



Nachhaltige Kurzumtriebsplantagen

Ein Handbuch

- Autoren: Ioannis Dimitriou & Dominik Rutz
- Übersetzer: Merlin Austen, Dominik Rutz
- Mitwirkende: Rita Mergner, Stefan Hinterreiter, Laurie Scrimgeour, Ioannis Eleftheriadis, Ilze Dzene, Željka Fištrek, Tomáš Perutka, Dagnija Lazdina, Gordana Toskovska, Linda Drukmane
- Editor: Dominik Rutz
- ISBN: 978-3-936338-37-9
- Übersetzung: Die Originalsprache dieses Handbuches ist Englisch. Es steht außerdem in folgenden Sprachen zur Verfügung: Kroatisch, Tschechisch, Französisch, Deutsch, Griechisch, Lettisch und Mazedonisch.
- Veröffentlicht: © 2015 von WIP Renewable Energies, München, Deutschland
- Kontakt: WIP Renewable Energies,
Sylvensteinstr. 2, 81369 München, Deutschland
Dominik.Rutz@wip-munich.de, Tel.: +49 89 720 12 739
www.wip-munich.de
- Deutscher Kontakt: Biomassehof Achental GmbH & Co. KG,
Eichelreuth 20, 83224 Grassau,
s.hinterreiter@biomassehof-achental.de,
Tel.: (+49) 08641-69414-694143-12, www.biomassehof-achental.de
- Website: www.srcplus.eu
- Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Handbuches darf in irgendeiner Form ohne die schriftliche Erlaubnis des Herausgebers reproduziert oder für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Die Autoren haften nicht für die Korrektheit oder die Vollständigkeit der beschriebenen Daten und Informationen, die in diesem Handbuch enthalten sind.
- Vermerk: Die Verantwortung für den Inhalt liegt einzig und allein bei den Autoren. Dieser spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung der Europäischen Union wider. Weder die EASME noch die Europäische Kommission sind für die Verwendung der im Handbuch enthaltenen Informationen verantwortlich.

Danksagungen

Dieses Handbuch wurde im Rahmen des SRCplus-Projektes (IEE/13/574) mit der Unterstützung der Europäischen Kommission und mithilfe des von der EASME (Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises) geleiteten Intelligent Energy for Europe Programms (IEE) erarbeitet. Die Autoren danken der Europäischen Kommission für die Unterstützung des SRCplus-Projektes sowie den Gutachtern und den SRCplus-Partnern für ihren Beitrag zu dem Handbuch. Wir danken überdies der Anderson Group (Biobaler) und Wald21 sowie unseren Kollegen von der WIP und SLU für die Erlaubnis ihr Bildmaterial zu verwenden.

SRCplus Projektkonsortium



WIP Renewable Energies, Deutschland (Projektkoordinator)
Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de]
Rita Mergner [Rita.Mergner@wip-munich.de]



Biomassehof Achenal, Deutschland
Stefan Hinterreiter [s.hinterreiter@biomassehof-achental.de]



Community of Communes of Trièves, Frankreich
Laurie Scrimgeour [l.scrimgeour@cdctrieves.fr]



Centre for Renewable Energy Sources and Saving,
Griechenland
Ioannis Eleftheriadis (joel@cres.gr)



Ekodoma, Lettland
Ilze Dzene [ilze@ekodoma.lv]
Linda Drukmane [linda.drukmane@ekodoma.lv]



Energy Institute Hrvoje Požar, Kroatien
Zeljka Fistrek [zfistrek@eihp.hr]



Energy Agency of the Zlin region, Tschechische Republik
Tomas Perutka [Tomas.Perutka@eazk.cz]



Latvian State Forest Research Institute Silava, Lettland
Dagnija Lazdina [dagnija.lazdina@silava.lv]



Secondary School Car Samoil – Resen, Mazedonien
Gordana Toskovska [gtoskovska@gmail.com]



Swedish University of Agricultural Sciences, Schweden
Ioannis Dimitriou [ioannis.dimitriou@slu.se]

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen.....	2
SRCplus Projektkonsortium	3
Vorwort.....	6
1 Einleitung.....	7
2 Auswahl des Standortes	8
2.1 Anforderungen an den Standort	8
2.2 Klima.....	15
2.3 Anlage der Pflanzung	15
2.4 Gesetzgebung.....	18
2.5 Nachhaltigkeitsaspekte für die Standortwahl	19
3 Baumarten und Klone	22
3.1 Weide.....	22
3.2 Pappel.....	25
3.3 Robinie.....	27
3.4 Eukalyptus	28
3.5 Erle	29
3.6 Andere Arten	30
4 Anbau von KUPs	30
4.1 Vorbereitung des Standortes.....	30
4.2 Pflanzenmaterial	33
4.3 Die Anpflanzung.....	35
4.4 Bewirtschaftung der Plantage.....	39
5 Ernte von KUPs	43
5.1 Erträge	43
5.2 Ernteintervalle	46
5.3 Eigenschaften des geernteten Materials.....	47
5.4 Erntemethoden.....	47
5.5 Trocknung und Lagerung von Hackschnitzeln	53
6 Logistik und Transport	58
7 Beseitigung von KUPs	59
8 Verwendung von KUP-Produkten	60
8.1 Die Qualität von Hackschnitzeln	61
8.2 Möglichkeiten der Verwendung von Hackschnitzeln	64
8.3 Die Verbrennung von Hackschnitzeln und Pellets	67
9 KUPs und ihre Umweltauswirkungen	72

9.1	Phytodiversität.....	72
9.2	Zoodiversität.....	75
9.3	Boden.....	80
9.4	Wasser.....	82
9.5	Die Verwendung von Asche und Klärschlamm als Dünger	83
9.6	Agroforstsysteme	85
10	Wirtschaftlichkeit von KUPs.....	86
10.1	Beispiel 1: Weiden-KUP in Grästorp, Schweden	86
10.2	Beispiel 2: Weiden-KUP bei SIA ECOMARK, Lettland	88
10.3	Beispiel 3: Pappel-KUP in Göttingen, Deutschland	89
10.4	Beispiel 4: Weiden-KUP in der Bretagne, Frankreich	91
10.5	Beispiel 5: Weiden-KUP in Enköping, Schweden	94
	Glossar und Abkürzungen.....	97
	Lateinische und deutsche Pflanzennamen.....	100
	Generelle Umrechnungseinheiten.....	102
	Literaturverzeichnis	105

Vorwort

Biomasse spielt mit einem Anteil von fast 70% eine zentrale Rolle unter den Erneuerbaren Energien in Europa und verzeichnet ständige Zuwachsraten. In der Zukunft wird erwartet, dass die Nachfrage nach Holz als Brennstoff, Energiequelle und auch als Baumaterial schnell zunehmen wird. Diese Entwicklung wird hauptsächlich durch die Mechanismen des Marktes angetrieben, zusätzlich aber wird sie auch durch die Zielsetzungen nationaler und europäischer Energiepolitik begünstigt. Feste Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen (KUPs) kann signifikant zum Erreichen der europäischen Ziele 2020 beitragen.

Die Länder mit den momentan größten Anbauflächen von KUPs zur Energiegewinnung in Europa sind Schweden, das Vereinigte Königreich und Polen. In anderen europäischen Ländern ist die Produktion von KUPs eingeschränkt und findet nur im kleinen Rahmen statt. Es gibt aber Pläne und den politischen Willen, KUPs in der nahen Zukunft auszubauen. Deshalb ist es von großer Bedeutung, gezielte Aktionen als Anreiz und Begleitung für die Einführung lokaler KUP-Wertschöpfungsketten in anderen europäischen Ländern durchzuführen. Genau dies ist das Ziel des SRCplus-Projektes mit dem Arbeitstitel „Kurzumtriebsplantagen für lokale Wertschöpfungsketten zum Heizen“ (Short Rotation Woody Crops Plantations for Local Supply Chains and Heat Use).

Das Projekt fördert die nachhaltige KUP-Produktion in sieben verschiedenen Zielländern in Europa. Diese Zielregionen des Projektes sind:

- Achenal (Deutschland)
- Ost-Kroatien (Kroatien)
- Vidzeme (Lettland)
- Rhone-Alps (Frankreich)
- Zlin (Tschechische Republik)
- Kentriki Makedonia (Griechenland)
- Prespa (Mazedonien)

Das übergeordnete Ziel des SRCplus-Projektes ist es, die Entwicklung lokaler KUP-Lieferketten durch verschiedene Bildungsmaßnahmen und durch regionale Veranstaltungen zur Mobilisierung von zentralen Akteuren zu fördern und zu beschleunigen.

