Beitrag zum Klimaschutz, Erzeugung eines CO₂-neutralen Brennstoffes
- Schonung endlicher Ressourcen (3 t Holzhackschnitzel ersetzen 1 t Heizöl)
- Regulierung des Oberflächenabflusses mit Verringerung der Bodenerosion

Abkürzungs- und Sachwortverzeichnis

adult Synonym für erwachsen, Lebensphase nach Eintritt der Geschlechtsreife eines Organismus

Agroforstsysteme Feldkultur mit zusätzlicher Holzproduktion in Zwischenstreifen

Annuität Drückt aus, wie hoch der verzinste jährliche Gewinnbeitrag eines Hektars KUP ist, wenn Rotationen erreicht werden, oder anders ausgedrückt, wie hoch die Rendite aus der Investition in die KUP ist, wenn Rotationen erreicht werden.

anthropogen bezeichnet alles vom Menschen Beeinflusste, Verursachte oder Hergestellte

Ackerzahl bezeichnet die Qualität einer Ackerfläche. Sie geht von der Bodenzahl aus und bezieht zusätzliche Standortfaktoren wie das Klima mit ein. Die Skala reicht von 10 (sehr schlecht) bis 100 (sehr gut).

atro theoretische Vergleichsangabe mit einem Wassergehalt von 0% (absolut trocken)

Bestockung mit Bäumen bepflanzte Fläche

Biomasse Gesamtheit der durch Pflanzen, Tiere und Menschen anfallenden oder erzeugten organischen Substanz

BHD Brusthöhendurchmesser (in 1,30 m Höhe)

Biodiversität Artenvielfalt

Bodenzahl Die Bodenzahl bestimmt die Bodenfruchtbarkeit im Rahmen der Bodenschätzung. Zur Ermittlung der Zahl wird der erzielbare Reinertrag eines Bodens zum fruchtbarsten Schwarzerdeboden der Magdeburger Börde (Wert 100) in Beziehung gesetzt.

Dauergrünland mindestens 5 Jahre alte Wiese oder Weide mit geschlossener Grasnarbe, die von einer Pflanzengemeinschaft aus Gräsern, Kräutern und Leguminosen gebildet wird

Drainage Ableiten von Sickerwasser (Entwässerung) mittels gelochter Rohre oder Schläuche zur Trockenhaltung von meist landwirtschaftlich genutzten Böden

Durchschnittlicher Zuwachs Wachstum in einem Erntezeitraum geteilt durch die vergangenen Jahre zwischen den Ernten

Efm Erntefestmeter (m^3) = Volumen des beernteten Bestandes, Ernteverluste sind bereits berücksichtigt

flachgründig Durchwurzelbarkeit beträgt weniger als 25 cm

Emission Ausstoß von Schadstoffen (Verunreinigung)

euryök Lebewesen, die relativ weite Schwankungen der für sie wichtigen Umweltfaktoren vertragen

Ertrag erntbarer Zuwachs (Holzzuwachs) von Baumbeständen

Fegeschaden durch Reiben des Geweihs von Schalenwild an Baumrinde verursachter Schaden

Fm Festmeter (m^3) = ein Kubikmeter Holz ohne Zwischenräume. Es wird zwischen Vorratsfestmeter (Vfm) und Erntefestmeter (Efm) unterschieden.

Forwarder Transportmaschine für Stammabschnitte oder Ganzbäume

Frischmasse Material im erntefrischen Zustand mit einem bestimmten Wassergehalt

Fungizid Pilzbekämpfungsmittel

Ganzbaum Baum mit Stamm und Krone ohne Wurzel

Genetische Vielfalt verschiedene Erbanlagen (Genotypen) innerhalb einer Baumpopulation

Grenzstandort Fläche, auf der wegen nachteiliger natürlicher oder agrarstruktureller Standortfaktoren unter dem gegebenen Preis-Kosten-Verhältnis eine rentable Nutzung nicht möglich ist.

