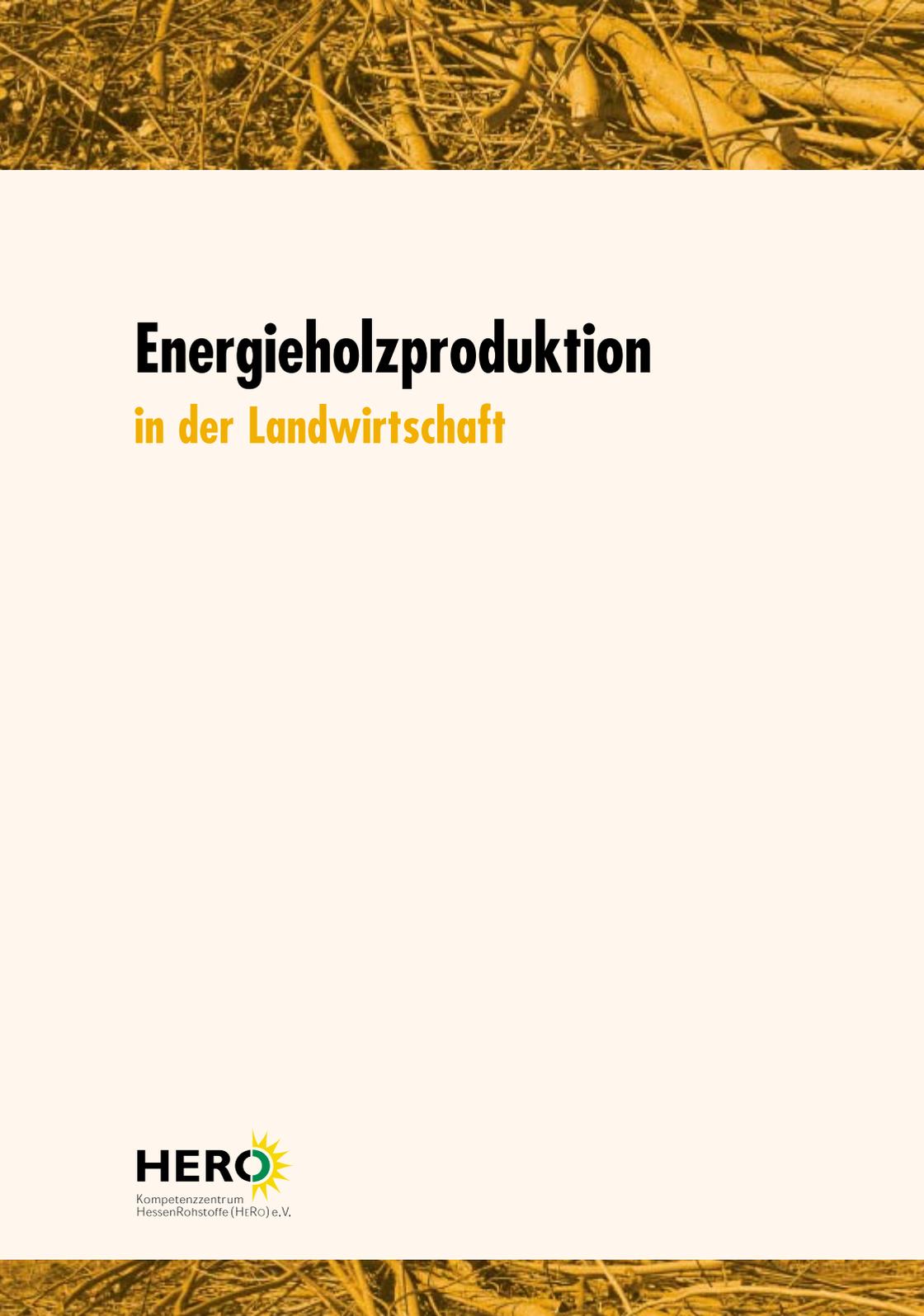


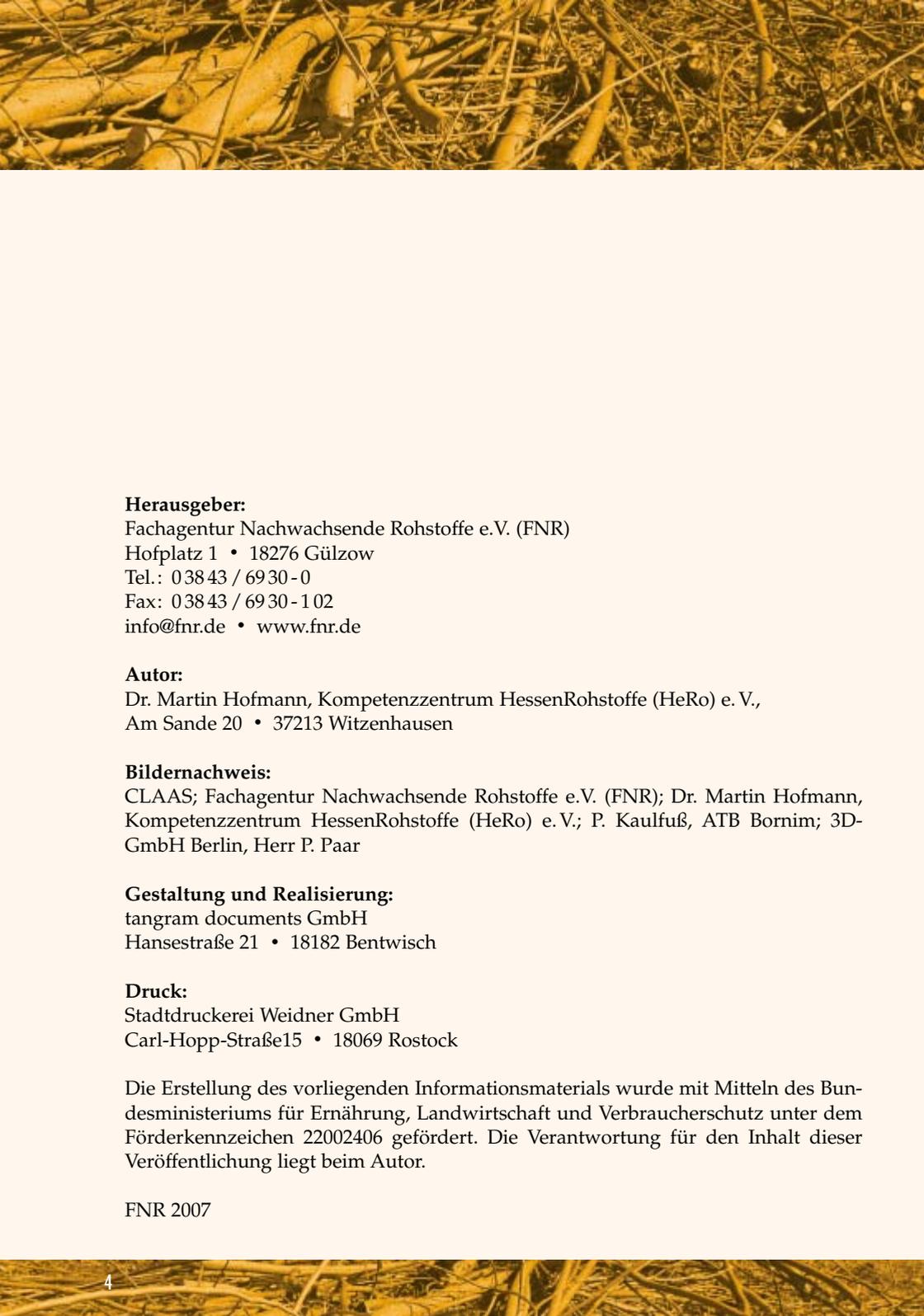
Energieholzproduktion in der Landwirtschaft





Energieholzproduktion

in der Landwirtschaft



Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: 03843 / 6930-0
Fax: 03843 / 6930-102
info@fnr.de • www.fnr.de

Autor:

Dr. Martin Hofmann, Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e. V.,
Am Sande 20 • 37213 Witzenhausen

Bildernachweis:

CLAAS; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR); Dr. Martin Hofmann,
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e.V.; P. Kaulfuß, ATB Bornim; 3D-
GmbH Berlin, Herr P. Paar

Gestaltung und Realisierung:

tangram documents GmbH
Hansestraße 21 • 18182 Bentwisch

Druck:

Stadtdruckerei Weidner GmbH
Carl-Hopp-Straße15 • 18069 Rostock

Die Erstellung des vorliegenden Informationsmaterials wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter dem Förderkennzeichen 22002406 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

FNR 2007



Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	7
2 Anbauvoraussetzungen	9
2.1 Rechtliche Einordnung der Flächen	9
2.2 Rechtliche Einordnung des Vermehrungsgutes	11
2.3 Baumarten und Standorte	12
3 Initialphase	16
3.1 Zieldefinition	16
3.1.1 Produktlinie Energiehackschnitzel, 2-4-jähriger Ernteturnus	16
3.1.2 Produktlinie Energiehackschnitzel mit Option Industrieholz, 10–20-jähriger Ernteturnus	17
3.2 Pflanzsortimente	17
3.2.1 Steckhölzer	17
3.2.2 Setzstangen und Steckruten	18
3.3 Sortenempfehlungen	19
3.4 Bodenvorbereitung	19
3.5 Pflanzung	20
4 Flächenmanagement	21
4.1 Kulturpflege	21
4.2 Rückschnitt	22
4.3 Nährstoffentzug und Düngung	22
4.4 Biotische Risiken	22
4.4.1 Wild	22
4.4.2 Mäuse	23
4.4.3 Pappelblattrost	23
4.5 Bewirtschaftung in den Folgerotationen	24
4.6 Stockrodung	24





5 Holzernte	25
6 Betriebswirtschaftliche Betrachtung	28
7 Ökologische Aspekte	32
8 Agroforstwirtschaft	33
9 Umrechnungszahlen	35
10 Weiterführende Literatur	38
11 Ausgewählte Beratungsinstitutionen	42



1 Einführung

Die Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten, i. d. R. Pappel oder Weide, in kurzen Umtriebszeiten stellt eine extensive Form der Landnutzung dar, die mit Blick auf den Klimaschutz und die aktuelle Entwicklung der Preise für fossile Energieträger zunehmend interessant erscheint.

Biomasse aus Kurzumtriebsbeständen kann in Form von Hackschnitzeln zur dezentralen, umweltfreundlichen Energieversorgung eingesetzt werden. Dabei sind „Feldhackschnitzel“ eine mögliche Ergänzung zu den aktuell stark nachgefragten Energieholzsortimenten aus der Forstwirtschaft. Grundsätzlich erlauben die administrativen Rahmenbedingungen der Europäischen Union auch die Erzeugung von (Schwach-) Stammholz mit entsprechend höherwertiger Verwendung in bis zu 20jährigen Umtriebszeiten auf Ackerland.

Für den Anbau werden leistungsfähige Sorten von geeigneten Baumarten über Steckhölzer vermehrt und voll mechanisiert gepflanzt. Bei Beerntung in der vegetationsfreien Zeit sind vitale Stockausschläge und hohe Erträge für mindestens zwei Jahrzehnte garantiert. Die Art der Bewirtschaftung weist viele Parallelen zur historischen Niederwald-Brennholzwirtschaft im Stockausschlagbetrieb auf. Die Nutzung des Stockausschlages bestimmter Weichlaubhölzer wurde modifiziert und zu einer voll mechanisierten Produktionsmöglichkeit für Holz auf landwirtschaftlichen Flächen weiter entwickelt.