Das SRCplus Projekt begann im März 2014 und hat eine Laufzeit von drei Jahren. Das Projekt wird von dem Programm „Intelligent Energy for Europe“ der Europäischen Union (Vertragsnummer IEE/13/574) unterstützt. Das SRCplus-Konsortium umfasst 10 Partner. Koordiniert wird das Projekt von der WIP Renewable Energies in Deutschland.

Die vorliegende Veröffentlichung „Nachhaltige Kurzumtriebsplantagen – Ein Handbuch“ stellt wichtige Informationen über KUPs für die Zielgruppen des Projektes bereit: Landwirte, öffentliche Landbesitzer, Betreiber kleinerer Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung, Hackschnitzelhändler und interessierte Personen. Das Handbuch präsentiert verschiedene landwirtschaftliche Praktiken in Europa, wobei die unterschiedlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. das Klima, berücksichtigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten in Europa ist zu beachten, dass einige Beschreibungen auf andere Länder zutreffen, aber nur bedingt auf Deutschland. Besonderer Wert wurde im Handbuch auf die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungsketten gelegt. Das Handbuch wurde im Original auf Englisch verfasst und wurde in die nationalen Sprachen der Zielländer übersetzt.

1 Einleitung

Kurzumtriebsplantagen (KUPs) bestehen aus schnellwachsenden Baumarten, die mit dem Ziel kultiviert werden, möglichst hohe Erträge an Biomasse zur Energiebereitstellung in kurzer Zeit zu erzielen. Im deutschen Sprachgebrauch können in der Literatur auch die Begriffe Kurzumtriebskulturen, Schnellwuchsplantagen, Agroforstsysteme oder Energiewälder gefunden werden. Diese Begrifflichkeiten werden oft synonym verwendet, weichen aber in ihren konkreten Definitionen mitunter leicht voneinander ab.

KUPs, die nach einer kurzen Zeit abgeerntet werden, müssen entweder nachgepflanzt werden (z.B. oft bei Eukalyptus oder Robinien) oder können als Stockausschlag nachwachsen (dies ist für gewöhnlich bei Pappel und Weide der Fall).

Box 1: Was ist Stockausschlag?

„**Stockausschlag**“ (Abbildung 1) ist die Fähigkeit der ausgewählten Baumart, nach dem Zurückschneiden neue Triebe zu bilden. Dieses Handbuch richtet den Blick vor allem auf den Anbau von Bäumen die diese Eigenschaft haben. Nichtsdestotrotz können auch Arten, die nicht zum Stockausschlag befähigt sind und nachgepflanzt werden müssen für KUPs mit längerer Umtriebszeit eingesetzt werden.



Abbildung 1: „Traditioneller Stockausschlag“ wie es eine häufige Bewirtschaftungspraxis für z.B. Kopfweiden (vorne) war und „moderner Stockausschlag“ einer Kurzumtriebsplantage von Pappeln (im Hintergrund des Bildes). (Quelle: Rutz D.)

Mehrjährige KUPs bestehen aus Arten wie z.B. Erle, Esche, Scheinbuche, Birke, Eukalyptus, Pappel, Weide, Paulownie, Papiermaulbeerbaum, Robinie, Schwarzholz-Akazie, Platane und

andere mehr. In Europa sind die hauptsächlich verwendeten Arten die Pappel und die Weide. Deshalb konzentriert sich das Handbuch vor allem auf diese beiden Arten.

KUPs sind eine gute Alternative zu einjährigen Energiepflanzen und können ergänzend zum existierenden landwirtschaftlichen System angebaut werden. Die Bewirtschaftung von KUPs benötigt wenig Input. Dies impliziert generell geringe Treibhausgasemissionen, was zum einen an dem geringeren Einsatz von Chemikalien und zum anderen an dem geringeren Managementaufwand einer mehrjährigen Pflanzung liegt. Die Anwendung von Pestiziden ist zu vernachlässigen und wird in den meisten Fällen nicht angewandt. Dies liegt nicht etwa an der Abwesenheit von Insekten oder Krankheiten, sondern vor allem an dem relativ geringen ökonomischen Wert von Energiepflanzen im Vergleich zu anderen herkömmlichen landwirtschaftlichen Produkten. Ebenso ist der Bedarf an Dünger, im Vergleich zu gewöhnlichen Feldfrüchten, gering: die Düngung von Bäumen ist keine normale Praxis, überdies versorgen sich KUPs, die nur alle paar Jahre geerntet werden, zum Teil aus der abgestorbenen Blatt- und Wurzelmasse. Sogar in den Fällen, in denen eine Stickstoff-Düngung empfohlen wird, wie z.B. für Weiden, sind die empfohlenen Düngemengen beträchtlich niedriger als für herkömmliche Feldfrüchte.

Neben der Verwendung für die Energieproduktion, hat die Kultivierung von KUPs viele Vorteile gegenüber einjährigen Pflanzen. Sie helfen die Wasserqualität zu verbessern und die Biodiversität zu fördern, sie helfen wichtige Funktionen für das Ökosystem bereitzustellen (Jagd, Bienenzucht, Wasserversorgung, Feuerschutz) und sie schwächen die Gefahr einer Übertragung von Tierkrankheiten zwischen Gehölzen ab. Außerdem beugen sie Erosion vor, reduzieren den künstlichen Input (Dünger, Pestizide etc.) und mildern den Klimawandel durch Kohlenstoffspeicherung ab. Diese Vorteile müssen hervorgehoben werden, um die nachhaltige Produktion von Hackschnitzeln aus KUPs voranzutreiben und so die positiven Einflüsse von KUPs auf die Umwelt zu steigern. Dabei müssen Nachhaltigkeitsaspekte beachtet werden: KUPs haben einen außerordentlich positiven Einfluss auf Grenzstandorte, vor allem als landschaftliche Strukturelemente, z.B. als Begrenzung von Feldern, Straßen oder unter Stromleitungen. Die Nachhaltigkeit findet in dem SRCplus-Projekt besondere Beachtung (Dimitriou et al. 2014a, Dimitriou & Rutz 2014, Dimitriou & Fistrek 2014).

2 Auswahl des Standortes

Die Auswahl eines Standortes für die Errichtung einer KUP ist ein sehr wichtiger Schritt für die erfolgreiche Umsetzung. Dieses Kapitel ist nach unterschiedlichen Faktoren für eine geeignete Standortwahl gegliedert, d.h. nach den Anforderungen an den Standort, Klima, Ausgestaltung der Pflanzung und andere Aspekte.

2.1 Anforderungen an den Standort

Eine ganze Reihe von Anforderungen müssen erfüllt werden, damit ein Standort für die Anlage einer KUP geeignet ist. Die Lage des Feldes ist dabei ein wichtiger Faktor. Aber auch die vorhandene Boden- und Wasserbeschaffenheit müssen stimmen, da sie direkten Einfluss auf den Ertrag und somit auf das zu erwartenden Einkommen aus einer KUP haben. Die erwünschte Boden- und Wasserbeschaffenheit kann je nach verwendeter Baumart unterschiedlich sein. Deshalb ist die Auswahl einer geeigneten Sorte (Kapitel 3) äußerst wichtig im Hinblick auf die fallspezifischen Standortanforderungen. Im vorliegenden Kapitel wird besonders auf die generell zu beachtenden Faktoren für den Einsatz verschiedener Arten Bezug genommen. Der besondere Fokus liegt auf Weiden- und Pappel-KUPs, da bislang vor allem diese beiden Arten in der Bioenergieproduktion auf Ackerflächen zum Einsatz kommen.

Boden: KUP-Arten sind normalerweise nicht sehr anspruchsvoll, was die Bodenqualität angeht. Nichtsdestotrotz sind die Erträge auf guten Böden höher. Sie wachsen auf einem

breiten Spektrum landwirtschaftlicher Bodentypen, wobei die Produktivität, ebenso wie bei allen anderen landwirtschaftlichen Produkten, von der Bodenfruchtbarkeit, der Temperatur und dem Vorhandensein von Wasser und Licht abhängt. Böden mit pH-Werten zwischen 5 und 7,5 sorgen für ein zufriedenstellendes Wachstum. Darüber hinaus gibt es Forschungen, die auch eine Toleranz (z.B. bei Weiden und Pappeln) gegenüber pH-Werten außerhalb des genannten Spektrums nahe legen (Caslin et al., 2010). In trockeneren Gebieten ist die Wasserversorgung auf sandige Böden schwierig und weshalb diese Standorte gemieden werden sollten. Das Gleiche gilt für flachgründige Böden, die lediglich geringere Erträge liefern. Des Weiteren muss beachtet werden, dass eine anfängliche Unkrautkontrolle wichtig ist, was wiederum auf einigen Böden, wie z.B. auf organischen Böden oder Torfböden, Schwierigkeiten mit sich bringt. Mittel- bis schwere Tonlehme mit guter Durchlüftung und Feldkapazität sind ideal für den KUP-Anbau. Vor allem dann, wenn sie eine Mindesttiefe von 200-250 mm aufweisen, was eine mechanische Bepflanzung erlaubt. Die Pflanzung in Überflutungsgebieten oder empfindlichen Feuchtgebieten (Abbildung 2 und 3) muss sorgfältig abgeschätzt werden, da die Bewirtschaftung (Anpflanzen und Ernten) mit schwerem Gerät einige Herausforderungen mit sich bringen kann. Ein negativer Einfluss auf feuchte Böden könnte etwa eine Bodenverdichtung sein. Auf solchen Böden sollte der Einsatz von schweren Maschinen nur in sehr trockenen Perioden oder bei gefrorenem Boden stattfinden.