Hackgut maschinell zerkleinertes Holz mit und ohne Rinde

Herbizid Unkrautbekämpfungsmittel

Hybride Lebewesen, das durch Kreuzung von Eltern unterschiedlicher Rassen oder Arten hervorgegangen ist. In der Hybridzucht nutzt man den Heterosis-Effekt aus, der im Vergleich zu reinen Lebewesen zu mehr Vitalität und Leistungsstärke führt.

Industrieholz Holz, das mechanisch zerkleinert oder chemisch aufgeschlossen wird. Produkte sind Holzschliff und Zellstoff, Span- und Faserplatten, Holzwole und andere industrielle Erzeugnisse.

Jugendwüchsig rasches Wachstum von Bäumen in der Jugend

Klon Genetisch identische Kopie eines Organismus. Im Pflanzenbau entsteht ein Klon durch vegetative Vermehrung.

- Kontinentales Klima** Festlandklima = große Temperaturschwankungen, geringere Jahresniederschlagsmengen als bei einem maritimem Klima
- Kurzumtrieb** schnellwachsende Baumarten, die in regelmäßigen Abständen geerntet werden
- Legeflinte** Hilfsgerät zur Verteilung von Giftködern (Körner), bestehend aus Vorratsbehälter, Dosierer und Legerohr
- Loch-Tret-Methode** Auf einer Fläche von 16 × 16 m werden alle Mäuselöcher zugetreten. Sind nach 24 Stunden mehr als 8 Löcher geöffnet, ist die Bekämpfungsschwelle erreicht.
- lutro** lufttrocken, Wassergehalt je nach Lagerdauer und Lagerort ca. 10–30%
- motormanuell** Aufarbeitung mit händischen Werkzeugen wie Motorsäge oder handbeschicktem Hacker
- Mutterquartier** Anbaufläche zur Vermehrung von Steckhölzern und Steckruten
- Nachbesserung** neuerliche Pflanzung ausgefallener Bäume 1–2 Jahre nach der Erstpflanzung
- Niederwald** Waldbestand, bei dem die Bestandesverjüngung über Stockausschlag oder Wurzelbrut erfolgt
- NPK-Dünger** Volldünger mit wechselnden Anteilen an Stickstoff, Phosphat und Kalium, z. B. mit 15% N, 15% P₂O₅, 15% KCl
- Pflanzdichte** Anzahl der Bäume pro Hektar
- Pflanzverband** räumliche Anordnung der Pflanzen auf der Fläche
- Population** Gruppe von Individuen der gleichen Art
- ph-Wert** Säuregrad: Neutralpunkt bei pH 7 (<7 sauer; >7 basisch)
- Reinbestand** natürlicher Bestand, wobei über 90% einer Baumart angehören
- Rotation** Beerntungszyklus; 1. Rotation = Zyklus von der Flächenbegründung bis zu ersten Beerntung
- Rm** Raummeter = gestapeltes Holz, das einen Raum von einem Kubikmeter einnimmt; entspricht ca. 0,7 fm
- Rücken** Transport der Bäume an den Feldrand