Abb. 1: Pappeln und Weiden eignen sich am besten für den Plantagenanbau

Erste Versuche mit dem Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb wurden 1976 im Wesertal in der Nähe von Hann. Münden angestellt. Von 1982 bis 1996 ermöglichte die finanzielle Förderung der Bundesregierung ein interdisziplinäres Verbundforschungsprojekt, in dem alle Aspekte des Anbaues schnellwachsender Baumarten und deren Nutzung in kurzen Umtriebszeiten untersucht wurden. Gegenstand eines weiteren, 6jährigen Untersuchungszeitraum (1997-2003) waren die Produktionsmöglichkeiten für Pappelholz zur stofflichen Nutzung.

Anbaukonzepte müssen an der in Deutschland bestehenden Agrarstruktur und an möglichen Verwertungslinien orientiert sein. Entscheidende Voraussetzung für die Praxiseinführung schnellwachsender Baumarten ist deshalb die Klärung folgender Fragen:

- Was ist beim Anbau zu beachten?
- Welche Baumarten bzw. welche Sorten sind zu empfehlen?
- Welche Ernteverfahren gibt es?
- Wie stellt sich die Wirtschaftlichkeit dar?

Der Beantwortung dieser und weiterer Fragen ist die vorliegende Leitlinie gewidmet. Sie fasst den aktuellen Stand des Wissens aus bisheriger Forschung und ersten Praxisanbauten zusammen und wendet sich damit an den praktischen Landwirt.



Abb. 2: Vortrocknen von Kurzumtriebsholz am Feldrand

2 Anbauvoraussetzungen

2.1 Rechtliche Einordnung der Flächen

Der Anbau von Bäumen auf Ackerland kann nur praxisrelevant werden, wenn dem Landwirt zu jedem Zeitpunkt im Produktionszyklus die volle Entscheidungsfreiheit über die künftige Nutzung seiner Flächen erhalten bleibt. Mit der aktuellen Gesetzgebung auf Ebene der Europäischen Union und ebenso auf Bundes- und Länderebene wird daher angestrebt, Rechtssicherheit zu schaffen und Anbauhemmnisse zu beseitigen.

Bereits 1995 wurde im sog. „Gleichstellungsgesetz“ (19.07.1995, BGBl. I S. 910) festgelegt, dass stillgelegte landwirtschaftliche Flächen auch dann landwirtschaftliche Fläche bleiben, wenn sie als Kurzumtriebsplantage genutzt werden. Zwischenzeitlich wurde mit der Verordnung (EG) Nr. 1973/2004 vom 29.10.2004 die zulässige Umtriebszeit von Kurzumtriebsplantagen auf Stilllegungsflächen auf 20 Jahre festgesetzt, wobei mehrere Umtriebszeiten hintereinander möglich sind (Erzeugnisse des KN-Codes ex 0602 90 41 werden dort als schnellwüchsige Forstgehölze mit einer Umtriebsdauer von höchstens 20 Jahren beschrieben). Durch die Erhöhung der maximal zulässigen Umtriebszeit auf 20 Jahre (vorher 10 Jahre) wurde eine gesetzliche Anpassung erforderlich, die durch eine Änderung des „Gleichstellungsgesetzes“ erfolgt ist. Neben der Festlegung, dass diese Flächen weiterhin als landwirtschaftlich genutzte Flächen gelten, heißt



Abb. 3: Holzhackschnitzel

es dort: „Insbesondere bleibt das Recht, diese Flächen nach Beendigung der Stilllegungsperiode in derselben Art und demselben Umfang wie zum Zeitpunkt vor der Stilllegung nutzen zu können, unberührt.“

Kurzumtriebsplantagen können grundsätzlich sowohl auf Ackerland als auch auf Dauergrünland angelegt werden. Die Fläche erhält dadurch den Status einer Dauerkulturfläche. Gemäß Artikel 3 b Absatz 2 der VO (EG) Nr. 795/2004 gelten im Sinne von Artikel 51 der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 Stille-

gungsflächen, die mit Dauerkulturen bepflanzt sind, als beihilfefähige Flächen. Dies bedeutet, dass auf stillgelegungs-fähigen Ackerflächen angelegte Kurzumtriebsplantagen für die Aktivierung von Zahlungsansprüchen bei Flächenstilllegung genutzt werden können.

Anbau auf Flächen, für die die Energiepflanzenprämie beantragt wurde

Gemäß o. g. Verordnung (EG) Nr. 795/2004 gelten Flächen, die mit Dauerkulturen bepflanzt sind und für die die Beihilfe für Energiepflanzen beantragt wurde, als beihilfefähige Flächen. Sie kommen damit auch für die Nutzung von Zahlungsansprüchen in Betracht.



Abb. 4: Kurzumtriebsplantagen bleiben landwirtschaftliche Fläche

Flächenstatus von Kurzumtriebswäldern auf Dauergrünland

Eine mit schnellwachsenden Baumarten beplante Fläche ist von der Definition her eine Niederwaldfläche. Bei einer mit Niederwald im Kurzumtrieb beplanten Fläche handelt es sich grundsätzlich um eine Dauerkulturfläche. Bei einer Neuanlage von Niederwald im Kurzumtrieb ist daher zu beachten, dass sich hierdurch der Status Dauergrünland in Dauerkultur verändert. Dementsprechend sind die landesrechtlichen Regelungen zum Grünlandumbruch zu beachten.

Zusammenfassend ist festzuhalten:

1. Auf Stilllegungsflächen können Energiehölzer beihilfeunschädlich angebaut werden.
2. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen können Energiehölzer angebaut werden und Zahlungsansprüche aktiviert werden, wenn gleichzeitig für diese Flächen eine Energiepflanzenprämie beantragt wird.
3. Für Niederwald mit Kurzumtrieb bzw. schnellwüchsige Forstgehölze auf Stilllegungsflächen ist die Umtriebszeit auf höchstens 20 Jahre begrenzt. Die Zeit einer Aufwuchs- und Ernteperiode stellt einen Umtrieb dar. Als Nutzungsdauer ist die Zeitspanne zwischen der Pflanzung von schnellwüchsigen Forstgehölzen und deren ein- oder mehrmaliger Aberntung, Rodung bzw. die Wiederherstellung des ursprünglichen Flächenzustandes zu verstehen.

- 
4. Mehrere aufeinander folgende Beernungen im Abstand von max. 20 Jahren sind möglich.

Werden Kurzumtriebsplantagen auf Flächen angelegt, mit denen weder im Rahmen der vorgenannten Möglichkeiten Zahlungsansprüche genutzt noch die Energiepflanzenprämie beantragt wird, so bedürfen Kurzumtriebsplantagen derzeit noch einer Aufforstungsgenehmigung nach §2 BWaldG („...jede mit Forstpflanzen bestockte Grundfläche...“) – für ihre Erstanlage ist eine Aufforstungsgenehmigung (§10 BWaldG) erforderlich.

Es wird daher z. Zt. geprüft, ob durch eine Änderung des BWaldG Kurzumtriebsplantagen generell aus dem Waldbegriff herausgenommen werden können.

Weiterhin ergibt sich aus dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bei Flächengrößen über 50 ha die Verpflichtung zur Durchführung einer UVP vor der Anlage einer Kurzumtriebsplantage. Bei kleineren Flächen sind die Bestimmungen nach Landesrecht zu beachten.

2.2 Rechtliche Einordnung des Vermehrungsgutes

Da sich aus Kurzumtriebsplantagen grundsätzlich auch Wald entwickeln kann, wird bei der rechtlichen Einordnung des Vermehrungsgutes unabhängig vom Status landwirtschaftliche Fläche ein „forstlicher Zweck“ voraus gesetzt. Für Arten der Gattung *Populus* und ihre

Hybriden sind deshalb die Bestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes (FoVG) anzuwenden. Die Gattung *Salix* wird von diesem Gesetz nicht erfasst. Grundsätzlich sind bei der Vermehrung und in Verkehr bringen von Pappel- und Weidenpflanzgut auch sortenschutzrechtliche Fragen zu beachten.

Das FoVG unterscheidet quellengesichertes, ausgewähltes, qualifiziertes und geprüftes Ausgangsmaterial. Bei Vermehrungsgut, das für Kurzumtriebsplantagen vorgesehen ist, handelt es sich in der Regel um selektiertes Material bzw. Züchtungsformen (Hybriden), die vegetativ vermehrt werden. Dieses Vermehrungsgut darf nur unter der Kategorie „geprüft“ in den Verkehr gebracht werden.

- **Geprüftes Vermehrungsgut muss einen „verbesserten Anbauwert“ besitzen. Darunter versteht man Material, das sich im Vergleich zu sog. Standards (in ihren Eigenschaften bekannte Sorten) bei mindestens einem der genetischen Kontrolle unterliegenden Merkmal als überlegen und bei den anderen als mindestens gleichwertig erwiesen hat.**

Vermehrungsgut für die Begründung von Kurzumtriebsplantagen darf nur von angemeldeten Forstsamen- oder Forstpflanzenbetrieben erzeugt und gehandelt werden. Die technischen Einzelheiten sowie eine Liste der zugelassenen Sorten der für den Kurzumtrieb geeigneten Baumarten sind über die zuständigen Landesstellen erhältlich.

2.3 Baumarten und Standorte

Nach den vorliegenden Ergebnissen kommen für die Bewirtschaftung im Kurzumtrieb derzeit bestimmte Pappel- und Weidearten sowie Hybridformen in Betracht. Durch ihre Raschwüchsigkeit in der Jugend und die Fähigkeit vom Stock auszuschlagen, sind sie verschiedenen anderen Waldbaumarten in der Ertragsleistung deutlich überlegen.

In Abb. 5 wird das starke Jugendwachstum der Pappeln im Verhältnis zu den Baumarten Buche, Eiche und Erle im konventionellen Anbau deutlich. Die in kürzeren Umtriebszeiten von 1–10

Jahren im Feldversuch ermittelten Ergebnisse belegen die besondere Eignung von Hybridpappeln und einigen Weidenzüchtungen. Auch bei Vergleichsanbauten mit Birke und Robinie wurden, gemessen am Leistungspotential der Pappel, geringere Erträge ermittelt. In weiteren Anbauversuchen wird derzeit untersucht, inwieweit andere Baumarten, etwa die Robinie für den Kurzumtrieb geeignet sind. Möglicherweise können unter bestimmten Standortbedingungen wie auf schnell erwärmten leichten Böden mit geringem Wasserspeicherungsvermögen andere Rangfolgen der untersuchten Baumarten ermittelt werden.