Abbildung 2: Weiden-KUP auf einem Torfabbaugelände in Weißrussland (Quelle: Dimitriou I.)



Abbildung 3: Weiden-KUP auf einem Feld mit hohem Grundwasserpegel in Schweden. (Quelle: Dimitriou I.)

Wasserverfügbarkeit: Der Wasserbedarf von KUPs ist normalerweise höher, als der von anderen Feldfrüchten, die in der gleichen Gegend angebaut werden. Deshalb sollten Gebiete mit höheren Regenmengen, mit Zugang zu Grundwasser oder anderen Arten der Wasserreserven (Gewässer, Abwässer) (siehe Abbildung 4) wenn möglich als Standort für KUPs bevorzugt werden. Einige KUP-Spezies, so wie z.B. die Weide, sind bekannt dafür sauerstofffreie Bedingungen auf Grund von Überschusswasser zu tolerieren. Es sollten aber bei der Standortwahl in jedem Fall, die mit diesen Bedingungen einhergehenden Schwierigkeiten bei der Ernte berücksichtigt werden.

Der Wasserbedarf einer KUP variiert je nach der verwendeten Baumart. Überdies sind große Unterschiede bei der Effizienz der Wasserverwertung zwischen verschiedenen Sorten, Unterarten und Klonen der gleichen Art gemeldet worden. Darum sollten die betreffenden Baumschulen und Händler des verwendeten Pflanzenmaterials, die Landwirte über die Eignung des jeweiligen Materials im Hinblick auf die Rahmenbedingungen des Standortes beraten. Besonders während der ersten Pflanzung, wenn die Wurzeln der Bäume noch nicht gut ausgebildet sind, ist genügend Bodenfeuchtigkeit wichtig, um den Erfolg der Pflanzung

zu gewährleisten. Der Zeitpunkt der ersten Anpflanzung muss gut geplant werden, da es bei Pflanzungen, die in sehr trockenen Perioden gepflanzt werden, zu beträchtlichen Verlusten kommen kann.

Vor allem in Ländern mit eingeschränkter Wasserverfügbarkeit und viel trockenen Gebieten müssen die Auswirkungen auf das Grundwasser besonders beachtet werden. Hier muss auf die Auswahl geeigneter Arten, die an wärmere Klimata angepasst sind, wie beispielsweise der Eukalyptus eingegangen werden, da diese Arten große Auswirkungen verursachen können. Dies ist umso wichtiger wenn die KUPs in einem Grundwassereinzugsgebiet großflächig angebaut werden.

Indes konnten solche ernstzunehmenden Beeinflussungen des Grundwassers für Europa bisher nicht nachgewiesen werden, da bislang nur kleine Teile entsprechender Einzugsgebiete mit KUPs angebaut wurden (Dimitriou et al., 2012a). Bei dem großen Spektrum verschiedener Landnutzungsarten in der europäischen Landwirtschaft, geht man davon aus, dass die Einflüsse auf das Grundwasser eher gering bleiben werden. Auf der anderen Seite bringen KUPs Vorteile mit sich, wenn sie in Gegenden mit intensiver Landwirtschaft als Pufferzone gepflanzt werden. Dort sind KUPs ein effektiver Mechanismus für die Speicherung überschüssiger Nährstoffe. Verringerter Nährstoffverlust und gesteigerte Gesamtverdunstung reduzieren den Eintrag gefährlicher Mengen an Nährstoffen in angrenzende Gewässer oder das Grundwasser.

Die Wurzeln von KUPs können weiter in die Tiefe wachsen als die von einjährigen Pflanzen und so den Zugang zu Wasser besser ausnutzen. Das tiefere Wurzelwachstum hat Bedenken über mögliche Beschädigungen an Entwässerungsrohren laut werden lassen. Auf Feldern, wo eine solche Form der Entwässerung installiert ist, ist tiefes Wurzelwachstum allerdings eher nicht zu erwarten, da genug oberflächennahes Wasser vorhanden ist. Wurzeln bleiben meist in den oberen 40-50 cm des Bodens. Falls das existierende Entwässerungssystem neu ist, kann der Landwirt einen anderen Standort für seine KUP wählen, um so potentielle Risiken zu minimieren. Das Alter des Entwässerungssystems sollte auf jeden Fall – vor allem in Relation zur geplanten Anbaudauer der KUP – berücksichtigt werden. Felder mit alter oder schon beschädigter Entwässerungsanlage sind für KUPs geeignet, da diese nicht ausgetauscht werden müssen.



Abbildung 4: Pappel-KUP in Südspanien, die mit kommunalem Abwasser bewässert und gedüngt wird (Quelle: Dimitriou I.)



Abbildung 5: Eine Weiden-KUP, parallel zu einem kleinen Feldweg mit gutem Zugang für Maschinen und mit breitem Rand für einfaches Management (z.B. Ernte) (Quelle: Nordh N-E.).

Zugang: KUPs sollten einen guten Zugang zu Forststraßen oder Feldwegen aufweisen (Abbildung 5), damit die Ausrüstung für die Bewirtschaftung der Pflanzung problemlos antransportiert werden kann. Generell sind Flächen mit einem Gefälle $>10\%$ nicht für größere Pflanzungen mit automatisierter Pflanzung und Ernte geeignet, vor allem dann nicht, wenn feuchte Bedingungen vorherrschen. Kleinere Plantagen auf denen motor-manuelle Pflanzungs- und Erntetechniken zur Anwendung kommen, können auch auf steilerem Gefälle eingerichtet werden. Zu besonders hohem Maschineneinsatz auf den KUP-Flächen kommt es im Winter, wenn geerntet wird. Wegen des hohen Gewichtes des geschnittenen Holzes, sollten die Flächen möglichst nah an asphaltierten Straßen liegen oder alternativ mit relativ einfachem Zugang zu festen Straßen ausgestattet sein.

Größe: Die Größe einer Anpflanzung hat beträchtlichen Einfluss auf das Management sowie auf die Logistik und die damit verbundenen Kosten einer KUP. In Abhängigkeit des Landes und des Verwendungszwecks der Pflanzung sollte die Größe einer KUP, um wirtschaftlich lohnend zu sein, mindestens 2 bis 5 ha betragen. Nichtsdestotrotz können KUPs auch auf kleineren Flächen angebaut werden (Abbildung 6), wenn z.B. weitere Plantagen in der Nähe sind und somit Synergieeffekte (z.B. koordinierte Ernte zur selben Zeit) genutzt werden können. Kleinere Pflanzungen können auch dann sinnvoll sein, wenn der Landwirt die Plantage nur für den eigenen Energiebedarf vorgesehen hat und die meiste Arbeit manuell verrichtet.



Abbildung 6: Eine kleine Weiden-KUP umgeben von landwirtschaftlichen Flächen. Da sie nahe zu anderen KUPs gelegen ist, kann sie gut bewirtschaftet werden, obwohl die Fläche im Bild relativ klein ist (2 ha). (Quelle: Nordh N-E)

Die Form der Fläche beeinflusst die Schwierigkeit und Zeitintensität des Flächen-Managements und hat dementsprechend einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Pflanzung. Lange, rechteckige Felder sind bei Anpflanzung und Ernte leichter handzuhaben, vor allem wenn die KUP im einstufigen Ernteverfahren direkt gehäckselt wird. Auch gibt es Vorteile bei einer ggf. nötigen Umzäunung gegen Tiere (z.B. Hasen, Rehwild etc.). In der Praxis werden jedoch auf solchen, gut geformten Flächen eher einjährige Pflanzen angebaut werden. Für KUPs werden häufig kleinere und unregelmäßige Flächen ausgewählt, da Input und Pflege einer KUP deutlich geringer ist als für einjährige Kulturpflanzen (JTI, 2014).