- Rückschnitt** Zurückschneiden der Triebe nach dem ersten Jahr zur Stimulierung des Triebwachstums
- Ruderalvegetation** besiedelte offene und häufig gestörte Flächen der Siedlungen, Industrie- und Entsorgungsanlagen sowie Verkehrswege
- Standort** Teil der Produktionsfläche, die durch eine einheitliche geografische Lage und bestimmte einheitliche Umweltverhältnisse gekennzeichnet ist
- Steckholz** verschiedene Länge von einjährigen, gut verholzten Trieben (Zweige, Ruten), die sich nach Einlagerung über den Winter nach dem Stecken im Frühjahr selbst bewurzeln
- Stillegung** zeitweilige oder dauerhafte Außerbetriebnahme von landwirtschaftlichen Flächen
- Stockausschlag** Form der vegetativen Vermehrung durch Bildung neuer Triebe, z. B. Wurzelausschlag
- Srm** Schüttraummeter = lose geschüttetes Hackgut, das einen Raum von einem Kubikmeter einnimmt; entspricht ca. 0,4 fm
- Schwad** reihenförmig abgelegtes Erntegut
- Sukzession** gesetzmäßige zeitliche Abfolge von Lebensgemeinschaften innerhalb eines Lebensraums
- tatro** Tonne absolut trocken. Der Wassergehalt beträgt 0%
- tiefgründig** Durchwurzelbarkeit beträgt mehr als 50 cm
- Umtrieb** siehe Rotation
- Umtriebszeit (Rotation)** Wachstumszeitraum von der Flächenbegründung bis zur ersten Ernte und zwischen den Ernten
- vegetative Vermehrung** ungeschlechtliche Vermehrung z. B. über Pflanzenteile
- Verbiss** Abfressen von Knospen und jungen Pflanzentrieben durch Wildtiere
- Vfm** Vorratsfestmeter (m³): Volumen des noch unbeernteten Bestandes
- Vollbäume** gefällte und zumeist vom Wipfel getrennte Bäume, die unentastet oder teilentastet sowie unentrindet aufgearbeitet werden
- Vorgewende** Arbeitsraum am Feldrand mit meist anderer Fruchtart oder anderem Pflanzverband zum besseren Bearbeiten der gesamten Feldfläche
- Wassergehalt** Gewichtsanteil an Wasser im feuchten Holz
- Wertholz** überdurchschnittliche Einzelbäume für höherwertige Verwendung (Furnier)
- Wurzelbrut** vegetative Vermehrung, bei der Triebe aus oberflächlichen Seitenwurzeln ausschlagen
- Wurzelhalsdurchmesser** Durchmesser zwischen Wurzel und Stamm
- Zahlungsanspruch** Handelbares Recht, das zum Erhalt einer Betriebsprämie berechtigt, wenn es aktiviert wird. Die Aktivierung eines Zahlungsanspruchs ist in der Regel mit einer entsprechenden beihilfefähigen landwirtschaftlichen Fläche möglich.
- Zuwachs** durch das Wachstum bedingte Zunahme an organischer Substanz