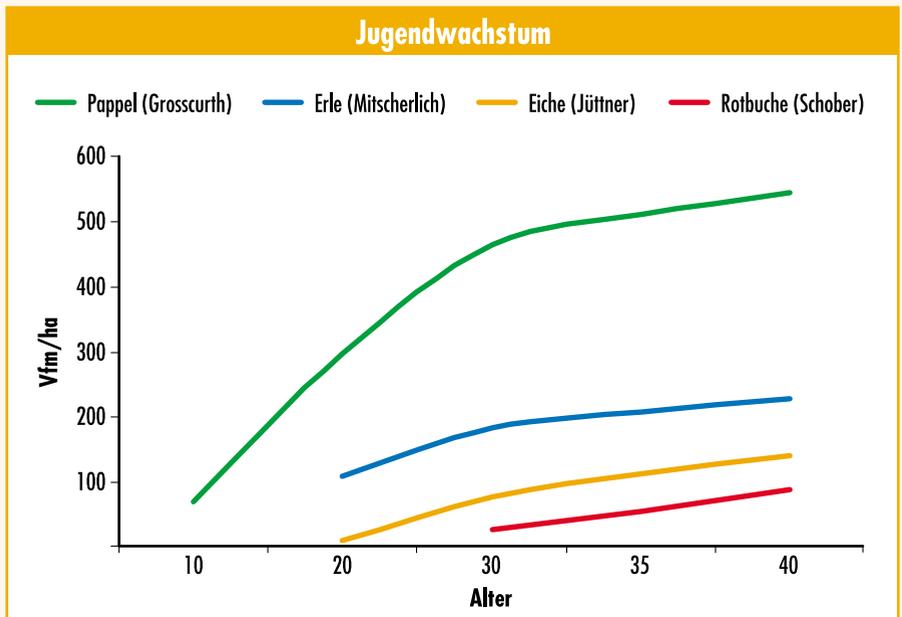


Abb. 5: Ertragstafelvergleich von Pappel, Buche, Eiche und Roterle



Als Erstbesiedler von Rohböden verfügen Pappeln und Weiden über eine Reihe spezieller Eigenschaften. So kann etwa die Samenbildung bereits mit 10 Jahren einsetzen, wobei große Mengen sehr kleiner Samen erzeugt werden, die vom Wind über weite Strecken transportiert werden können. Trotz früher und reichlicher Samenproduktion ist die vegetative Vermehrung über Pflanzenteile aber auch in der Natur ein wesentliches Verbreitungselement.

Dort, wo sich die Verbreitungsgebiete zweier Arten überlappen, ist die natürliche Hybridisierung nicht selten. Die Kreuzung von vielen Arten, auch solchen aus sehr weit auseinander gelegenen Herkunftsgebieten, ist möglich und wird seit langem zur Leistungssteigerung genutzt. Die Selektion von Arthybriden mit überlegenen Eigenschaften macht den züchterischen Fortschritt für die Praxis dauerhaft verfügbar. Über den Weg der vegetativen Vermehrung können einzelne Individuen, einschließlich Hybridklone, über lange Zeit erhalten und reproduziert werden.

Die Wahl des geeigneten Vermehrungsgutes entscheidet in hohem Maße über Erträge und Betriebssicherheit einer Kurzumtriebsplantage. An das Ausgangsmaterial werden besondere Anforderungen gestellt:

- leichte und kostengünstige Vermehrbarkeit des Pflanzenmaterials
- sicheres Anwuchsverhalten und Raschwüchsigkeit in der Jugendphase
- vollständiges Ausnutzen der Vegetationszeit bei gleichzeitiger Früh- und Spätfrostresistenz

- Konkurrenzverträglichkeit im Dichtstand und geringe phototropische Empfindlichkeit
- gutes Regenerationsvermögen auch nach mehreren Ernten
- Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Schäden

Schwarzpappeln (*P. nigra*; *P. deltoides*) stellen sehr hohe Anforderungen an Licht, Wärme und Wasser und benötigen gut durchlüftete, leicht durchwurzelbare Böden mit sehr guter Nährstoffversorgung. Staunässe, aber auch Kronendruck werden nicht vertragen. Für die Bewirtschaftung in kurzen Umtriebszeiten kommen sie in aller Regel nicht in Betracht. Diese beiden Arten sind aber von großer Bedeutung bei der Erzeugung von Hybridformen als Kreuzungseltern.

Die Balsampappelarten (bes. *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii*) sind sehr viel anspruchsloser als Schwarzpappeln. Gute Zuwachslleistungen werden auch in höheren Lagen bei nur mittlerer Nährstoffversorgung und auch noch auf wechselfeuchten Böden erbracht. Nur auf stark windexponierten Lagen kommt es auf Grund hoher Verdunstungsraten zu Wuchsstörungen. Für den Kurzumtrieb haben sich Balsampappeln und ihre Hybriden als besonders geeignet erwiesen. Sowohl die amerikanische Art *P. trichocarpa* als auch die asiatische Art *P. maximowiczii* bieten mit ihren ausgedehnten Herkunftsgebieten sehr günstige Voraussetzungen für die Auswahl anbauwürdiger Herkünfte. Die Selektion auf der Herkunftsebene vereinigt die Vorteile messbarer Leistungssteigerung mit dem

Erhalt einer relativ großen genetischen Variabilität.

Aspen (*P. tremula* und *P. tremuloides*) stellen von allen Pappelarten die geringsten Ansprüche an Boden und Klima. Auch auf staunassen oder sehr flachgründigen Böden mit mittlerer bis ungünstiger Wasser- und Nährstoffversorgung werden noch ansprechende Wuchsleistungen erreicht. Damit sind Aspen besonders für Rekultivierungsflächen geeignet. Das Potenzial besserer Standorte schöpfen sie im Kurzumtrieb nicht voll aus. Nachteilig ist die Neigung zu

flächendeckender Wurzelbrut nach Erntemaßnahmen. So erklärt sich der in Abb. 6 dargestellte starke Leistungsabfall der Aspen in der zweiten Umtriebszeit aus der Regeneration durch Wurzelbrut, mit Pflanzenzahlen bis zu 100.000 Stück/ha, die bis zur Differenzierung des Bestandes in späteren Jahren unter starker intra-spezifischer Konkurrenz stehen. Die Begründung von Flächen über Steckhölzer ist bei Aspen nicht möglich. In der Praxis muss auf bewurzelte Baumschulware zurückgegriffen werden.

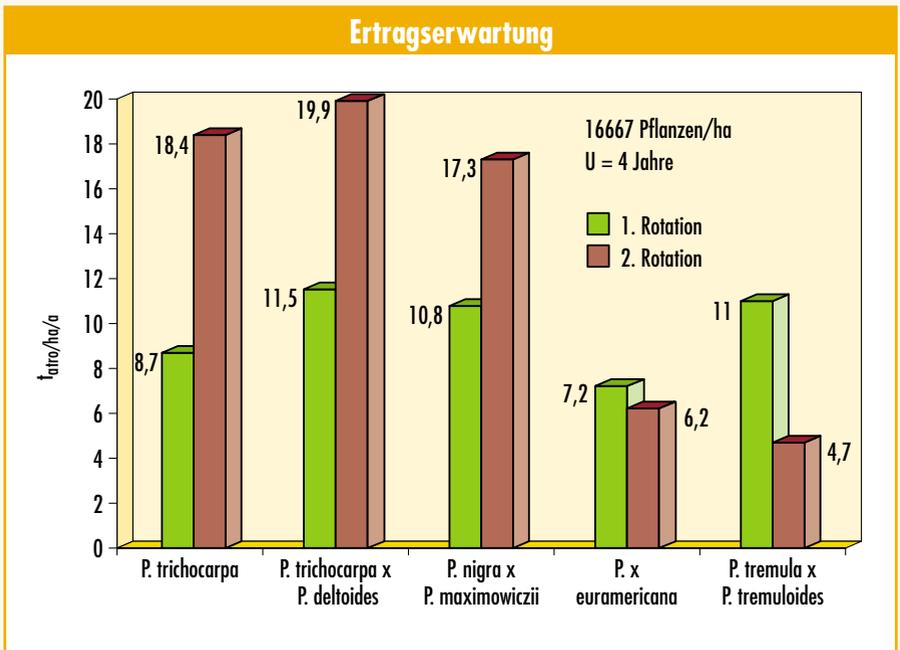


Abb. 6: Zuwäche in zwei Rotationen bei Hybridpappeln und Aspen, Versuchsfäche Abbachhof bei Regensburg



Die Vorzüge der Weide (*Salix spec.*) liegen im nahezu 100%igen Anwuchs- und Regenerationserfolg sowie in ihrer Frosthärte. Die Ertragsleistung lag in Anbauversuchen jedoch meist niedriger als diejenige der Balsampappeln. Weiterhin hat sich, zumindest auf Versuchsflächen, ein hoher Verbissdruck durch Rehwild gezeigt. Bei großflächigem Anbau könnte dieses Problem möglicherweise entschärft werden. Insbesondere einige Selektionen/Sorten von *Salix viminalis* und *Salix dasyclados* haben sich als leistungsfähig erwiesen. Inzwischen sind auch einige zuwachskräftige Sorten schwedischer Herkunft erhältlich.

Entscheidend für Anbauerfolg und hohe Ertragsleistung sind ausreichende Niederschläge in der Vegetationszeit (ab 300 mm). Mäßig frische und trockene Standorte kommen grundsätzlich nicht in Betracht. Der pH-Wert des Bodens sollte zwischen 5,5 und 6,5 liegen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen von mittlerer Güte an sind für die Kurzumtriebswirtschaft geeignet. Neben Niederschlägen von mehr als 300 mm in der Vegetationszeit und ausreichender Sommerwärme ist bei der Flächenauswahl vor allem auf einen gut durchlüfteten und leicht durchwurzelbaren Boden zu achten.

Ständiger Windeinfluss führt bei den Balsampappeln zu Zuwachseinbußen. In solchen Lagen sollte der Weide deshalb der Vorzug gegeben werden. Auch mit wechselfeuchten bis staunassen Böden kommen sie besser zurecht. Weiden können mit Erfolg von der Ebene bis in begünstigte Bereiche des Berglandes angebaut werden.

Die Einteilung der Böden mit Hilfe der in der Landwirtschaft gebräuchlichen Bodenwertzahlen gibt gute Hinweise, sie erbringt jedoch nicht immer klare Ergebnisse hinsichtlich der Eignung von Einzelstandorten. Hoch bonitierte, staunasse Marschböden können durch Sauerstoffmangel im Wurzelraum problematisch sein, während Talsande mit niedriger Punktzahl gute Voraussetzungen bieten, sofern sie nur Grundwasseranschluss mit leichtem Kalkgehalt aufweisen.

Die Anbaugrenzen für beide Ökotypen sind durch den Bodenwasserhaushalt vorgegeben. Standorte mit zeitweiligem Wassermangel sind für einen ertragreichen Anbau von Weide und Balsampappelhybriden gleichermaßen ungeeignet.





3 Initialphase

3.1 Zieldefinition

Das Produktionsziel entscheidet über die Wahl von Pflanzverband, Umtriebszeit und Ernteverfahren. Es sollte vor der ersten Flächenanlage klar definiert sein. Die Erzeugung von Energiehacksnitzeln in zwei- bis vierjährigen Zyklen setzt eine feldmäßige Behandlung mit mähender Erntetechnik und entsprechend hohen Stockzahlen voraus. Bei Nutzung der maximal möglichen Produktionszeit von 20 Jahren erfolgt eine Verlagerung des Zuwachses auf wenige, stärker dimensionierte Stämme. In solchen Beständen kommt forstliche Erntetechnik zum Einsatz.