Lage in der Landschaft: Die Bewirtschaftung einer KUP hat mehr Gemeinsamkeiten mit jener von einjährigen Pflanzen, als mit der Forstwirtschaft. Dennoch fügen einige visuelle Eigenschaften, wie beispielsweise die Höhe der Bäume (je nach Baumart und äußeren Umständen bis zu 8 m nach einer Zeit von drei bis vier Jahren) sowie die Beschaffenheit einer Reihenkultur dem Landschaftsbild neue Charakteristika hinzu. KUPs schaffen neue dreidimensionale Erscheinungsbilder in der Landschaft, während einjährige Pflanzen die Landschaft eher offen halten. Deshalb können KUPs negative Einflüsse auf offene Landschaften haben. Wenn sie aber gut gestaltet und in die Landschaft integriert sind, können sie diese auch aufwerten.

Unabhängig von den jeweils geltenden gesetzlichen Bestimmungen, die beinhalten können, eine Erlaubnis der angrenzenden Landbesitzer für den Bau einer KUP einholen zu müssen, sollte es zu den guten Verhaltensregeln gehören, mit den Nachbarn in Dialog zu treten, um

schon im Vorhinein Konflikte zu vermeiden und im Gegenteil Interesse und Bewusstsein für KUPs zu schaffen.

Überdies sollte beachtet werden, KUPs nicht auf oder neben Orten von geschichtlicher Bedeutung zu pflanzen und so negative Einflüsse durch die Höhe der Bäume von vorneherein auszuschließen. Des Weiteren muss besondere Rücksicht auf Natur- und Landschaftsschutzgebiete genommen werden. Die örtliche Gesetzgebung im Hinblick auf diese Gebiete muss auf jeden Fall beachtet werden. Bei KUPs unter Hochspannungsleitungen sollte der Versorgungsbetrieb dieser Leitungen eingebunden werden. Sogar die niedrigsten KUPs können eine Höhe von 8 m bis zur Ernte erreichen und dürfen Hochspannungsleitungen auf keinen Fall berühren.

Falls KUPs zur Versorgung von großen Kraftwerken mit Biomasse angebaut werden (Abbildung 9) und deshalb die Dichte von KUP Plantagen groß ist, kann eine Veränderung der Landschaft beträchtlich sein. Hier haben vor allem die verwendeten Arten und die Bepflanzungsdichte einen Einfluss auf das landschaftliche Erscheinungsbild.

Bei kleineren Produktionsflächen jedoch, sind solche Effekte nicht zu erwarten. Dies kann durch eine kleine Berechnung abgeschätzt werden: wenn beispielsweise 2 MW Leistung des Kraftwerks angestrebt werden, müssen ca. 15-20 tausend Tonnen Trockenholz als Biomasse bereitgestellt werden. Diese können auf etwa 1.500-2.000 ha KUP-Flächen erwirtschaftet werden (bei einer Ausbeute von 10 t Trockenmasse/ha/Jahr). Diese Menge entspricht einem Flächenanteil von ca. 1,5% der Gesamtfläche von einem Gebiet mit dem Radius von 20 km (welches die ökonomisch zu rechtfertigende Maximalentfernung von einem potenziellen Endverbraucher der Biomasse ist). Deshalb kann der zu erwartende Einfluss auf die Landschaft in einem solchen Fall als gering eingeschätzt werden.

KUPs können reibungslos in bestehende Landschaften integriert werden, wenn Hecken und Waldgebiete schon existieren, da in diesem Fall Sichtlinien ohnehin kurz sind. Bei langen Sichtlinien oder wenn KUPs in einer flachen Topographie gepflanzt werden, sollten potentielle Plantagen ineinandergreifender KUP-Blocks eher organische als geometrische Formen aufweisen, um auf diese Weise besser mit der bestehenden Landschaft zu harmonisieren. In solchen Landschaften sollten KUPs eher länglich sein und an existierende Waldstücke anschließen (Abbildung 7), um visuelle und auch landwirtschaftliche Vorteile zu bringen. Das Bild verschiedener, laubabwerfender Pflanzen, die durch einen Mix der Sorten (z.B. verschiedene Formen und Farben durch die Verwendung unterschiedlicher Klone) und variierende Ernteschemata hergestellt werden kann, gibt der Kulturlandschaft eine sehr dynamische Note (JTI 2014).



Abbildung 7: Eine rechteckige und eher kleine Weiden-KUP in einer landwirtschaftlichen Gegend nahe am Wald gepflanzt, sorgt für eine dezente Änderung des Landschaftsbildes (Quelle: Nordh N-E.)

Die folgende Liste zeigt eine Anzahl von Faktoren, die ein KUP-Projektplaner im Hinblick auf unerwünschte Umwelteinflüsse und landschaftliche Beeinträchtigung berücksichtigen sollte. Dabei muss beachtet werden, dass es sich um sehr generelle Aussagen handelt und die

spezifische Situation eines Standortes immer gesondert betrachtet werden muss (Dimitriou et al., 2014a).

- Das Pflanzen von KUPs auf landwirtschaftlichen Flächen nahe an Wäldern gibt das Gefühl eines natürlichen Überganges und sollte deshalb bevorzugt werden. Dennoch sollte man das Pflanzen in reinen Waldgebieten vermeiden, da die Landschaft zu homogen und walddlastig werden könnte.
- Das Abernten unterschiedlicher Teile der Plantage nach verschiedenen Wachstumszyklen schafft eine diversifiziertere Landschaft und verleiht ihr einen dynamischen Charakter.
- Das Anpflanzen von KUPs nahe kulturellen Stätten kann negative visuelle Einflüsse haben.
- Die Pflanzung verschiedener Klone mit unterschiedlicher Beschaffenheit (Stärke, Blattgröße, -form und Farbe) erhöht die visuelle Diversität. Weite Öffnungen zwischen den Feldern stellen Möglichkeiten der Erholung (z.B. Spaziergehen) für die Anwohner bereit.
- KUPs eignen sich sehr gut für Flächen entlang von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen, da dieses Land oft nicht anderweitig genutzt wird. Trotzdem muss darauf geachtet werden, dass die Sicherheit an der Straße nicht beeinträchtigt wird. Damit Autofahrer auch in Kurven und an Kreuzungen einen guten Überblick behalten können, müssen an diesen Stellen breitere Ränder zu den KUPs bestehen (Abbildungen 8, 10 und 11).
- An wenig befahrenen Straßen, z.B. in ländlichen Gegenden, ist der Einfluss von KUPs auf Autofahrer eher gering. Trotzdem sollte ein ausreichend breiter Streifen für die leichtere Bewirtschaftung (z.B. Wenden der Erntemaschinen) eingeplant werden.
- Große Kraftwerke, die Biomasse aus KUPs verwerten, befinden sich oft in industriellen Gebieten. Dort können KUP-Pflanzungen eine Maßnahme sein um das Gebiet aufzuwerten und zu begrünen.
- In offenen Landschaften, in denen einjährige Feldfrüchte angebaut werden, können KUPs eine Abwechslung im Landschaftsbild bieten.
- KUPs sollten generell in Gebieten gepflanzt werden, in denen die negativen Einflüsse auf die Landschaft möglichst gering sind (so etwa in der Nähe zu Wäldern, in Hügellandschaften und in größerer Entfernung zu wichtigen kulturellen Stätten) und sie sich möglichst gut in die bestehende Landschaft einfügen (z.B. kleinere Flecken in Waldgebieten, größere Felder in offenen landwirtschaftlich genutzten Gegenden oder angepasst an das Gefälle in hügeligen Gebieten).

Tabelle 1: Überblick über die ausschlaggebenden Faktoren für die Standortwahl einer KUP zur Energiegewinnung

Lokale, natürliche und geographische Bedingungen	Infrastrukturelle und technische Aspekte
<ul style="list-style-type: none"> • Mikroklima • Boden • Anfälligkeit für natürliche Risiken • Anfälligkeit für Schädlinge, Krankheiten und Wildverbiss • Biodiversitätsaspekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Entfernung zu den Biomassekunden • Anbindung der KUP mit Straßen für die Bepflanzung und die Bewirtschaftung • Vorhandensein von Hochspannungsleitungen auf der Plantage • Vorhandensein von geeigneten Maschinen für die Pflanzung und die Ernte



Abbildung 8: KUP-Felder neben einer großen Straße. Breitere Freistreifen erlauben Autofahrern eine gute Sicht (Quelle: Nordh N-E.)