Literaturverzeichnis

- ALI, W. (2009): Modelling of biomass production potential of poplar in short rotation plantations on agricultural land of Saxony, Germany. Dissertation, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden, 130 S.
- ANONYM (2012): Die Pappel-Klone-Klonmischungen, Elternfamilien. Broschüre Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
- BÄRWOLFF, M.; HERING, T. (2012): Fremdenergiefreie Trocknung für Holz aus Kurzumtriebsplantagen- Trocknungsversuch mit 4 Varianten im Rahmen des Projektes AgroForstEnergie. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg
- BECKER, R.; WOLF, H. (2009): Acker, Plantage, Acker – eine wechselseitige Nutzung. Erfahrungen mit der Ernte von Kurzumtriebsplantagen. Allgemeine Forstzeitschrift, 10. Woche, S. 530 – 531
- BECKER, R.; SCHOLZ, V.; WEGENER, J. (2010): Maschinen und Verfahren für die Ernte von Kurzumtriebsplantagen. – In: Bemann, A.; Knust, C. (Hrsg.): AgroWood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 88 – 101
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav-Fischer-Verlag, Jena, S. 381
- BÖHME, T. (2012): Erfahrung in der Aufbereitung und Verwertung von Hackschnitzeln. Vortrag, Köllitsch
- BRUMMACK, J.; PESCHEL, T. (2013): Vom Erntegut zum Brennstoff. – In: BEMMANN, A.; BUTLER MANNING, D. (Hrsg.): Energieholzplantagen in der Landwirtschaft. Eine Anleitung zur Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb für den Praktiker. Agrimedia-Verlag, S. 74 – 85
- BUNGART, R. (1999): Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Cottbusser Schriften, Band 7
- BURGER, F. (2005): Hackschnitzel-Trocknungsversuch Waldhausen. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
- DIMITRI, L. (1988): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung. In: Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden (4)
- DREINER, K. (1994): Holz als umweltfreundlicher Energieträger – Eine Kosten-Nutzen-Untersuchung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverl. Münster. Reihe Angewandte Wiss. Nr. 432, 192 S.
- ECKEL, H.; DÖHLER, H.; FRISCH, J. (2006): Energiepflanzen. KTBL-Datensammlung mit Internetangebot. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Potsdam
- FEGER, K.-H.; PETZOLD, R.; SCHMIDT, A.; GLASER, T.; SCHROIFF, N.; DÖRING, N.; FELDWISCH, N.; FRIEDRICH, C.; PETERS, W.; SCHMELTER, H. (2010): Biomaspotentiale in Sachsen. Standortpotentiale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen unter besondere Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
- FELDWISCH, N. (2011): Umweltgerechter Anbau von Energiepflanzen. Abschlussbericht des Verbundvorhaben Rahmenbedingungen und Strategien für einen an Umweltaspekten ausgerichteten Anbau der für Sachsen relevanten Energiepflanzen. 43. Schriftenreihe des LfULG, 72 S.
- FRIEDRICH, E. (1999): Anbautechnische Untersuchungen in forstlichen Schnellwuchsplantagen und Demonstration des Leistungsvermögens schnellwachsender Baumarten. Modellvorhaben »Schnellwachsende Baumarten« – Zusammenfassender Abschlussbericht. Schriftenreihe »Nachwachsende Rohstoffe« 13, S. 19 – 149
- FÖRSTER, F. (2013): BEFU-Düngungsempfehlungs- und Bilanzierungssystem. Informationsbroschüre. Sächsische Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Landwirtschaft, Dresden. 116 S.
- FORTMANN, M. (2002): Wühlmäuse und Maulwürfe – Erkennen, Vorbeugen, Abwehren. Augsburg, Bechtermünz Verl.
- GEHRING, K.; FESTNER, T.; THYSSEN, S. (2014): Chemische Unkrautkontrolle bei der Anpflanzung von Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln (*Populus*) und Weiden (*Salix*). Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz

- GEORGI, R.; MÜLLER, M. (2013): Schadinsekten und Krankheiten in Kurzumtriebsplantagen. DLG-Merkblatt 392
- GLASER, T.; SCHMIDT, P. (2010): Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf die Phytodiversität. – In: BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 153 – 161
- GROSSE, W.; BÖCKER, L.; Landgraf, D.; Scholz, V. (2010): Rückwandlung von Plantagenflächen in Ackerland. – In: BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 130 – 138
- GROSSE, W.; von HARLING, H.-M.; PESCHEL, T. (2013): Ernte von Kurzumtriebsplantagen. – In: BEMMANN, A.; BUTLER-MANNING, D. (Hrsg.): Energieholzplantagen in der Landwirtschaft. Eine Anleitung zur Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb für den Praktiker. Agrimedia-Verlag, S. 62 – 69
- 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. (2003): Nachernteverfahren für Holz und Halmgut. – In: Leitfaden Bioenergie-Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- HARTMANN, H.; 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.; 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, Landwirtschaftsverl. GmbH Münster
- HEINRICH, N. (2006): Ernte und Logistik von Holz aus Kurzumtriebsplantagen – Verfahrenstechnische Optimierungsansätze, Diplomarbeit, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, TU Dresden
- HELBIG, C.; MÜLLER, M. (2008): Potentielle biotische Schadfaktoren in Kurzumtriebsplantagen. In DENDROM (Hrsg.): Holzerzeugung in der Landwirtschaft. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung (6). S. 101 – 111
- HELBIG, C.; MÜLLER, M. (2010): Naturale Risiken und Grundzüge des Schadensmanagements in Kurzumtriebsplantagen. – In: BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 74 – 87
- HELBIG, C.; GEORGI, R.; MÜLLER, M. (2013): Die Weidenblattkäfer an Weiden und Pappeln im Kurzumtrieb. AFZ – Der Wald, 4. Ausgabe, S. 17 – 19
- HELLERBRAND, H.J.; KERN, J.; SCHOLZ, V. (2003): Longterm studies on greenhouse gas fluxes during cultivation of energy crops on sandy soils. Atmospheric environment 37, p. 1635 – 1644
- HOFMANN, M. (1999 b): Energetische Bewertung der Kurzumtriebswirtschaft. – In: Schriftenreihe »Nachwachsende Rohstoffe« (13), S. 397 – 432
- HOFMANN-SCHIELLE, C.; JUG, A.; MAKESCHIN, F.; REHFUSS, K. E. (1999): Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. 1. Site-growth relationships. Forest Ecol. and Management 121, S. 41 – 55
- HÖLDERICH, A.; HARTMANN, H.; DECKER, T.; REISINGER, K.; SOMMER, W.; SCHARDT, M.; WITTKOPF, S.; OHRNER, G. (2006): Rationelle Scheitholzbereitstellungen. Berichte aus dem TFZ, Band 11. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
- HORN, H.; SKIPPE, K.; RÖHLE, H. (2013): Wuchsleistung von KUP aus Pappel in Folgerotation. Allgemeine Forstzeitschrift, 07. Woche, S. 53 – 55
- 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
- KAHLE, P.; BOELCKE, B. (2004): Auswirkungen des Anbaus schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf ausgewählte Bodeneigenschaften. – In: Bornimer Agrartechnische Berichte (35), S. 99 – 108
- KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. (2001): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken, Verfahren. Springer Verlag Heidelberg, Berlin
- KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEL, 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. 1994, S. 121
- LANDGRAF, D.; BÖCKER, L.; WÜSTENHAGEN, D. 2009: Rodungsfräsen zur Rückumwandlung von Schnellwuchsplantagen? AFZ – Der Wald, 6. Ausgabe, S. 284 – 285
- LANDGRAF, D.; HELBIG, C. (2010): Pappelblattrost in Kurzumtriebsplantagen. AFZ – Der Wald, 8. Ausgabe, S. 46 – 47