Eine Zwischenstufe stellen Umtriebszeiten zwischen 5 und 10 Jahren dar. Hier kommt es zu Differenzierungen der Stammdurchmesser mit einzelnen Vorwüchsen, die eine Beerntung mit mähender Technik behindern. Andererseits sind die Stückmassen der Einzelstämme noch zu gering für den rationellen Einsatz von hoch mechanisierter Erntetechnik. Es lassen sich deshalb zwei Produktlinien unterscheiden:

3.1.1 Produktlinie Energiehacksnitzel, 2–4jähriger Ernteturnus

In Beständen mit Umtriebszeiten bis zu 4 Jahren ist eine hohe Stockzahl zur Er-

zielung maximaler Biomasserträge pro ha erforderlich. Nach den vorliegenden Ergebnissen können beim Anbau von Hybridpappeln 10.000 bis 13.000 Pflanzen/ha empfohlen werden, bei der Weide sind es ca. 15.000 bis 20.000 Pflanzen/ha. Dies ergibt sich aus dem unterschiedlichen Wuchsverhalten beider Ökotypen.

Auf Rückschnitte reagieren Pappeln und Weiden gleichermaßen mit der Ausbildung von mehreren Trieben pro Stock. Die Stockausschläge der Pappeln bestehen im Allgemeinen aus einem vorwüchsigen Haupttrieb und meist vier bis sechs schwächeren Nebentrieben. Dagegen weichen bei der Weide die Nebentriebe sowohl im Durchmesser als auch in der Höhe kaum vom Haupttrieb ab. Ihre Anzahl ist sortenabhängig und kann bis zu 20 betragen. In Weidenkulturen werden gute Erträge deshalb vor allem durch die Gesamtzahl der Triebe pro ha erreicht, während bei der Pappel auch in sehr kurzen Umtriebszeiten ein stärkeres Dickenwachstum ausgeprägt ist.

Innerhalb der Pflanzreihen können die Pflanzenabstände bis auf 0,4 m reduziert werden, während der Abstand zwischen den Reihen von der später einzusetzenden Erntemaschine abhängt. Die Beerntung mit selbst fahrenden Feldhäckslern setzt einen auf die Arbeitsbreite abgestimmten Doppelreihenverband voraus (s. Kap. 5 Holzernte).

3.1.2 Produktlinie Energiehack- schnittzel mit Option Industrieholz, 10–20jähriger Ernteturnus

Wegen der längeren Umtriebszeiten müssen zwangsläufig auch größere Standräume für die Pflanzen vorgesehen werden. Abhängig vom Standort ist von Mittelhöhen um 20 m und Brusthöhen-durchmessern (BHD) zwischen 15 und 25 cm auszugehen. Die Ausgangspflanzenzahlen können deshalb auf unter 1000 Pflanzen/ha reduziert werden.

3.2 Pflanzsortimente

3.2.1 Steckhölzer

Für den 2–4jährigen Umtrieb hat sich die Steckholzpflanzung als gebräuchlichste Form der Flächenanlage erwiesen. Werbung, Kühllagerung und die weitere Handhabung von Steckhölzern

sind sehr unkompliziert. Viele Arbeitsschritte lassen sich mechanisieren.

Steckhölzer stammen von einjährigen Schösslingen aus eigens zu diesem Zweck angelegten Mutterquartieren. Es sind in der Winterruhe geschnittene Sprossstücke, die i. d. R. eine Länge von 20 cm und einen Mitteldurchmesser von 10–20 mm aufweisen. Steckhölzer müssen gesund, gerade und ohne Rindenverletzungen sein. Die besten Steckhölzer stammen aus dem Mittelteil des Schösslings.

Im ausgehenden Winter (Ende Januar bis Februar) ist der günstigste Zeitpunkt für den Schnitt. Die Pflanzen sollten sich noch in der Vegetationsruhe befinden und die Knospen völlig geschlossen sein. Darüber hinaus ist neben der Verwendung von Steckholz aus einjährigen Trieben auch die Pflanzung von mehrjährigem Pflanzgut möglich (vgl. Tab. 1), das je nach Größe und Ausformung als Stechrute oder Setzstange bezeichnet wird.

Tab. 1: Vegetatives Vermehrungsgut

	Steckholz	Stechrute	Setzstange
Alter (j)	1	1–2	2–4
Länge (cm)	20	100–250	200–400 (600)
Durchmesser (cm)	1–2	1–3	2,5–5
Pflanztiefe (cm)	20	30–50	70–100
Qualität	gerade gesund gut verholzt	gerade gesund ohne Rinden- verletzung	gerade gesund ohne Seiten- zweige



Meist wird die Pflanzung nicht unmittelbar im Anschluss an die Werbung und Bereitstellung des Vermehrungsgutes erfolgen können. Optimal ist die Lagerung im Kühlhaus bei Temperaturen um den Gefrierpunkt unter Vermeidung von Wasserverlust. Für eine längere Lagerung können Steckhölzer auch in Plastikbeutel verpackt tief gefroren werden.

Nach behelfsmäßiger Lagerung im Einschlag (Sand) empfiehlt sich das Wässern des Materials unmittelbar vor der Pflanzung. Dazu stellt man die Steckhölzer für 24 – 48 Stunden in schwach fließendes Wasser. Die Pflanzung sollte unmittelbar im Anschluss erfolgen, auf jeden Fall aber bevor die Wurzelbildung einsetzt.



3.2.2 Setzstangen und Steckruten

Setzstangen sind 2–4 (6) m lange, gerade Stangen, die von Kopfpappeln oder aus Mutterquartieren gewonnen werden. Ihre Verwendung empfiehlt sich bei längerer Produktionsdauer und Stammzahlen zwischen 500–1000/ha. Auch bieten nicht alle Flächen günstige Voraussetzungen für eine Kulturbegründung nach dem Standardverfahren der Steckholz-pflanzung. Setzstangen sind bereits zum Zeitpunkt der Kulturbegründung zwischen 2 und 4 m hoch und benötigen deshalb keine Kulturpflege. Die Erzeugung von Stammholzsortimenten wird zu einem möglichen Wirtschaftsziel.

Die Stangen werden durch einfaches Abschneiden von der Unterlage getrennt (Motorsäge, Freischneidegerät). Zur Herabsetzung der Verdunstung in der Bewurzelungsphase sollten alle Seitenzweige entfernt und die Triebspitze um etwa 15–20 cm eingekürzt werden. Der Austrieb aus einer der obersten Seitenknospen ist kräftiger.

Sowohl in ihren Abmessungen als auch bezüglich der Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen sind Steckruten zwischen dem Steckholz und der Setzstange einzuordnen. Steck- oder Setzruten sind 100–250 cm lange, in der Regel einjährige Aufwüchse ohne Seitenzweige aber mit Gipfelknospe. Setzruten sollten auf 1/3 der Gesamtlänge in den Boden gebracht werden.

Abb. 7: Setzstangen erlauben auch die Produktion von Stammholz





Tab. 2: Sortenempfehlungen für Pappel und Weide

Pappel	Weide
Hybride 275 (Syn. NE 42)	Björn
Max (Mehrklonsorte)	Tora
P. koreana*	Zieverich
10/85, 20/85*	Tordis
Androscoggin	Inger
Trichobel	Sven
Muhle Larsen	

* noch nicht zugelassen nach FoVG

3.3 Sortenempfehlungen

Derzeit sind in Deutschland nur wenige Pappelsorten nach den Vorgaben des Forstvermehrungsgutgesetzes zertifiziert. Da die Zulassung neuer Sorten vorbereitet wird, enthält die nachfolgende Auflistung auch solche Sorten, die noch nicht im Handel erhältlich sind, die sich aber im Feldversuch als resistent und wuchsfreudig gezeigt haben².

3.4 Bodenvorbereitung

Voraussetzung für das Gelingen einer Steckholzpflanzung ist eine gründliche Pflanzbettherstellung durch Pflügen (ca. 25 cm) und Eggen. Der Bearbeitungszeitpunkt richtet sich nach der Vorkultur und den örtlichen Gegebenheiten. Auf Flächen mit starkem Begleitwuchs ist ein Herbizideinsatz im Herbst vor der Anlage zu erwägen. Bei bindigen Böden empfiehlt sich Herbstfurche. Leichte Böden können unmittelbar vor

der Pflanzung gepflügt werden, auch um die im Frühjahr bereits keimenden Samen der Begleitflora in einem empfindlichen Stadium in tiefere Bodenzonen unterzupflügen und zu stören. Zur Erzielung einer lockeren Krümelstruktur sollte unmittelbar vor der Pflanzung geeeggt werden. Bodenverdichtungen durch unsachgemäß ausgeführte Bearbeitungsmaßnahmen wirken sich nachteilig auf den Kulturerfolg aus.

Auch auf Grünlandflächen ist der Umbruchaufwand für eine Steckholzpflanzung unumgänglich. Werden lediglich die Pflanzstreifen gefräst, wird die erforderliche Bodenlockerung und Zerschlagung des Graswurzelfilzes zwar zunächst erreicht. Durch unmittelbar folgendes Weiterwachsen der Graswurzeln werden die Steckhölzer jedoch aufgrund starker Konkurrenz um Wasser und Licht beeinträchtigt.

² Versuchsergebnisse von: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern, Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten u. a.

3.5 Pflanzung

Bei klein parzellierter Flächenstruktur oder bei Flächengrößen bis 2 ha erfolgt die Pflanzung manuell mit Pflanzschnur und Steckweisen. Auf Standorten mit gesicherter Wasserversorgung werden die Steckhölzer mit einem Überstand von 1-2 cm gesteckt. Auf sandigen Substraten sollten sie zur Verringerung der Austrocknungsgefahr ebenerdig eingebracht oder auch leicht übererdet werden.

Herkömmliche Pflanzmaschinen mit Greifersystem für Gemüse oder Tabak können ohne Umbau eingesetzt werden. Im Vergleich des Kulturerfolges derselben Klone bezüglich Anwuchsrate und Wuchsleistung auf Versuchsflächen ergaben sich keine Unterschiede in der Qualität zwischen Handpflanzung und dem Einsatz der einen oder anderen Maschine. In Skandinavien haben sich für die Weidenpflanzung sog. Step-Planter



Abb. 8: Konventionelle Pflanzmaschine



Abb. 9: Pflanzung mit dem Step-Planter

durchgesetzt, bei denen der Steckholzschnitt in den Pflanzvorgang integriert wurde.

Verschiedentlich wurde über flaches Einlegen ganzer Ruten oder auch von Steckhölzern in Pflanzfurchen mit leichter Übererdung als eine extensive Pflanzmethode berichtet (Lay-Flat-Method; Sawing of Cuttings). Nach orientierenden Untersuchungen am Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten mit Balsampappel lässt sich damit durchaus ein Kulturerfolg erzielen. Im Vergleich zu vertikal gestecktem Material sind die Aufwüchse an der Basis gebogen und bleiben im Pflanzjahr in der Höhe um ca. 1/3 zurück.

4 Flächenmanagement

4.1 Kulturpflege

Steckholzkulturen sind zunächst pflegebedürftig. Verdämmende Begleitvegetation führt zu Wuchsstockungen und unerwünscht lückigen Kulturen. Alle Pflegemaßnahmen sollten gut auf die örtliche Situation abgestimmt und bereits vor der Flächenanlage in die jährliche Arbeitsplanung mit aufgenommen werden. Auf Flächen, die extensiv bewirtschaftet werden sollen, ist die Verwendung von Setzstangen zu erwägen.