Abbildung 9: Ernte einer Weiden-KUP für ein Heizkraftwerk (Schornstein in der oberen linken Hälfte des Bildes) in der Nähe (Source: Dimitriou I.).



Abbildung 10: Pappel-KUP neben einer Straße in Deutschland: die Sicht auf der Straße ist nicht negativ beeinflusst. (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 11: Weiden-KUP neben einer Straße in Schweden: die Sicht auf der Straße ist nicht negativ beeinflusst. (Quelle: Rutz D.)

2.2 Klima

Die Klimabedingungen beeinflussen die Eignung der verschiedenen Baumarten, die für die Einrichtung von KUPs in Europa zur Biomassegewinnung in KUPs angebaut werden können.

Die am meisten verwendeten Arten in Europa, Weide und Pappel, stammen aus nördlichen Klimazonen. Sie vertragen eine ganze Bandbreite von Klimabedingungen und sind kälteresistent. Der Anbau in Gebieten mit geringer Bodenfeuchtigkeit würde wahrscheinlich zu unbefriedigenden Erträgen führen und es sollten Arten oder Sorten mit hoher Wasserverwertungseffizienz bevorzugt werden.

In Südeuropa können zwar Pflanzen verwendet werden, die sensibel auf kalte Temperaturen reagieren, oft ist aber die Trockenheitstoleranz ein wichtiger Faktor für die Auswahl der Arten und Sorten. Besondere Beachtung muss der Wasserverfügbarkeit im Jahr der ersten Anpflanzung geschenkt werden, da die Stecklinge noch keine Wurzeln gebildet haben.

Überdies sollte das Pflanzenmaterial, das auf einer KUP verwendet wird, unter den lokalen Bedingungen getestet und erfolgreich auf den Markt gebracht worden sein. Es gibt eine Anzahl an Beispielen von Klonen aus Züchtungsprogrammen, die sich in bestimmten Breitengraden als äußerst geeignet erwiesen haben, gleichzeitig aber bei der Verwendung in anderen Breitengraden nur geringe Erträge erbracht haben oder sogar zum Totalverlust einer Plantage führten. Deshalb ist es ratsam, nur Pflanzenmaterial zu verwenden, das von lokalen Baumschulen zur Verfügung gestellt wurde und in der lokalen Praxis getestet wurde.

2.3 Anlage der Pflanzung

Einige andere Aspekte müssen, neben der Maximierung des Ertrages, bei der Anlage einer KUP an einem gegebenen Standort beachtet werden. Diese stehen in Beziehung zu den praktischen Fragestellungen der Bewirtschaftung einer KUP und zu Umweltaspekten.

Flache Felder oder solche mit einem Gefälle von weniger als 10% können gut bewirtschaftet werden. Dennoch werden KUPs häufig auch auf steileren Flächen angelegt, das sie der Bodenerosion entgegenwirken können. Die KUPs müssen so gestaltet werden, dass ein adäquater Zugang für alle benötigten Maschinen sichergestellt ist.

Es ist wichtig, die Vorgewende (Enden der Plantage) groß genug zu planen, um ein Wenden der Maschinen während des Ernteprozesses (Erntemaschine und/oder ggf. begleitende Traktoren für das Auffangen der Hackschnitzel) zu ermöglichen. Das Vorgewende, das durchaus zur Pflanzung gehört, aber nicht selbst bepflanzt ist, erlaubt eine erhöhte Biodiversität an den Rändern der Plantage: Vorgewende können z.B. mit krautigen Blühpflanzen bepflanzt werden. Falls vollmechanisches Erntegerät für Weiden oder Pappeln zum Einsatz kommt, sollten die Endflächen mindestens 6-7 m lang sein. Dieser Bereich sollte außerdem groß genug für die Verladung und die längerfristige Lagerung der geernteten Hackschnitzel (Abbildung 12) oder Ruten sein.



Abbildung 12: Eine KUP-Erntemaschine nützt die breiten Enden des Feldes für eine vorübergehende Lagerung der geernteten Hackschnitzel. Die Feuchtigkeit der Hackschnitzel wird dadurch vor dem Transport zum Endverbraucher reduziert. (Quelle: Dimitriou I.)

Der Aufbau des Feldes sollte eine möglichst hohe Länge der einzelnen Reihen aufweisen, um so die Anzahl der nötigen Wendungen der Maschinen zu minimieren. Idealerweise, erlaubt die Reihenlänge die Füllung eines oder sogar zweier Anhänger mit Hackschnitzeln, bevor die Erntemaschine wenden muss (JTI 2014).

KUPs sollten vorhandene öffentliche Wege und Zugänge nicht blockieren. Dies gilt insbesondere für Gegenden mit einem hohen Naherholungswert, z.B. stadtnahe Gebiete. Sich mit relevanten Gruppen und Interessenvertretern abzusprechen, kann mögliche Konflikte vorbeugen. Weite Korridore zwischen den einzelnen KUP-Blocks verbessern den öffentlichen Zugang und erhöhen den Erholungswert der KUP. Solche Korridore und breite Ränder bieten, ebenso wie lange Reihen, vermehrte Vorteile im Hinblick auf die Diversität der Flora und Fauna.

Die Gestaltung der Pflanzung sollte sich möglichst gut in das umgebende Landschaftsbild einfügen (wie oben beschrieben). Daher wäre es ideal, KUPs neben oder nahe an benachbarten Forstbeständen (z.B. Hecken und/oder kleinen Waldgebieten) zu pflanzen. Die Ränder sind dabei wichtige Bestandteile für die Landschaft. Diese KUP-Ränder sollten so natürlich wie möglich aussehen und in der Größe auf die umgebende Landschaft abgestimmt sein. Alternativ könnten einjährige Pflanzen oder jährlich zu pflegende Hecken angepflanzt werden.

Die Hauptfläche der KUP kann unterschiedlich gestaltet werden, je nach verwendeter Baumart und Erntezyklus (Tabelle 2, Abbildung 13). Typische Pflanzungen mit Weiden und Pappeln sind sehr dicht gepflanzt und weisen 5.000 bis 20.000 Stecklinge pro Hektar auf. Zur automatischen Bewirtschaftung, Pflanzung, Düngung und Ernte werden diese Plantagen im ein- oder doppelreihiger Anbau angepflanzt.

Bei Pappel-Pflanzungen kommen häufig Einzelreihen zur Anwendung. Der Abstand zwischen den Reihen sollte 2 m und der Abstand zwischen den Stecklingen in einer Reihe sollte je nach Umtriebszeit 0,45 bis 2 m betragen. Auch doppelreihige Systeme wurden schon mit Pappeln eingerichtet.

Die Verwendung von Doppelreihen erlaubt eine schnellere und somit billigere Bewirtschaftung. Dies gilt vor allem für Weiden-Pflanzungen mit vielen kleinen Trieben und sehr kurzen Umtriebszeiten. Eine typische Gestaltung solcher Doppelreihen besteht aus Abständen von 1,5 m zwischen zwei Doppelreihen, 0,75 m zwischen den beiden Reihen einer Doppelreihe und 0,5 bis 0,8 m zwischen den Stecklingen in einer Reihe (je nach Standort und Sorte). Eine Veränderung der Abstände kann Einfluss auf das geerntete Endprodukt haben, vor allem auf die Länge und den Durchmesser der Stämme. Eine frühe

Rücksprache mit den potentiellen Endnutzern, am besten schon während der Planungsphase, ist notwendig, um dann bei der Ernte ihren Ansprüchen gerecht zu werden.