- LANDGRAF, D. (2011): Erfahrungen bei der Akquise von Flächen für Kurzumtriebsplantagen, Klon- und Steckholzauswahl. Tagungsband zur Fachtagung Chancen und Hemmnisse für die Energieholzproduktion aus Kurzumtriebsplantagen am 20. und 21.10.2011 in Tharandt, S. 43 – 52
- LANGE, K.; HEINEKING, J. (2013): Prüfung von Bodenherbiziden in neu angelegten Kurzumtriebsplantagen (KUP) von Pappeln *Populus spec.* und Weiden *Salix spec.* aus unbewurzelten Steckholz und einjährigen Robinien sämlingen *Robinia pseudoacacia* nach dem Stecken bzw. Pflanzen. Versuchsbericht. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
- LARSSON, S. (2003): Gute Erfahrungen in Schweden mit dem Anbau von Weiden als nachwachsender Rohstoff. Informationsschrift der Firma Agrobränsle AB, Box
- LERCH, G. (1985): Pflanzenökologie. Teil 2: Zur Ökologie von Stoffproduktion und Ertragsbildung. Akademie-Verlag Berlin. Wiss. Taschenbücher, 4. ber. Auflage
- LIEBHARD, P. (2007): Energieholz im Kurzumtrieb – Rohstoff der Zukunft. Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart
- LÖFFLER, H. D.; PATZAK, W.; DÜRRSTEIN, H. (1988): Ernte von Kurzumtriebsplantagen. Forstliche Forschungsberichte (90)
- MAIER, J.; VETTER, R.; SIEGLE, V.; SPLIETHOFF, H. (1998): Anbau von Energiepflanzen – Ganzpflanzengewinnung mit verschiedenen Erntemethoden (ein- und mehrjährige Pflanzenarten), Schwachholzverwertung. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben (Ord.-Nr. 22 – 94.11). Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (IFUL), Müllheim; Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Universität Stuttgart
- 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
- MICHALK, K.; MARX, M.; SCHULTE, M. (2013): Rechtlicher Rahmen für eine Kurzumtriebswirtschaft. – In: BEMMANN, A.; BUTLER MANNING, D. (Hrsg.): Energieholzplantagen in der Landwirtschaft. Eine Anleitung zur Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb für den Praktiker. Agrimedia-Verlag, S. 105 – 120
- MOERSCHNER, J.; MARHEINKE, H.; ELTROP, L. (2002): Ökologische Analyse (I)- Lebenszyklusbetrachtung. – In: HARTMANN, H.; KALTSCHMITT, M. (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 3, Landwirtschaftsverl. Münster, 2. Aufl., vollst. Neubearbeitung
- NAHM, M.; BRODBECK, F.; SAUTER, U. (2013): Die Ernte des zweiten Umtriebs von Kurzumtriebsplantagen. AFZ-Der Wald. 21. Ausgabe, S. 37 – 39
- PECENKA, R.; LENZ, H.; DARIES, W.; HOFFMANN, T.; IDLER, Ch. (2013): Kontinuierliche Analyse der Lagerbedingungen und Verluste in Hackschnitzzellagern unterschiedlicher Bauart in der Praxis. 19. Fachtagung Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Dresden. Tagungsband, S. 85 – 94
- PETZOLD, R.; FEGER, K.-H.; RÖHLE, H. (2010 a): Standörtliche Voraussetzung für Kurzumtriebsplantagen. – In: BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 44 – 53
- PETZOLD, R.; SCHWÄRZEL, K.; FEGER K.-H. (2010 b): Bodenwasserdynamik, Wasserbilanz und Grundwasserneubildung. – In: Bemmman, A.; Knust, C. (Hrsg.): AgroWood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, 181 – 185
- REIKE, J. (2008): Charakterisierung und Optimierung des Ernte- und Logistiksystems bei Kurzumtriebsplantagen mit dem Ziel der energetischen Nutzung von Holz. Diplomarbeit, Fakultät Maschinenwesen / TU Dresden
- REINHARDT, G.; SCHEURLEN, K. (2004): Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. FKZ 80102160 Heidelberg / Potsdam
- RIPPEL, R. (2008): Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (11)
- RODE, M. W.; SCHNEIDER, C.; KETELHAKE, G.; REISSHAUER, D. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. BfN-Skripten, Bonn, 183 S.
- RÖDL, A. (2008): Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft Nr. 3/2008, Hamburg
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; STEINKE, C.; WOLF, H. (2005): Wuchsleistung von Pappel und Weide im Kurzumtrieb. AFZ- Der Wald, 60. Ausgabe, S. 745 – 747
- RÖHLE, H.; SKIPPE, K.; HORN, H. (2013): Wachstum und Ertragsausichten von Kurzumtriebsplantagen. – In: BEMMANN, A.; BUTLER MANNING, D. (Hrsg.): Energieholzplantagen in der Landwirtschaft. Eine Anleitung zur Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb für den Praktiker. Agrimedia-Verlag, S. 35 – 51
- RÖHRICHT, C.; KIESEWALTER, S. (2008): Nutzung von kontaminierten Böden. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (30)
- 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)