Der Einsatz eines Totalherbizids im Herbst vor der Anlage ist meist nicht ausreichend, um den Unkrautdruck im Pflanzjahr entscheidend zu verringern. Für eine Frühjahrsbehandlung, die in jedem Fall vor der Flächenanlage erfolgen muss, ist für einen guten Bekämpfungserfolg noch zu wenig Blattmasse vorhanden. Bodenherbizide können unmittelbar nach der Pflanzung ausgebracht werden. Wichtig ist, dass die Knospen zum Anwendungszeitpunkt noch völlig geschlossen sind. Je nach dem zu erwartenden Artenspektrum der Begleitvegetation können mit der Ausbringung von Bodenherbiziden nachfolgende Pflegemaßnahmen deutlich eingeschränkt werden.

Insbesondere dichte Grasdecken können eine starke Wasserkonkurrenz für die Kulturpflanze darstellen und bieten gleichzeitig Lebensraum für Schädlinge. Vor allem die Quecke (*Elymus repens* L.

Gould.) hat sich als ein Kulturhindernis erwiesen, das jedoch mit Gräserherbiziden effektiv bekämpft werden kann.

Vor der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Kurzumtriebsplantagen ist eine Genehmigung nach § 18b Pflanzenschutzgesetz einzuholen

Folgende Herbizide wurden mit Erfolg eingesetzt. Es kann allerdings weder in Bezug auf die Wirkung noch auf die Kulturverträglichkeit Gewähr gegeben werden. Die Nennung der Handelsnamen erfolgt aus rein praktischen Erwägungen. Möglicherweise sind andere Mittel mit gleichem oder vergleichbarem Wirkstoff preisgünstiger bei gleichem Erfolg.

Totalherbizid (auf Grünbrache im Herbst vor der Flächenanlage)	Roundup
Bodenherbizide	Bacara, Kerb 50 W, Gardo Gold
Nachauflaufmittel	Tankmischung Lontrel 100 u. Betanal
Gräsermittel	Fusilade ME, Select



Die Kombination aus chemischer und mechanischer Begleitwuchskontrolle, die gut auf die jeweilige Situation, wie Vorkultur, Artenspektrum der Krautschicht und deren Deckungsgrad abgestimmt sein sollte, kann empfohlen werden. Mechanische Pflegemaßnahmen wie Grubbern oder Fräsen erbringen zusätzliche Vorteile durch Bodenlockerung. Im zweiten Standjahr einer etablierten Kultur sind in der Regel keine Pflegemaßnahmen mehr erforderlich.

4.2 Rückschnitt

Ein Rückschnitt nach der ersten Vegetationsperiode ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur dann lohnend, wenn das Rückschnittmaterial für eine Flächenerweiterung genutzt werden soll. Aus ertragskundlicher Sicht kann der Rückschnitt nicht empfohlen werden.

4.3 Nährstoffentzug und Düngung

Bei Düngerversuchen (N, P, K, Ca und Mg) über einen 10jährigen Beobachtungszeitraum auf unterschiedlichen Standorten (Oberpfälzer Jura, mittlerer Buntsandstein Nordhessens, leichte Böden der Norddeutschen Tiefebene) zeigte sich die Stickstoffnachlieferung aus den Mineralisierungsprozessen im Boden als ausreichend für eine gute Stickstoffversorgung der Balsampappeln. Hier konnte mit Düngung keine signifikante Zuwachssteigerung erzielt werden. Dagegen reagierte die Weide (*Salix viminalis*)

mit einem bis zu 35%igen Mehrzuwachs auf Stickstoffgaben von 50 kg N/ha/a. Düngung mit 100 kg N/ha/a steigerte die Biomasseproduktion der Weide um 75 bzw. 46% (1. bzw. 2. Rotation).

Die schwache Reaktion der Balsampappel auf Stickstoffdüngung steht sicherlich mit der intensiveren Ektomykorrhizierung der Pappeln in Zusammenhang. Versuche mit kontrollierter Mykorrhizierung ergaben signifikant positive Effekte auf das Höhen- und Dickenwachstum bei verschiedenen Balsampappeln.

Die durchschnittlichen jährlichen Entzüge betragen für

- Phosphor 3–9 kg/ha,
- Kalium 6–36 kg/ha,
- Magnesium 1–5 kg/ha

und waren damit gemessen an den Vorräten niedrig.

Bei längerer Standzeit einer Plantage ist eine Kompensationsdüngung auch in der Pappel sicherlich zweckmäßig. Nach den vorliegenden Ergebnissen handelt es sich dabei aber nicht um einen maßgeblichen Kostenfaktor.

4.4 Biotische Risiken

4.4.1 Wild

Mit der Anlage einer Kurzumtriebsplantage wird ein neues, erfahrungsgemäß sehr interessantes Äsungsangebot für Rehwild geschaffen. Zwar sind bestimmte Sorten, wie etwa die Mehrklonsorte ‚Max‘ erheblich weniger gefährdet als andere Hybriden. Dennoch empfiehlt es sich in Gebieten mit hoher Wilddichte und bei

kleineren Einzelflächen, entsprechende Schutzmaßnahmen einzuplanen. Dies betrifft insbesondere Weidenkulturen. Alternativ zum Zaunschutzz können in Beständen mit niedriger Pflanzenzahl (10–20 jähriger Umtrieb) auch Verbisschutzmittel (Cervacol, Arcotal, Weißteer, u. a.) ausgebracht werden. Die genannten Mittel sind zugelassen gegen Winterverbiss an Laub- und Nadelholz durch Reh- und Rotwild.

4.4.2 Mäuse

Während von den oberirdisch anzutreffenden Mäusen keine Gefahr für die Kulturen ausgeht, kann der Wurzelfraß der Schermaus (*Arvicola terrestris* L.) bestandsbedrohende Schäden nach sich ziehen. Die Anwesenheit der Maus ist an den die Bodenoberfläche leicht aufwölbenden, flachstreichenden Gängen erkennbar, in die man beim Begehen der Fläche einsinkt. Auch das Schadbild ist durch schräg stehende Pflanzen mit abgenagtem Wurzelwerk, welche sich leicht aus dem Boden ziehen lassen, nicht verwechselbar.

Mit Köderlegegeräten, wie sie im Obstbau Verwendung finden, kann die Schermaus effektiv bekämpft werden. Durch ausreichende Feldhygiene sollte eine Massenvermehrung allerdings von vornherein ausgeschlossen sein.

4.4.3 Pappelblattrost

Eines der wichtigsten Betriebsrisiken ist der Befall mit Blattrostpilzen. Die Schädigung kann bis zum Absterben ganzer Bestände führen. Bei den Erregern des



Abb. 10: Pappelblattrost

Pappelblattrostes handelt es sich um mehrere Pilzarten aus der Gattung *Melampsora*, deren Auftreten sich zunächst durch einen mehr oder weniger dichten, orange-gelben Belag auf der Blattunterseite bemerkbar macht. Die *Melampsora*-Arten unterscheiden sich durch verschiedene Zwischenwirte wie Lärche, Kiefer, *Allium*- und *Arum*-Arten. Eine Behandlung mit Fungiziden ist zwar grundsätzlich möglich, sie erscheint aber unter den bei uns bestehenden Rahmenbedingungen in ökologischer wie in ökonomischer Hinsicht praxisfern. Die Sortenwahl sollte deshalb streng nach den Gesichtspunkten der Rostresistenz vorgenommen werden. Bei der Züchtung neuer Sorten wird diesem Aspekt besondere Bedeutung beigemessen.

4.5 Bewirtschaftung in den Folgerotationen

Obwohl die Begleitflora auf den Flächen stets in Form von Diasporen im Boden vorhanden ist, stellt sie nach Erntemaßnahmen keinerlei Konkurrenz für die Stockausschläge mehr dar. In Pappelbeständen haben Pflegemaßnahmen in späteren Kulturstadien deshalb keine Ertrag steigernde Wirkung, während in Weidenkulturen (Schweden) eine Herbizidbehandlung nach den Ernten die Regel ist. Unter dem lichten Laubdach der Weide bleibt die Begleitvegetation auch langfristig vitaler als in den stärker geschlossenen Pappelbeständen. Nach den Erfahrungen aus bisherigen Versuchsanbauten kann von einer Plantagenstandzeit von mindestens 25–30 Jahren ausgegangen werden.



Abb. 11: Wurzelbeseitigung mit Forstfräse

4.6 Stockrodung

Die Rückführung einer Plantage in ackerfähigen Zustand durch Stockrodung und vollflächige Bodenbearbeitung ist technisch unproblematisch und wurde an einer 10 ha großen Versuchsfläche nach 10jähriger Plantagenstandzeit erprobt. Dazu wurde ein Verfahren gewählt, bei dem die Wurzelstöcke zer schlagen und in den Boden eingefräst werden. Bei einer Arbeitsbreite von 1,2 m griff die eingesetzte Bodenfräse, (AHWI RF 700) ca. 40 cm in den Boden ein. In einem zweiten Arbeitsgang kam ein AHWI-Anbaumulchgerät mit 2,2 m Arbeitsbreite zum Einsatz. Es wurde vollflächig gefräst.

Im Anschluß an diese Maßnahmen wurde *Phacelia* als Zwischenfrucht eingesät und im Herbst eine reguläre Feldbestellung mit Winterweizen vorgenommen. Die erste Weizenernte nach 10jähriger Kurzumtriebsplantage war überdurchschnittlich.



Abb. 12: Rekultivierter Bestand

5 Holzernte

Gegenüber der Holzernte in der Forstwirtschaft bietet der Kurzumtrieb einige verfahrenstechnische Vorteile. Die vollflächige Nutzung in sehr homogenen Beständen erleichtert den Einsatz von hoch mechanisierten Ernteverfahren und die Flächen sind mit der üblichen Landtechnik gut befahrbar. Dennoch bilden die Erntekosten mit einem Anteil von ca. 2/3 an den Gesamtkosten den zentralen Faktor für die Wirtschaftlichkeit des Produktionssystems Kurzumtrieb (s. Kap. 6). Hier liegen noch erhebliche Rationalisierungspotenziale, deren Identifikation und Nutzung noch bevorsteht.

Folgende Anforderungen werden an die Erntetechnik gestellt

- hohe technische Durchsatzleistung
- Bodenschonung
- geringe Ernteverluste
- möglichst homogene Qualität des Erntegutes
- keine Fremdstoffe

Grundsätzlich erfolgt die Holzernte im Winterhalbjahr, also während der Vegetationsruhe. Dies gewährleistet einen vitalen Stockausschlag und erlaubt meist auch ein Befahren der Flächen bei günstigem Bodenzustand, im Idealfall während stabiler Frostperioden. Die motormanuelle Ernte kann bei mehrtriebigen Stockausschlägen aufgrund geringer Leistungsfähigkeit und der Unfallrisiken nicht empfohlen werden. Ob eine selbst fahrende Maschine oder ein Anbaugerät

gewählt wird, hängt von der betrieblichen und der überbetrieblichen Struktur ab. Zur Nutzung der Kostendegression empfiehlt sich bei selbst fahrenden Maschinen ein überbetrieblicher Einsatz.

Arbeitsschritte bei der Holzernte

- Fällen
- Vorkonzentrieren
- Rücken
- Hacken

Integrierte Ernteverfahren kombinieren alle auszuführenden Arbeitsschritte auf einem Trägerfahrzeug. Sie zeichnen sich durch mähende Fälltechnik aus und setzen eine feldartige Kulturführung voraus. Bei den gelösten Verfahren verteilen sich die Schritte Fällen, Vorkonzentrieren, Rücken sowie Hacken auf verschiedene Trägerfahrzeuge.