Tabelle 2: Bepflanzungsplan für Weiden und Pappeln in Deutschland (nach Wald 21)

	Kurze Umtriebszeit (3-5 Jahre)	Mittlere Umtriebszeit (6-8 Jahre)	Lange Umtriebszeit (> 10 Jahre)
Weide	<ul style="list-style-type: none"> • 13.000 Stecklinge / ha • Doppelte Reihen: 2 m * 0,75 m • Dichte: 55 cm in der Reihe 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht geeignet
Pappel	<ul style="list-style-type: none"> • 8.300-11.000 Stecklinge / ha • Einzelreihe: 2 m • Dichte: ~ 45-60 cm in der Reihe 	<ul style="list-style-type: none"> • 5.000 Stecklinge / ha • Einzelreihe: 2 m • Dichte: ~ 1m in der Reihe 	<ul style="list-style-type: none"> • 2.500-3.333 Stecklinge / ha • Einzelreihe: 2 m • Dichte: ~ 1,5 – 2 in der Reihe

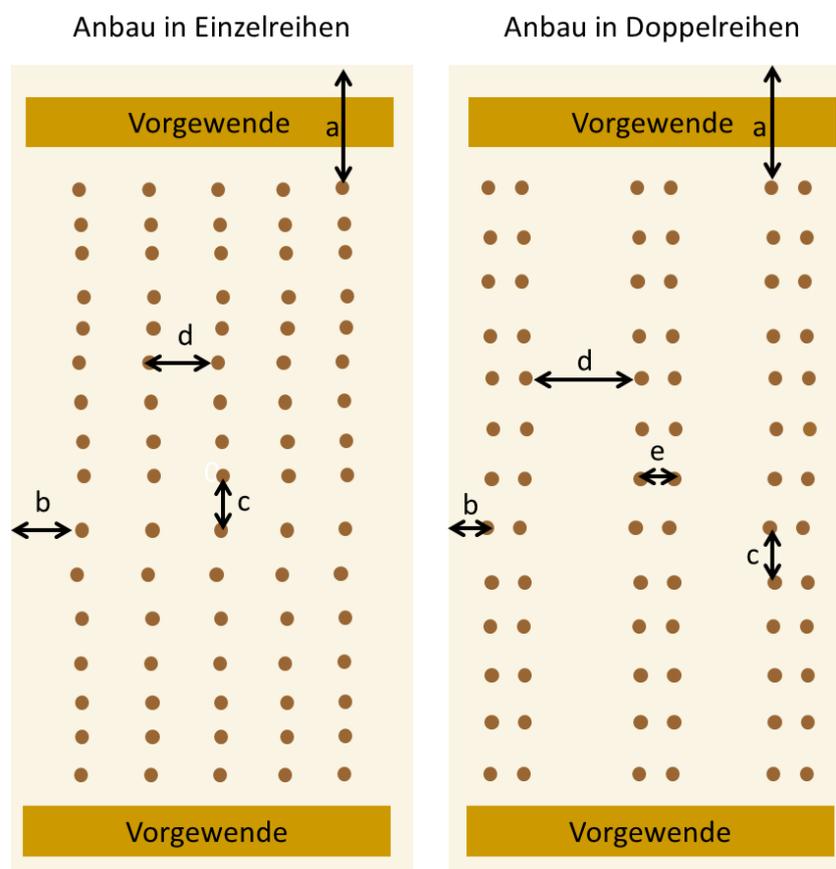


Abbildung 13: Beispiele vereinfachter Pflanzungsgestaltung mit Einzel- und Doppelreihen (nicht maßstabsgetreu) (a = Größe des Randes (8 m); b = Abstand der Reihe zum Seitenrand des Feldes (2 m); c = Abstand zwischen den Stecklingen in einer Reihe (0,45-2 m); d = Abstand zwischen den Reihen (2 m); e = Abstand zwischen den Reihen einer Doppelreihe (0,75 m)) (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 14: Weiden-KUPS verschiedenen Alters und mit verschiedenen Klonen diversifizieren die Landschaft. Ebenso tragen verschiedene Höhen und Farben zur Diversifikation bei; Die breiten Freiflächen ermöglichen einen leichten Durchgang zwischen den Feldern. (Quelle: Nordh N-E.)

2.4 Gesetzgebung

Ein wichtiger Aspekt für die Standortwahl sind die gesetzlichen Bestimmungen. Dabei greift oft die Gesetzgebung verschiedener Ebenen: nationales Recht, Gesetzgebung der Länder und kommunale Gesetzgebung. Für gewöhnlich ersetzt eine neue KUP vorangegangene Formen der Landnutzung, wie z.B. Ackerland, Grünland, Wald, brachliegende Flächen etc.

In vielen Ländern ist es nicht empfehlenswert oder die Gesetzeslage verbietet es sogar, neue KUPs auf Waldflächen zu errichten. Nur in wenigen Ländern sind KUPs als Waldfläche klassifiziert. In einigen Ländern und Regionen, wie z.B. in Bayern (Deutschland), wird es außerdem verhindert KUPs auf Grünland zu errichten. KUPs werden oft einjährigen Pflanzen auf Ackerland gleichgestellt, wenn sie innerhalb einer bestimmten Zeitspanne geerntet werden (z.B. innerhalb von 20 Jahren in Deutschland).

Neben den Gesetzen für die Errichtung von KUPs, die durchaus in den europäischen Ländern voneinander abweichen können, müssen auch Gesetze und Verordnungen zum Landschafts- und Naturschutz berücksichtigt werden. Dabei ist eine KUP nicht immer automatisch verboten, wenn eine Schutzzone ausgewiesen ist. Es kommt auf die Art des Schutzes an: es gibt Unterschiede zwischen Landschaftsschutzgebiet, Naturschutzgebiet oder Natura 2000 Gebiet. Ebenso müssen gesetzliche Vorschriften der Wasserwirtschaftsämter beachtet werden: Wassereinzugsgebiete, Überschwemmungsgebiete von Flüssen oder Gebiete mit sensiblen Grundwasserumständen sind hier zu nennen.

Die Gesetzgebung kann durch Vorschriften manchmal auch Einfluss auf die Auswahl der zugelassenen Sorten und Klone nehmen. Für die Gestaltung der Plantage kann die Entfernung zu den Nachbarn reguliert sein und schreibt oft einen Mindestabstand von 2 m Freiflächen zum angrenzenden Grundstück vor.

2.5 Nachhaltigkeitsaspekte für die Standortwahl

Mit der zunehmenden Nachfrage nach Biomasse zur Energiegewinnung und für biobasierte Materialien werden Nachhaltigkeitsaspekte immer wichtiger für die Diskussion um Bioenergie. Die Produktion und Nutzung von Biomasse aus KUPs kann eine Maßnahme sein, die allgemeine Nachhaltigkeit zu steigern, allerdings müssen dafür einige Kriterien beachtet werden. Eine detaillierte Beschreibung dieser Kriterien ist im SRCplus-Report über „Nachhaltigkeitskriterien und Empfehlungen für Kurzumtriebsplantagen“ (Dimitriou & Rutz 2014) beschrieben. Die folgenden Darstellungen liefern lediglich einen Überblick über die Inhalte dieses Berichtes.

Generell handelt es sich bei der Kultivierung von KUPs per Definition um eine landwirtschaftliche Praxis mit geringem Input. Dies impliziert geringe Treibhausgasemissionen, was zum einen an dem niedrigen Einsatz von Chemikalien und zum anderen an dem geringeren Managementaufwand für eine mehrjährige Pflanzung liegt. Pestizide werden bei KUPS meist nicht oder nur sehr selten eingesetzt. Dies liegt nicht etwa an der Abwesenheit von Insekten oder Krankheiten, sondern vor allem an dem relativ geringen ökonomischen Wert von Energiepflanzen im Vergleich zu anderen herkömmlichen landwirtschaftlichen Produkten. Ebenso ist der Bedarf an Dünger im Vergleich zu gewöhnlichen Feldfrüchten gering: die Düngung von Bäumen ist keine gängige Praxis. KUPs können sich zum Teil aus den wiederverwerteten Nährstoffen aus dem Laub und den abgestorbenen Wurzeln versorgen. Sogar in den Fällen, in denen eine Stickstoff-Düngung in Betracht gezogen wird, wie z.B. für Weiden-KUPs, sind die empfohlenen Mengen (ca. 80 kg N pro Hektar und Jahr) beträchtlich niedriger als für herkömmliche Feldfrüchte.

Darüber hinaus, ist eine jährliche Düngung aus physiologischen Gründen (z.B. die Höhe der Pflanzen) und wegen technischen Einschränkungen bei einer hohen Dichte der Pflanzung, wie es bei Weiden und Pappeln der Fall ist, schwierig. Die Bodenbearbeitung wird ebenfalls nur einmal, während der Errichtungsphase, durchgeführt und es finden bis zur Auflösung der Plantage, die üblicherweise erst nach mehreren Jahrzehnten eintritt, keine weiteren Maßnahmen der Bodenbearbeitung statt.

Auf nachhaltige Art und Weise bewirtschaftet, können KUPs die anderen landwirtschaftlichen Praktiken gut ergänzen, Ökosystemdienstleistungen bieten und zum Naturschutz beitragen. KUPs helfen normalerweise die Wasserqualität zu verbessern und die Biodiversität zu fördern, sie helfen wichtige Ökosystemdienstleistungen bereitzustellen (z.B. Jagd, Bienenzucht, Wasserversorgung, Feuerschutz, Erholung) und sie schwächen die Gefahr einer Übertragung von Tierkrankheiten zwischen Gehöften ab. Außerdem beugen sie Erosion vor, reduzieren den künstlichen Input (Dünger, Pestizide etc.) und mildern den Klimawandel durch Kohlenstoffspeicherung ab. Diese Vorteile müssen hervorgehoben werden, um die nachhaltige Produktion von Hackschnitzeln aus KUPs voranzutreiben und so die positiven Einflüsse von KUPs auf die Umwelt zu steigern. Dabei müssen Nachhaltigkeitsaspekte beachtet werden: KUPs sind gut geeignet Grenzstandorte zu nutzen, vor allem als landschaftliche Strukturelemente, z.B. als Begrenzung von Feldern, Straßen oder unter Hochspannungsleitungen wo normale Waldwirtschaft nicht möglich ist.