- RÖHRICHT, G.; RUSCHER; KIESEWALTER, S. (2007): Einsatz nachwachsender Rohstoffpflanzen als landschaftsgestaltendes Element – Feldstreifenanbau auf großen Ackerschlägen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (25)
- RÖHRICHT, G.; RUSCHER, K. (2009): Anbauempfehlung – Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb. Broschüre. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 59 S.
- SCHILDBACH, M.; WOLF, H. (2009): 10 Jahre Pappelanbau zur Papierherstellung – eine Bilanz. Allgemeine Forstzeitschrift, 10. Woche, S. 526 – 528
- SCHILDBACH, M.; LANDGRAF, D.; BÖCKER, L. (2008): Stechhölzer zur Begründung von Kurzumtriebsplantagen. Vergleich der Eignung unbewurzelter und bewurzelter Stechhölzer. AFZ-Der Wald, 18. Ausgabe, S. 992 – 993
- SCHILDBACH, M.; HOFFMANN, M.; WOLF, H. (2010): Anlage und Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. – In: BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 65 – 73
- SCHMIDT, P.; GLASER, T. (2010): Naturschutzfachliche Bewertung von Kurzumtriebsplantagen. – In: BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin, S. 162 – 169
- SCHOLZ, V.; HELLERBRAND, H.-J.; HÖHN, A. (2004): Energetische und ökologische Aspekte der Feldholzproduktion. – In: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie. Seminar 29.1.2004. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35
- SCHOLZ, V. (2007): Technologische Lösungen zur Ernte und Lagerung von schnellwachsenden Baumarten. Fachtagung: Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen. Güstrow, 9.5.2007
- SCHWAB, G. (2009): Biber in Bayern. Biologie und Management, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
- 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
- SKIPPE, K.; HORN, H.; RÖHLE, H. (2013): Ertragsschätzung von Kurzumtriebsplantagen. Allgemeine Forstzeitschrift, 7. Woche, S. 50 – 53
- STREHLER, A. (1986): Die Umwandlungsverfahren von Lignocellulose zur Erzeugung von industriellen Rohstoffen. Thermische Verfahren. – In: SCHLIEPAKE et al.: Nachwachsende Rohstoffe. Verlag J. Kordt, Bochum
- SPANGENBERG, G.; KUNZE, M.; MARK, M.; HEIN, S. (2011): Bäume in Folie. Joule, 4. Ausgabe, S. 64 – 67
- TEEPE, R. 1999: Qualifizierung der klimarelevanten Spurenflüsse Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄) beim Anbau der nachwachsenden Rohstoffe Pappelholz und Rapsöl. Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A, Band 158, 126 S.
- TUBBY, I. (2005): Tree death in poplar plantations, summer 2005. Forestry Commission Great Britain
- ULRICH, K.; DIETRICH, E. (2008): »Probiotisch« Bakterien für Bäume? AFZ – Der Wald, 20. Ausgabe, S. 1083 – 1085
- WACHENDORF, C.; TÖNSHOFF, C.; STÜLPNAGEL, R. (2011): C- und N-Dynamik im Boden nach der Rückführung aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) – erste Ergebnisse aus dem KURZUM-Projekt. Chancen und Hemmnisse für die Energieholzproduktion aus Kurzumtriebsplantagen. Tagungsband, Tharandt. S. 33 – 42
- WEISGERBER, H. (1985): Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Voraussetzungen, Leistungen, Perspektiven. – In: Journal of Agronomy and Crop Science (156), S. 173–187
- WERNER, A.; VETTER, A.; HERING, T. (2004): Ergebnisse des 10jährigen Energieholzanbaus in Thüringen. Institut für Agrartechnik Bornim e.V. Tagungsbeitrag
- WICHTL, M. (1989): Teedrogen. Wiss. Verl.-Gesellschaft mbH, Stuttgart 2. Aufl.
- WINTZER, D.; FÜRNISS, B.; KLEIN-VIELHAUER, S.; LEIBLE, L.; NIEKE, E.; RÖSCH, CH.; TANGEN, H.: Technikfolgeabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft. Sonderheft, Landwirtschaftsverl. Münster
- ZAHNER, V.; SCHMIDTBAUER, M.; SCHWAB G. (2009): Der Biber. Die Rückkehr der Burgherren. 2. Auflage, Amberg. Buch und Kunstverlag, Oberpfalz, 136 S.
- ZIMMERMANN, E.; WERN, B. (2004): Machbarkeitsstudie und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Trocknungsvarianten für Holzhackschnitzel in einem rheinland-pfälzischen Sägewerk unter Berücksichtigung der Steigerung des Energiegehalts der Hackschnitzel. IfaS Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, Umwelt-Campus Birkenfeld
- ZÖPHEL, B. (2010): Floristische vegetationskundliche Bewertung von Untersuchungsflächen im Rahmen des Projektes »Demonstrationsanbau von schnellwachsenden Baumarten auf großen Ackerflächen als Feldstreifen«. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden, 30.10.2010