Neben einer Vielzahl an Prototypen, die entweder als Fäller/Bündler oder als Häcksler konzipiert sind, stehen inzwischen zwei integrierte Erntesysteme zur Verfügung.

Der Landmaschinenhersteller Claas hat einen speziellen Erntevorsatz („Salix Gebiß“) zum Anbau an den Feldhäcksler Jaguar entwickelt, mit dem bis zu 4jährige Pappel- und Weidenbestände beerntet werden können. Das Gerät befindet sich seit 1993/94 im praktischen Einsatz und wurde seitdem technisch verbessert. Die Maschine erntet mit Fahrgeschwindigkeiten bis 6 km/h in 3jährigen Weidenbeständen. Hohe Flächenleistung setzt einen auf die Ar-

beitsbreite des Feldhäckslers abgestimmten Doppelreihenverband voraus. In Schweden beerntet ein Aggregat ca. 400 ha Weide pro Saison, es sind dort mehrere Aggregate im Einsatz. Somit kann die Holzernte mit dem Feldhäckler als praxiserprobt gelten.

Für den Göttinger Gehölmähhäckler, eine Gemeinschaftsentwicklung des Hessischen Forstamtes Diemelstadt und dem Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen gilt dies noch nicht in gleichem Maße. Der Mähacker wurde bislang nur versuchsweise in verschiedenen Modifikationen eingesetzt. Er ist als Anbaugerät an einen konventionellen landwirtschaftlichen Schlepper konzipiert. Die Maschine arbeitet einreihig indem die Aufwüchse von einem 6 mm starken Kreissägeblatt abgeschnitten und anschließend in einen senkrecht arbeitenden Schneckenhacker eingezogen und dort zerkleinert werden. Die Eigenrotation des Hackers befördert das Hackgut durch ein Auswurfrohr in einen parallel gezogenen Anhänger. Die Ernteleistung reicht bis zu 15 t feldfrischer Biomasse pro Maschinenarbeitsstunde. Die Maschine ist ausgelegt auf Stärken bis zu 8 cm Durchmesser an der Stammbasis. Durch den Abstand der Schnecken spiralen ergibt sich die theoretische Hackschnitzzellänge, sie ist nicht veränderbar. Bei ungünstigem Einzugswinkel kommt es zu Überlängen im Hackgut.

Beiden Verfahren gemeinsam ist die Erzeugung eines feldfrischen Hackschnitzels mit Wassergehalten um 55 % mit entsprechendem Trocknungs- bzw. Lagerbedarf zur Reduzierung des Wassergehaltes. Ab einem Wassergehalt von

30 % – 35 % gelten Holz hackschnitzel als lagerstabil. Höhere Wassergehalte setzen den Heizwert herab und begünstigen mikrobiellen Substanzabbau

Neben den Verfahren des Direktschnitzelns (direct chopping) wird deshalb weiterhin auch an sog. Fäller/Bündler Systemen (whole stick harvest) gearbeitet. Den Nachteilen des gelösten Verfahrens mit mehrmaliger Materialaufnahme steht der Vorteil gegenüber, das Hacken zu einem späteren Zeitpunkt bei reduzierter Holzfeuchte vorzunehmen. Verschiedene Versuchsergebnisse legen den Schluss nahe, dass alleine mit einer Lagerung des Erntegutes über



Abb. 13: Erntevorsatz HS2 für Claas Feldhäckler

das Sommerhalbjahr hinweg am Feldrand Wassergehalte von ca. 30 % erreichbar sind. Damit ist die direkte Beschickung der Heizwerke möglich.

TECHNISCHE DATEN

Claas Jaguar

- Feldhäcksler mit Erntevorsatz
- Fällern/Hacken 2 reihig
- Motorleistung: 260 kW
- Antrieb hydraulisch
- Effektive Schnittbreite 100 cm
- Gewicht: 1,3 t + 7,9 t (Trägerfahrzeug)
- Trommelhacker
- Feinhackgut, ca 3 cm
- Ernteleistung: 30-60 t/h
- Weide, Pappel < 8cm

TECHNISCHE DATEN

Göttinger Gehölmähhäcksler

- Frontanbaugerät an landw. Schlepper
- Fällern/Hacken einreihig
- Motorleistung > 85 kW
- Antrieb über Zapfwelle
- Effektive Schnittbreite: 56 cm
- Gewicht: 0,8 t + 6,3 t (Schlepper)
- Keilschneckenhacker (rotierender Kegelstumpf als Hackschnecke)
- Grobhackgut ca. 10 cm mit Überlängen
- Ernteleistung: 20-25 t/h
- Pappel < 8 cm
- Materialzufuhr vorzugsweise senkrecht zu den Messerschneiden
- Automatischer Einzug, Auswurf und Beförderung des Hackgutes
- Günstiger Energiebedarf durch ziehenden Schnitt
- Theoretische Schnittlänge durch die Schneckensteigung festgelegt und nicht veränderbar



Abb. 14: Göttinger Gehölmähhäcksler

Ab einem Durchmesserbereich von 15–20 cm kommen sowohl motormanuelle Arbeitsverfahren als auch voll mechanisierte Systeme in Betracht. Sofern sich die Sortimentierung auf Hackschnitzel beschränkt, können Fällern/Bündler oder sog. Hackschnitzelharvester zum Einsatz kommen. Ist der Anspruch an das Sortiment höher, beispielsweise entastete 2 m Abschnitte für die stoffliche Verwertung, bieten sich kombinierte Arbeitssysteme mit Kranvollernter und Tragschlepper an. Diese Maschinen und Dienstleistungen sind bei forstlichen Lohnunternehmen abrufbar.

6 Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Entscheidende Kriterien für die Wirtschaftlichkeit einer Kurzumtriebsplantage sind Naturalertrag, Produktionskosten und die Marktentwicklung bei Holzhackschnitzeln. Letztere wird aktuell, aber auch mittel- und langfristig positiv eingeschätzt, während Produktionskosten und Naturalertrag derzeit nur modellhaft beziffert werden können. Erst mit der Praxiseinführung der Kurzumtriebswirtschaft wird sich die Kostenseite auf einer breiteren Datenbasis darstellen lassen. Gleichzeitig lässt der flächenhafte Anbau Rationalisierungseffekte erwarten,

Tab. 3: Berechnungsgrundlagen

KUP mit Hybridpappel	
Gesamtnutzungsdauer (Jahre)	24
Umtriebszeit (Jahre)	3
Anzahl Ernten	8
Ertragsniveau 1 ($t_{\text{atro/ha/a}}$)	10
Ertragsniveau 2 ($t_{\text{atro/ha/a}}$)	12
Ertragsniveau 3 ($t_{\text{atro/ha/a}}$)	14
Pflanzenzahl (Stk./ha)	10.000
Zinsansatz (%)	5
Ernteverlust (%)	6

Kostenherleitung: Verrechnungssätze für überbetriebliche Maschinenarbeit Hessen; eigene Erfahrungswerte (Stockrodung); Erfahrungswerte aus der Hackschnitzelernte in Skandinavien (Feldhäcksler Claas)

Tab. 4: Modellkalkulation Kurzumtriebsplantage, Anbau von Hybridpappeln

	€/ha gesamt	€/ha Durchschnitt/ Jahr
Flächenvorbereitung		
Grünbrache abspritzen (21 m)	16,00 €	0,67 €
Mittelkosten (Glyphosat 5 l/ha)	26,00 €	1,08 €
Herbstfurche	107,00 €	4,46 €
Kreiselegge	46,00 €	1,92 €
Kosten Flächenvorbereitung	195,00 €	8,13 €
PFLANZUNG		
Kosten Pflanzmaterial	0,15 €	1.500,00 €
Maschinenkosten Pflanzmaschine (€/ha)	220,00 €	220,00 €
Zeitbedarf Pflanzung (h/ha)	1,5	
Arbeitskräftebedarf (AK)	4	
Lohnansatz/Akh	6,50 €	
Lohnkosten (€/ha)	39,00 €	1,63 €
Schlepperkosten mit Fahrer/h	35,00 €	
Schlepperkosten mit Fahrer/ha	52,50 €	2,19 €
Kosten Pflanzung	1.811,50 €	75,48 €

		€/ha gesamt	€/ha Durchschnitt/ Jahr
Kulturpflege			
Herbizidspritzung (1 x Bodenherbizid, 1 x im Nachauflauf)	2		
Spritzen 21m (2 Arbeitsgänge)	16,00 €	32,00 €	1,33 €
Mittelkosten Bacara (11/ha)	60,00 €	60,00 €	2,50 €
Mittelkosten Lontrel 100 (2 l/ha)	75,00 €	150,00 €	6,25 €
Kosten Kulturpflege		242,00 €	10,08 €
Σ Anlage + Pflege		2.248,50 €	93,69 €
Σ Anlage + Pflege auf 24 Jahre verzinst		7.251,64 €	302,15 €
Ernte und Transport (Ertragsniveau 1)			
Feldhäcksler Claas (15 €/t TM)	15,00 €	3.600,00 €	150,00 €
Flächenlogistik u. Transport (10 €/t TM)	10,00 €	2.400,00 €	100,00 €
Gesamterntekosten 1		6.000,00 €	250,00 €
Ernte und Transport (Ertragsniveau 2)			
Feldhäcksler Claas (15 €/t TM)	15,00 €	4.320,00 €	180,00 €
Flächenlogistik u. Transport (10 €/t TM)	10,00 €	2.880,00 €	120,00 €
Gesamterntekosten 2		7.200,00 €	300,00 €
Ernte und Transport (Ertragsniveau 3)			
Feldhäcksler Claas (15 €/t TM)	15,00 €	5.040,00 €	210,00 €
Flächenlogistik u. Transport (10 €/t TM)	10,00 €	3.360,00 €	140,00 €
Gesamterntekosten 3		8.400,00 €	350,00 €
Rückumwandlung 2 x Fräsen u. Einarbeiten mit Kreiselegge (Erfahrungswert)	500,00 €	1.000,00 €	41,67 €
Kosten Rückumwandlung		1.000,00 €	41,67 €
Σ Verfahrenskosten 1		9.248,50 €	385,35 €
Σ Verfahrenskosten 2		10.448,50 €	435,35 €
Σ Verfahrenskosten 3		11.648,50 €	485,35 €
Zinsentgang für Anfangsinvestition		5.003,14 €	208,46 €
Gesamtkosten 1		14.251,64 €	593,82 €
Gesamtkosten 2		15.451,64 €	643,82 €
Gesamtkosten 3		16.651,64 €	693,82 €

die zur Senkung der Produktionskosten beitragen werden.

Der im Folgenden vorgestellten Modellkalkulation (Tab. 3 und 4) liegt ein gestaffeltes Ertragsniveau von 10–14 $t_{\text{atro}}/\text{ha}/\text{a}$ (atro = absolut trocken) zu Grunde. Die Angabe der Trockensubstanzproduktion ermöglicht den Vergleich zum Marktfruchtanbau und wurde deshalb als Bezugsgröße gewählt. Volumenmaße wie m^3 oder Srm (Schüttraummeter) variieren in Abhängigkeit von der Hackschnittselgröße sehr stark und sind nur bei Kenntnis der aktuellen Holzfeuchte interpretierbar.