Die positiven Umweltauswirkungen von KUPs werden vor allem durch die Veränderungen in der Landnutzung beeinflusst. Diese werden nach direkten (dLUC = direct land use change) und indirekten (iLUC = indirect land use change) Landnutzungsänderungen klassifiziert. Sie gehören zu den kritischsten Auswirkungen jeder pflanzenbasierten Bioenergie-Wertschöpfungskette, da die Konkurrenz um Land zukünftig immer größer werden wird. Um Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung von KUPs entwickeln zu können, spielt die vorhergehende Landnutzung eine zentrale Rolle für negative oder positive Auswirkungen durch die KUP. Es wird unterschieden, auf welchem Landtyp die zukünftige KUP geplant ist:

- **Ackerland:** verschiedene Ackerlandtypen mit unterschiedlicher, Bodenqualität und Wasserverfügbarkeit
- **Grünland:** es muss zwischen intensivem und extensivem bewirtschaftetem Grünland unterschieden werden.
- **Wald:** in vielen Ländern sollen KUPs nicht auf Land errichtet werden, das als Wald klassifiziert ist (sowohl vom gesetzlichen als auch vom ökologischen Standpunkt aus).
- **Grenzstandorte:** es gibt verschiedene Definitionen von "Grenzstandorten". Manches Land, das ökonomisch als Grenzstandort klassifiziert wird, hat einen hohen ökologischen Wert. KUPs können sehr gut auf steilem Gefälle (um Erosion vorzubeugen), auf Überschwemmungsgebieten oder unter Hochspannungsleitungen angelegt werden.
- **Geschütztes Land:** die Kultivierung von KUPs auf geschütztem Land hängt von dem Schutzstatus und den verfolgten Zielen ab.

Um eine ressourceneffiziente Biomasseproduktion auf KUPs zu erreichen, ist fruchtbares Ackerland am besten geeignet. Es wirft die höchsten Erträge an Biomasse pro Landeinheit ab und verspricht, bei gutem Management, die höchsten Profite für den Landwirt. Wie oben erwähnt und unten näher ausgeführt, scheinen KUPs auf solchen Flächen - im Vergleich zu herkömmlichen Feldfrüchten, die normalerweise auf fruchtbaren Böden angebaut werden - positive Auswirkungen auf die Boden- und Wasserqualität, sowie auf die Biodiversität zu haben.

Mit den derzeitigen Holz- und Energiepreisen jedoch, sind KUPs in vielen Regionen im Vergleich zu herkömmlichen Ackerlandkulturen nicht wettbewerbsfähig. Deshalb sind Landwirte oft daran interessiert, KUPs hauptsächlich auf Brachland oder Grünland zu errichten.

Ein Wechsel der Landnutzung von Grünland zu KUPs kann kontrovers diskutiert werden. Es gibt Bemühungen in der europäischen Landwirtschaft kohlenstoffspeichernde, artenreiche Ökosysteme, wie Grünland, zu bewahren. Als mehrjährige Pflanze mit minimalem Pestizideinsatz, stehen KUPs dem Grünland, was die Form der Bewirtschaftung angeht, näher als anderen Formen des Ackerbaus. Ebenso sind keine großen Unterschiede bei den Auswirkungen auf Boden- oder Wasserqualität zu erwarten. Relevante Vergleiche müssen dennoch gezogen und gut analysiert werden. Landnutzungsänderungen sollten so durchgeführt werden, dass sie dem Umweltschutz nicht negativ entgegenstehen.

Generell sind die Auswirkungen von KUPs, die auf Waldland gepflanzt wurden eher negativ. Aus diesem Grund haben viele Länder Gesetzgebungen verabschiedet, die den Anbau von KUPs auf Waldflächen verbieten.

Alle drei Landnutzungstypen (Ackerland, Grünland und Wald) können auf verschiedene Art bewirtschaftet werden. Je nach Praxis der Bewirtschaftung und in Abhängigkeit von Boden- und Klimabedingungen, können Grenzstandorte auf jeden der drei Landnutzungstypen vorkommen. Es existieren unterschiedliche Definitionen von Grenzstandorten, die je nach Perspektive auf ökonomische Fragen, Bodenfruchtbarkeit, Risiken etc. greifen können.

Grenzstandorte können z.B. degradierte Böden, Überschwemmungsgebiete, Land mit Hochspannungsleitungen, Land entlang von Schienen oder in Erdbebengebieten beinhalten. Solche Landtypen können aber auch Chancen eröffnen; vor allem deshalb, weil KUPs auch unter widrigen Bedingungen zufriedenstellend wachsen können (z.B. schwermetallbelastete Böden, anaerobe Bedingungen, wenig fruchtbare Böden, Überschwemmungsgebiete). In solchen Gebieten ist es oft schwierig andere Pflanzen anzubauen und für ein Einkommen zu sorgen. Obwohl die zu erwartende Biomasseproduktion und damit auch die Effizienz der Landnutzung eher gering ausfallen wird, können solche Standorte interessant für die Errichtung von KUPs sein, da sie dort nicht in Konkurrenz zu anderen Agrarprodukten stehen. Außerdem können einige ökologische Vorteile erzielt werden, wenn die

Bewirtschaftung der KUP optimal betrieben wird. Da Grenzstandorte manchmal eine hohe Biodiversität aufweisen, sollte untersucht werden, ob KUPs negative Auswirkungen auf den betrachteten Standort haben.

Schließlich können auch alle drei Arten der Landnutzung (Ackerland, Grünland und Wald), in Übereinstimmung mit lokalen, nationalen oder EU-Richtlinien, als Schutzgebiet ausgewiesen sein. Im Falle, dass diese Schutzbestimmungen im Zusammenhang mit bestimmten Ökosystemen, Habitaten oder geschützten Arten stehen, ist der Anbau von KUPs als eher negativ zu bewerten. Für Landschaftsschutzgebiete kann die Errichtung von KUPs positive oder negative Auswirkungen mit sich bringen. Generell müssen die Ziele der standortspezifischen Schutzbestimmungen identifiziert und der Einfluss einer KUP im Hinblick auf diese Ziele bestimmt werden.

Einen Überblick über die verschiedenen Auswirkungen einer KUP auf die Landnutzungstypen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Einflüsse von KUP-Einführungen auf Ackerland, Grünland und Wald (nach BUND 2010; Dimitriou & Rutz 2014)

Kriterium	KUP im Vergleich zu Ackerland	KUP im Vergleich zu Grünland	KUP im Vergleich zu Wald
Einsatz von Pestiziden	Während der Feldvorbereitung ähnlich wie bei konventioneller landwirtschaftlicher Nutzung; während der Umtriebszeit nicht von Nöten.	Während der Feldvorbereitung ähnlich wie bei konventionellem Grünland; während der Umtriebszeit nicht von Nöten.	Höher
Einsatz von Dünger	Beträchtlich geringer als in der konventionellen Landwirtschaft	Beträchtlich geringer als bei intensiv bewirtschaftetem Grünland	Höher
Bodenerosion	Beträchtlich geringer	Während Feldvorbereitung höher als bei Grünland; während der Umtriebszeit ähnlich wie Grünland	Geringfügig höher
Biodiversität	Normalerweise wesentlich höher als auf intensiv genutztem Ackerland; auf extensiv genutztem Ackerland kann sie höher oder auch niedriger sein.	Hängt von der Intensität der Nutzung des Grünlandes sowie von der Zusammensetzung der heimischen Arten ab	Hängt von der Waldart und der Gestaltung der KUP ab; im Vergleich zu Naturwäldern ist die Biodiversität in KUPs eher geringer
Klima und Wasser	Höhere Verdunstung, höhere Interzeption, höherer Windschutz und höherer Temperaturausgleich, Reduzierung von Staub und Schmutz	Höhere Verdunstung, höherer Windschutz und Temperaturausgleich	Eher negative Auswirkungen
Kohlenstoffbindung	Beträchtlich höher	Höher oder gleich, kommt auf die Art der Bewirtschaftung an	CO ₂ -Einlagerung ist deutlich niedriger aber die jährliche Bindung ist höher