Kontaktadressen/Anhang

Projektseiten:
www.energieholz-portal.de

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie
Abteilung Landwirtschaft
Waldheimer Str. 219
01683 Nossen
Telefon: + 49 35242 631-7204
Telefax: + 49 35242 631-7099
E-Mail: abt7.lfulg@smul.sachsen.de

Technische Universität Dresden
Institut für Internationale Forst- und Holzwirtschaft
Prof. Dr. Albrecht Bemann
Pienner Str. 19
01737 Tharandt
Telefon: +49 35203 383-1281
Telefax: +49 35203 383-1283
E-Mail: albrecht.bemann@forst.tu-dresden.de

Staatsbetrieb Sachsenforst
Referat Forstgenetik, Forstpflanzenzüchtung
Bonnewitzer Str. 34
01796 Pirna/OT Graupa
Telefon: + 49 3501 542-0
Telefax: + 49 3501 542-213
E-Mail: poststelle.sbs@smul.sachsen.de

IB Biomasseconsulting/Salixenergi Europa AB
Carsten Neumeister
Höfgen Nr. 1
01683 Nossen/OT Höfgen
Telefon: + 49 35246 519047
Telefax: + 49 35246 519046
Mobil: + 49 179 5112055
E-Mail: carsten.neumeister@salixenergi.se

Bioenergiehof Böhme GmbH
Thomas Böhme
Dorfstraße 44
01762 Schmiedeberg/OT Obercarsdorf
Telefon/Telefax: + 49 3504 61144849
E-Mail: info@biohof-boehme.de

Frank Uhlemann
Schulstraße 23
04808 Lossatal/OT Thammenhain
Telefon: + 49 34262 44181
E-Mail: Uhlemann@aol.com

Sailer-Baumschulen GmbH
Uwe Jiranek
Ziegelviebig 2
02785 Olbersdorf
Telefon: + 49 160 94539828
E-Mail: jiranek.uwe@sailer-baumschulen.de

Fotonachweis

- LfULG (Abb. 2, 3, 5, 6, 8, 11,12, 21, 23, 25, 29, 43, 46, 51, 57)
- Michael Weitz, Lignovis GmbH (Abb. 9, 10)
- Marek Schildbach (Abb. 34)
- Reik Becker

Artikelnachweis

Wirtschaftlichkeit von KUP: Mathias Kröber,
Dr. Jürgen Heinrich
(Projekt AGROFORNET, Martin-Luther-Universität Halle)
Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre
Karl-Freiherr-von-Fritsch-Straße 4
06099 Halle (Saale)
Telefon: +49 34555 22305
Telefax: +49 34555 27109
E-Mail: Mathias-Kroeber@web.de

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-2112
Telefax: + 49 351 2612-2099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Reik Becker, Dr. habil Christian Röhrich, Karin Ruscher, Dr. Kerstin Jäkel
Abteilung Landwirtschaft
Telefon: +49 35242 631-7204
Telefax: +49 35242 631-7299
E-Mail: kerstin.jaekel@smul.sachsen.de

Fotos:

siehe Seite 72 (Anhang)

Gestaltung und Satz:

Sandstein Kommunikation GmbH

Druck:

Lausitzer Druckhaus GmbH

Redaktionsschluss:

30.11.2014

Auflage:

1.000 Exemplare; 3. Auflage

Papier:

gedruckt auf 100% Recycling-Papier

Bezug:

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: + 49 351 2103-672
Telefax: + 49 351 2103-681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl

darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.