Verglichen mit den in Kap. 2.3 (Abb. 6) angegebenen, im Versuchsmaßstab erzielten Erträgen beinhaltet die Ertragsspanne 12–14 $t_{\text{atro}}/\text{ha}/\text{a}$ einen erheblichen Abschlag für Praxisbedingungen. Sie wird auch von weiteren Autoren als erzielbar bei mittleren Wasser- und Bodenverhältnissen eingeschätzt. Zur Erstellung abgesicherter Ertragsprognosen für bestimmte Einzelstandorte und regionale Betrachtungen bedarf es einer breiteren Datenbasis als sie bisher vorliegt. Diesbezüglich besteht noch Forschungsbedarf.

Die Produktionskosten lassen sich hinreichend genau eingrenzen, indem die bei der Flächenanlage und Kulturführung zu leistenden Arbeitsschritte beziffert werden. Ein spezielles Thema stellen allerdings die Erntekosten dar, die bei der Aufwandberechnung am stärksten zu Buche schlagen. Vor allem die Bedeutung einer schlagkräftigen Erntekette mit optimaler Flächenlogistik wurde in der Vergangenheit häufig unterschätzt.

Weiterhin zeigt sich rasch, dass die Investitionsentscheidung für eine Kurzumtriebsplantage auch die Entscheidung für eine möglichst lange Standzeit einschließen sollte, auf die letztlich auch die Kosten für eine Rückumwandlung umgelegt werden können. Für die Rückumwandlung in einjährige Kultur wurden pauschal 1000 €/ha angesetzt. Dies beruht auf Erfahrungswerten, die bei der Rodung einer 10 ha großen Ver-

Tab. 5: Deckungsbeitrag (€/ha) in Abhängigkeit von Ertragsniveau und Marktpreis

Erzeugerpreis (€/t _{atro})	Ertragsniveau* (t _{atro} /ha/a)		
	10	12	14
60	-30	33	96
65	17	89	162
70	64	146	227

*) bei 6 % Ernteverlust

Tab. 6: Deckungsbeitrag (€/ha) in Abhängigkeit von Ertragsniveau und Hackschnittselpreis ohne Zinsansatz

Erzeugerpreis (€/t _{atro})	Ertragsniveau* (t _{atro} /ha/a)		
	10	12	14
60	166	229	292
65	213	285	358
70	260	342	423

*) bei 6 % Ernteverlust

suchsfläche auf mittlerem Buntsandstein gewonnen wurden. Im Einzelfall sind Abweichungen nach oben oder auch nach unten möglich.

In Tab. 5 werden die Auswirkungen von Ertrags- und Preisschwankungen deutlich. Demnach ist bei einem Ertragsniveau von 10 t erst ab einem Erzeugerpreis von 65 €/t ein positiver Deckungsbeitrag möglich. Deckungsbeiträge in der Größenordnung einer üblichen landwirt-

schaftlichen Fruchtfolge (Tab. 7) setzen ein Ertragsniveau von mindesten 12 t und Erzeugerpreise über 65 €/t voraus.

Neben den Erntekosten wirkt sich bei langfristiger Betrachtung insbesondere die Verzinsung der Anfangsinvestition sehr stark auf die Gewinnsituation aus (Tab. 6). Ohne Berücksichtigung des Zinsansatzes sind bereits bei relativ niedriger Ertrags- und Preisrelation auskömmliche Deckungsbeiträge möglich.

Tab. 7: *Durchschnittlicher Deckungsbeitrag einer Getreidefruchtfolge*

		Winterweizen	Winterraps	Winterraps NAWARO	Wintergerste
Erntemenge	dt/ha	75	33	33	70
unterstellter Marktpreis	€/dt	12	23	21	10
Marktleistung	€/ha	900	759	693	700
Verfahrenskosten	€/ha	676	685	685	611
Deckungsbeitrag (DB)	€/dt	224	74	8	89
Anteil	%	33	25	9	33
anteiliger DB	€/ha	73,92	18,5	0,72	29,37
Durchschnittlicher DB	€/ha				122,51

Quelle: HMULV, Jahresbericht 2006; KTBL Datensammlung

7 Ökologische Aspekte

Mit dem Anbau einer Dauerkultur aus Pappeln geht eine Veränderung der boden- und bestandesökologischen Verhältnisse einher, die sich langfristig positiv auf die Ertragskraft der Böden auswirkt.

Das Ausbleiben der Bodenbearbeitung sorgt in Verbindung mit der leicht zersetzbaren Laubstreu und der Wurzelaktivität der Baumschicht für den Aufbau weitgehend geschlossener Stoffkreisläufe. Die Anreicherung von organischem Material ermöglicht ein aktives Bodenleben.

Auch die über der Erde zu beobachtenden Veränderungen sind positiv zu

beurteilen. Die Wind- und Erosionsschutzwirkung der Kulturen sind auch noch auf angrenzenden Flächen nachweisbar. Alle bisher angelegten Flächen haben sich als Rückzugsraum für eine Reihe von Tierarten erwiesen.

Die landschaftsökologische Beurteilung hängt stark von der Geländeform und Strukturierung ab. Allgemeingültige Regeln zur Einbindung in die umgebende Landschaft können deshalb nicht aufgestellt werden. In waldärmeren Gebieten stellen geschlossene Gehölzkomplexe mit Höhen bis zu 5 m und mehr ein bereicherndes Landschaftselement dar. Wenn äußere und innere Grenzlinien mit Hecken oder durch einfaches Belassen von Säumen gestaltet werden, müssen die Anpflanzungen nicht als Fremdkörper empfunden werden. In vielen Fällen bietet sich die Übernahme von Gehölzanflug an, so daß eine Art ökologischer Gürtel mit biotopvernetzender Wirkung um die Bestände entsteht.

Die ökologische Vielfalt eines mehrschichtigen, reich strukturierten Mischwaldes wird kaum zu erreichen sein, da nur eine Baumschicht ausgebildet wird und auch die spätere Nutzung eine gleichförmige Pflanzung der Bestände erfordert. Dennoch bedeutet die Anlage von Kurzumtriebsplantagen unter ökologischem Aspekt eine Aufwertung vorher ackerbaulich genutzter Flächen. Insofern ist die Holzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen eine ausgesprochen umweltfreundliche Form der Bodennutzung.



Abb. 15: Kurzumtriebsplantagen bieten vielfältigen Lebensraum

8 Agroforstwirtschaft

Agroforstwirtschaft ist eine Form der Landnutzung in Mischkultursystemen, die Elemente der Landwirtschaft mit denen der Forstwirtschaft kombiniert. In der Regel werden Frucht- oder Nutzholzbaumarten mit einjährigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auf derselben Fläche angebaut. Bei zusätzlicher Tierhaltung spricht man von silvopastoralen Systemen. Agroforstwirtschaftliche und silvopastorale Systeme sind insbesondere im Süden und Südwesten Europas (z. B. Korkeichen/Schweinezucht/Feldbau) verbreitet, darüber hinaus noch in tropischen Regionen. „Alley cropping“ bezeichnet den Reihenanbau von Bäumen in maschinengerechten Abständen im Wechsel mit landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in den Reihenzwischenräumen.

In einem EU-weiten Forschungsprogramm wurden in den letzten Jahren die Möglichkeiten und Grenzen der Kombination einjähriger Ackerkulturen und Baumkulturen erforscht. Demnach scheint unter bestimmten Voraussetzungen eine Steigerung der Flächenproduktivität durch Agroforstwirtschaft möglich. Es werden Mehrerträge von bis zu 30 % genannt. Bei einer Mischung aus Pappeln und Weizen wurden jeweils Hektarerträge erzielt, die im getrennten Anbau eine Fläche von 1,3 ha erfordern hätten.

In Deutschland werden derzeit an der Universität Freiburg Fragestellungen zur Agroforstwirtschaft bearbeitet (www.agroforst.uni-freiburg.de). Anhand von Beispielsgebieten werden die positiven Auswirkungen der Integration von Bäumen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild untersucht. Auch soll die Mischung von partiellen Kurzumtriebsplantagen mit langlebigen Baumarten zur Wertholzproduktion eine ökonomisch interessante Abwandlung der Kurzumtriebswirtschaft darstellen.



Abb. 16: Agroforstsysteme sind eine weitere interessante Alternative



Vorteile der Agroforstwirtschaft

- Erhöhung der Artenvielfalt, stabile Ökosysteme
- Verringerung der Bodenerosion
- Verringerung der unproduktiven Verdunstung
- Minimierung des Oberflächenabflusses
- Schattenwirkung (positiv bei Tierhaltung)
- Erleichterung der Holzernte im Vergleich zu Waldbeständen
- Erzeugung von hochwertigem Nutzholz mit homogener Struktur
- Positive Auswirkungen auf das Landschaftsbild

Nachteile und Risiken

- Gefahr von Stammschäden durch landwirtschaftliches Gerät mit dem Risiko der späteren Holzentwertung infolge Fäulnis
- Erhöhter Arbeitsaufwand bei Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Unterkultur
- Ertragsminderung bei der landwirtschaftlichen Unterkultur
- Anfängliche Verringerung der Flächenproduktivität; mit Wertholzertrag ist frühestens in Produktionszeiträumen ab 50 Jahren zu rechnen

Grundsätzlich stehen Sträucher und Bäume in Konkurrenz zur landwirtschaftlichen Unterkultur um Licht, Wasser und Nährstoffe. Bezüglich günstiger Artenzusammensetzungen und deren optimale räumliche und zeitliche Kombination in Abhängigkeit von Standort und Wirtschaftsziel besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Im Rahmen des EU-Förderprogramms zur Entwicklung des ländlichen Raumes ELER wird die Ersteinrichtung von Agrarforstsystemen auf landwirtschaftlichen Flächen gefördert.



9 Umrechnungszahlen

Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Heizwert

Wassergehalt in %	Heizwert in kWh/kg	
	Laubholz	Nadelholz
0	4,9	5,2
5	4,62	4,91
10	4,34	4,61
15	4,06	4,32
20	3,78	4,02
25	3,51	3,73
30	3,23	3,44
35	2,95	3,14
40	2,67	2,85
45	2,39	2,55
50	2,11	2,26
55	1,83	1,97
60	1,55	1,67

Maßeinheiten von Holz und Umrechnungsfaktoren

	fm Holz	rm Holz	Sm ³ Hack-schnitzel
1 fm Holz	1	1,43	2,5
rm Holz	0,7	1	1,75
Sm ³ Hack-schnitzel	0,4	0,57	1

Umrechnungszahlen der Raummaße

1 Festmeter (fm)
= 1,4 Raummeter/Ster (rm)
= 2,5 Schüttraummeter (Srm) Schnitzel

Heizwert Pappel (Atrogewicht: 419 kg/fm)

Wassergehalt %	Unterer Heizwert kWh/kg	Festmeter		Raummeter		Schütt-kubikmeter	
		kg	kWh	kg	kWh	kg	kWh
15	4,057	482	1956	338	1369	193	782
20	3,779	513	1937	359	1356	205	775
25	3,5	547	1913	383	1339	219	765
30	3,222	586	1888	410	1321	234	755
35	2,943	631	1856	441	1299	252	742
40	2,664	683	1821	478	1275	273	728
45	2,386	745	1778	522	1245	298	711
50	2,107	820	1728	574	1209	328	691
55	1,829	910	1665	637	1165	364	666
60	1,55	1025	1589	718	1112	410	636

Mittelwerte für Mengenbestimmungen

Maßeinheit	Holzart	Wassergehalt (%)	Sm ³	t	t _{atro}	MWh
1 Sm ³ Hackschnitzel-Volumen	Fi	15	1	0,2	0,17	0,876
		30	1	0,25	0,17	0,847
		45	1	0,31	0,17	0,819
	Bu	15	1	0,32	0,27	1,298
		30	1	0,39	0,27	1,252
		45	1	0,49	0,27	1,18
1 t Hackschnitzel-Frischgewicht	Fi	15	5	1	0,85	4,38
		30	4	1	0,68	3,388
		45	3,2	1	0,55	2,621
	Bu	15	3,1	1	0,85	4,024
		30	2,6	1	0,69	3,255
		45	2,1	1	0,55	2,478
1 t _{atro} Hackschnitzel-Trockensubstanz	Fi	15	5,88	1,18	1	5,151
		30	5,88	1,47	1	4,98
		45	5,88	1,82	1	4,816
	Bu	15	3,7	1,18	1	4,83
		30	3,7	1,44	1	4,632
		45	3,7	1,81	1	4,366
1 MWh	Fi	15	1,14	0,228	0,194	1
		30	1,18	0,295	0,2	1
		45	1,22	0,382	0,208	1
	Bu	15	0,77	0,248	0,208	1
		30	0,8	0,307	0,215	1
		45	0,85	0,403	0,229	1



Gewicht und Heizwert in Abhängigkeit von Volumen und Wassergehalt

Wassergehalt in %	Raumgewicht in kg/Srm				Heizwert in kWh/Srm			
	Buche	Eiche	Kiefer	Fichte	Buche	Eiche	Kiefer	Fichte
0	222	224	172	151	1086	1100	896	784
15	261	264	203	178	1059	1072	876	767
20	277	280	216	188	1048	1062	867	759
25	296	299	230	201	1036	1049	858	750
30	316	320	246	216	1022	1034	846	740
35	341	345	265	232	1005	1018	834	729
40	369	374	287	251	986	998	818	716
45	403	408	314	274	963	975	801	700
50	443	449	345	302	936	948	780	682
55	492	499	383	335	902	914	754	659
60	554	561	431	377	860	872	721	631

1 Liter Heizöl hat einen Heizwert von 10 kWh. 1 Srm Fichtenhackschnitzel (WG 30 %) hat den Heizwert von 74 Litern Heizöl, die Buche liegt mit 102 Litern deutlich höher.

Quelle: LWF

Mittlere Heizwerte von lufttrockenem Holz (Basis: 15 % Luftfeuchte)

Baumart	Heizwert		
	kWh/fm	kWh/rm	kWh/kg
Laubholz			
Birke	2.700	1.900	4,3
Buche	2.800	2.100	4,0
Eiche	2.900	2.100	4,2
Pappel	1.700	1.200	4,1
Weide	2.000	1.400	4,1
Nadelholz			
Fichte	2.100	1.500	4,5
Kiefer	2.300	1.700	4,4

Quelle: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (verändert)



10 Weiterführende Literatur

Bach, I. (1996): State approval of Varieties and certification of reproductive Materials in Hungary. In: Tóth, B. (ed.): Poplar And Willow Growing In Hungary. Forest Research Institute. Budapest, Hungary.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (2005): Anbau von Energiewäldern, LWF Merkblatt 19, Freising.

Bemann, A. & Große, W. (1996): Naturnahe Flächenbewirtschaftung zur energetischen Verwertung von Biomasse im Forst- und Agrarbereich. Tagungsband „Energetische Nutzung Nachwachsener Rohstoffe“. Freiberg: 9-12.

Boelcke, B. & Kahle, P. (2000): Leistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Nordosten Deutschlands und erste Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften. Die Holzzucht, 53. Jg: 5-11.

Boelcke, B. (2006): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen, Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.)

Bohnsen, J. & Friedrich, E. (1990): Züchterische Maßnahmen zur Steigerung und Sicherung der Produktion und anbautechnische Untersuchungen zur Biomasseproduktion in forstlichen

Schnellwuchsplantagen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 03C176 5. Hann. Münden.

Burger, F. (1996): Praxiserfahrung bei der Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen. In: Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung. Beiträge eines Fachgesprächs. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. Nr. 8. S. 19-28. Freising.

Carmen e.V. (Hrsg.) (2005): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. Online im Internet URL <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html> [Stand 16.07.2005].

Dickmann, D. I. (2001): An overview of the genus Populus. In: D. I. Dickmann; J. G. Isebrands; J. E. Eckenwalder; J. Richardson (eds.): Poplar Culture in North America. Part A Chapter 1. NRC Research Press. National Research Council of Canada, ON K1A 0R6. Canada: 1-42.

Döhler, H. et.al. (2006): Energiepflanzen - KTBL-Datensammlung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, Leibnitz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Potsdam

Eckenwalder, J. E. (1996): Systematics and Evolution of Populus. In: R. F. Stettler; H. D. Bradshaw, Jr.; P. E. Heilman; T. M. Hinckley (eds.): Biology of Populus



and its implications for management and conservation. Part I, Chapter 1. NRC Research Press. National Research Council of Canada, Ottawa, ON. Canada: 7-32.

Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (1999): Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“ – Zusammenfassender Abschlussbericht, Schriftenreihe: Nachwachsende Rohstoffe Bd. 13, Münster.

Fröhlich, H. J. & Grosscurth, W. (1973): Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Bd. 10. J. D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt/M.

Fritsche et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht des BMU-Forschungsvorhabens. Darmstadt.

Hartmann, H. & B. Meyer (1997): Rekul-tivierung von Kurzumtriebsplantagen. In: Landtechnik. 52 1/97. S. 26-27.

Hartmann, H. & K. Thuneke (1997): Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen. Maschinenerprobung und Modell-betrachtungen. Freising.

Hartmann, H. & M. Kaltschmitt (Hrsg.) (2001): Bereitstellungskonzepte. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken, Verfahren. S. 123-145. Berlin.

Hartmann, H. (2002): Grundlagen der Kostenanalyse. In: Hartmann, H.; Kalt-

schmitt, M. (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“. Bd. 3. S. 484-486. Münster.

Hartmann, H. (2002): Kosten der Energiegewinnung aus Biomasse. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“. Bd. 3. S. 486-527. Münster.

Hofmann, M. (1995): Schnellwachsende Baumarten für den Kurzumtrieb – Aspekte der Pflanzenzüchtung und Ergebnisse zur Kloneignung auf verschiedenen Standorten. Die Holzzucht, 49. Jg: 3-8.

Hofmann, M. (1998): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Merkblatt 11 Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten. Hann. Münden.

Hofmann, M. (2002): Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Merkblatt 12. Hann. Münden.

Hofmann, M. (2005): Pappeln als nachwachsender Rohstoffe auf Ackerstandorten – Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl in: Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden, Band 8, Göttingen



Institut für Agrartechnik Bornim (Hrsg.) (2004): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Potential, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie. Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 35. Potsdam-Bornim.

Jug, A. (1997): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts. München.

Kauter, D.; I. Lewandowski & W. Claupein (2001): Pappeln in Kurzumtriebswirtschaft: Eigenschaften und Qualitätsmanagement bei der Festbrennstoffbereitstellung – Ein Überblick. Pflanzenbauwissenschaften. 5 (2). S. 64-74.

Küppers, J. G.; J Schweinle; C. Thoroé & H.-J. Wippermann (1997): Betriebswirtschaftliche und erntetechnische Begleitforschung zum Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. Hamburg.

Larsson, S. & Neumeister, C. (2004): Großflächiger Anbau von Kurzumtriebs-Weiden in Schweden. In: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35: 53-59.

Lewandowski, I. (2001): Energiepflanzenproduktion. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken, Verfahren. 57-93. Berlin.

Liesebach, M. & Zaspel, I. (2004): Genetic diversity of *Melampsora* willow rusts in Germany. In: M. H. Pei & A. R. McCracken (eds.): Rust Diseases of Willow and Poplar. CAB International. Wallingford, UK.

Mann, S. (1998): Nachwachsende Rohstoffe, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

Marutzky, R. & Seeger, K. (1999): Energie aus Holz und anderer Biomasse. Grundlagen, Technik, Entsorgung, Recht. Leinfelden-Echterdingen.

Pallast, G. et al. (2005): Schnellwachsende Baumarten – Chance für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum? Discussion Paper 2005.3 Institute for Agricultural Policy, Market Research and Economic Sociology, University of Bonn.

Plaggenborg, B. (1989): Schnellwachsende Weichlaubhölzer im Kurzumtrieb. In: Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland, Band 5, Wardenburg.

Scholz, V. (1999): Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Potsdam-Bornim.

Scholz, V. (2004): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35, Potsdam-Bornim.

Schulzke, R.; Lange, O. & Weisgerber, H. (1990): Pappelanbau. Bonn.



Technische Universität Dresden, Institut für Internationale Forst- und Holzwirtschaft (2006): Tagungsband der 1. Fachtagung: Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen, Tharandt/Sachsen.

Teepe, R. (1999): Quantifizierung der klimarelevanten Spurengasflüsse Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) beim Anbau der nachwachsenden Rohstoffe Pappelholz und Rapsöl. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 158.

Unsel, R. (1999): Kurzumtriebsbewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden, Biomassenproduktion und bodenökologische Auswirkungen verschiedener Baumarten. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau. Shaker Verlag, Aachen.

Vetter, A., Werner, A., Reinhold, G. (2002): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.

Vetter, A. (2004): Bereitstellungsketten und Kosten Land- und Forstwirtschaftlicher Biomassen zur Produktion von BTL-Kraftstoffen. <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/btl2004/Vetter.pdf> [Stand 17.08.2005]

Wagner, K. & Wittkopf, S. (2000): Der Energieholzmarkt in Bayern. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft Nr. 26. Freising.

Relevante Informationen finden sich auch unter www.energiepflanzen.info

11 Ausgewählte Beratungsinstitutionen

Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abt. Waldbewirtschaftung – Betriebswirtschaft, Forsttechnik und Holz, Am Hochanger 11, 85354 Freisingen

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg

Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich Forstwirtschaft, Alfred Möller Str. 1, 16225 Eberswalde

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB e. V.), Abt. Landwirtschaftliche und Forstliche Rekultivierung, Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde

Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Agrartechnik, Gutenbergstraße 33, 37075 Göttingen

Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e. V., Am Sande 20, 37213 Witzenhausen

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Dorfplatz 1, 18276 Gülzow

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Abteilung 3, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau, Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Referat 430, Apoldaer Str. 4, 07778 Dornburg

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Außenstelle Forchheim, Sachgebiet Nachwachsende Rohstoffe, Kutschenweg 20, 76287 Rheinstetten

Wissenschaftszentrum Straubing, Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie, Weihestephaner Steig 22, 85350 Freising

Landwirtschaftszentrum Haus Düsse (LZ), Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, OT Ostinghausen, 59505 Bad Sassendorf

Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau e. V., Karl-Tesche-Str. 3, 56073 Koblenz

Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe 3N, Geschäftsstelle, Kompaniestr. 1, 49757 Werlte

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) Fachhochschule Trier / Umwelt Campus Birkenfeld, Postfach 1380, 55761 Birkenfeld



Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel. : 038 43/69 30-0
Fax: 038 43/69 30-1 02
info@fnr.de • www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Gedruckt auf Papier aus Durchforstungsholz
mit Farben auf Leinölbasis