Ein wichtiger Faktor, der die Nachhaltigkeit des genutzten Landes beeinflusst, ist der Energieoutput einer KUP pro Hektar im Vergleich zu anderen Feldfrüchten und somit das Potenzial einen Beitrag zur Minderung des Klimawandels zu leisten. Obwohl sehr standortabhängig, gibt Tabelle 4 durchschnittliche Zahlen wieder. Darüber hinaus werden Zahlen zur Energiebilanz in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 4: Jährlicher Energieoutput von KUPs, Energiepflanzen und Wald in kWh/ha

KUP	Mais (Biogas)	Raps (Biodiesel)	Wald
16.000 – 60.000	37.000 – 55.000	11.000 – 21.000	10.000 – 27.000

Tabelle 5: Energiebilanz als Input/Output Verhältnis für ausgewählte Pflanzen

KUP (Weide)	KUP (Pappel)	Mais (ganze Pflanze)	Raps (ganze Pflanze)	Weizen (Korn und Stroh)
1:24*	1:16 - 1:26**	1:11*	1:9*	1:11*

Quellen: *Börjesson & Tufvesson 2011; **Burger 2011

Wie schon zuvor beschrieben, ist der Wandel der Landnutzung nur ein Aspekt, der im Hinblick auf die Feststellung der Nachhaltigkeit in Betracht gezogen werden muss. Auswirkungen auf die Vielfalt der Pflanzen und Tiere, auf den Boden, das Wasser und die Landschaft werden in dem Bericht "Nachhaltigkeitskriterien und Empfehlungen für Kurzumtriebsplantagen" (Dimitriou & Rutz 2014) näher beschrieben.

3 Baumarten und Klone

In Europa werden unterschiedlich schnellwachsende Baumarten zur Biomasseproduktion für Energiezwecke genutzt. In diesem Handbuch liegt der Schwerpunkt auf Weiden- und Pappel-KUPs. Dies liegt daran, dass diese die beiden Arten sind, die für Europa am interessantesten sind und für die gleichzeitig die meisten Forschungsergebnisse vorliegen. Nichtsdestotrotz fließen auch Forschungsergebnisse und Informationen zu anderen Arten die als KUPs angebaut werden, wie z.B. Robinie und Eukalyptus, aber auch Erlen, Eschen und Birken, in die Betrachtungen ein. Es sollte außerdem erwähnt werden, dass sich die vorliegenden Informationen auf eine große Bandbreite europäischer Regionen beziehen.

3.1 Weide

Weiden aus der Gattung *Salix* (Familie *Salicaceae*) sind auf Abbildung 15 und 16 zu sehen. Diese Gattung umfasst ca. 400 Arten sommergrüner Bäume und Sträucher und kommt natürlicherweise vor allem auf feuchten Böden und in kalten und gemäßigten Klimazonen der nördlichen Hemisphäre vor. Die Weide ist die am meisten genutzte Energiepflanze auf KUPs in Europa. Weiden haben für den Anbau in KUPs gute Eigenschaften. Zu nennen sind hier das schnelle Wachstum und hohe Erträge, sowie die Fähigkeit auf verschiedenen Böden (idealerweise mit einem pH-Wert zwischen 5-7,5, aber durchaus auch außerhalb dieses Spektrums) und in unterschiedlicher Umwelt (von schweren Lehmböden bis zu leichteren Böden) zu gedeihen. Außerdem haben Weiden die Fähigkeit erneut auszutreiben (Stockausschlag). Weiden vertragen auch sehr sauerstoffarme Bedingungen im Boden, so dass auch eine Pflanzung auf staunassen Böden möglich ist. Sie haben auch die Fähigkeit

erhöhte Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen zu tolerieren, so dass sie zur Phytosanierung genutzt werden können. Weiden haben darüber hinaus einen weiteren Vorteil, der sie zur meistbenutzten Art auf KUP-Plantagen zur Energiegewinnung gemacht hat: ihre große genetische Bandbreite mit vielen verschiedenen Arten bieten unterschiedliche physiologische Charakteristika, die zur Züchtung genutzt werden können. So können Kreuzungen verschiedener Weidenklone hergestellt werden, die durch die Rekombination des Erbmaterials ein verbessertes Pflanzenmaterial bereitstellen.



Abbildung 15: Blätter einer Weide (*Salix viminalis*), oft für KUPs in Nordeuropa genutzt (Quelle: Aronsson P.)



Abbildung 16: Weidenblüte im Frühling (Quelle: Rutz D.)

Programme zur genetischen Optimierung von Weiden in Schweden und dem Vereinigten Königreich haben signifikante Fortschritte für die Züchtung von Weidenarten für KUPs zur Energiegewinnung mit sich gebracht. Um die Produktion weiter auszudehnen, werden Sorten benötigt, die für eine größere Bandbreite europäischer Umweltbedingungen geeignet sind. Solche Sorten wurden zum Teil in den vergangenen Jahren schon entwickelt. Die vorrangigen Ziele der oben erwähnten Zuchtprogramme waren es, ertragreiche, krankheits- und schädlingsresistente Sorten hervorzubringen, die überdies ein Wachstum aufweisen, das eine reibungslose mechanische Ernte erlaubt. Die Mehrzahl der Kreuzungen des schwedischen Zuchtprogrammes, das von Svalöf-Weibull AB (SW) durchgeführt wurde, beinhalteten die Arten *Salix viminalis*, *S. dasyclados* und *S. schwerinii*. Das Ausgangsmaterial gründete auf schwedischen und mitteleuropäischen Sammlungen von Elternpflanzen, die später noch durch Arten aus Forschungsreisen nach Zentralrussland und Sibirien ergänzt wurden. Das britische Zuchtprogramm der IACR-Long Ashton (finanziert durch die europäische Weidenzucht-Partnerschaft – EWBP) verwendete mehr als zwanzig Arten, die in der UK National Willows Collection gesammelt wurden. Diese umfassten exotische Pendanten zu *S. viminalis* und *S. caprea* sowie *S. rehderiana*, *S. udensis*, *S. schwerinii*, *S. discolor* und *S. aegyptica*.

Ergebnis dieser Arbeit sind neu gezüchtete Sorten/Klone, die produktiver sind und eine größere Widerstandskraft gegen Schädlinge und Krankheiten aufweisen und so stabilere Ertragsmengen garantieren. Die Auswahl der Klone hängt von den genauen Bedürfnissen

des Landwirtes und den klimatischen Bedingungen des Standortes ab. Ebenso hängt sie natürlich von der Verfügbarkeit der entsprechenden Stecklinge ab. Hersteller brauchen mindestens ein Jahr, um genügend Stecklinge einer Sorte zur Verfügung stellen zu können. Sobald sie wissen welche Sorten nachgefragt werden, können sie ihre Plantagen ernten, um einjährige Schösslinge für die Stecklingsproduktion im kommenden Winter bereitzustellen. Momentan sind ca. 25 von der EU zertifizierte Sorten verfügbar, von denen etwa zehn in der kommerziellen Praxis verwendet werden. Zusätzlich werden ein bis zwei neue Sorten pro Jahr entwickelt. Eine Liste der für gewöhnlich verwendeten Klone, die in den oben beschriebenen Züchtungsprogrammen hergestellt wurden, wird in Tabelle 6 geliefert. Für nähere Informationen zu speziellen Charakteristika und zur Tauglichkeit von Weiden-Klonen, sollten direkt die Hersteller kontaktiert werden.

Tabelle 6: Liste der normalerweise verwendeten Weiden-Klone, die im Rahmen des europäischen Weiden-Züchtungsprogrammes (European Willow Breeding Partnership (EWBP)) im Vereinigten Königreich und des schwedischen Zuchtprogrammes von Svalöf-Weibull AB (SW) hergestellt wurden (modifiziert nach Caslin *et al.*, 2012).

Klon	Art	Geschlecht	Spezielle Merkmale	Zuchtprogramm
Beagle	<i>S. viminalis</i>	weibl.	Überdurchschnittlicher Trockengehalt bei der Ernte	EWBP
Endeavour	<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>	weibl.	Nicht tolerant gegenüber salzhaltigen Bedingungen	EWBP
Gudrun	<i>S. dasyclados</i>	weibl.	Anfällig für Blattrost, langsames Wachstum während Jahr 1	SW
Inger	<i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i>	weibl.	Gute Leistung auf trockenen Böden, hoher Trockengehalt, niedriger Brennwert	SW
Jorr	<i>S. viminalis</i>	männl.	Relativ frostanfällig	SW
Olof	<i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>)	männl.	Anfällig für Blattrost, höherer Wassergehalt in den Hackschnitzeln	SW
Resolution	(<i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>)) x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>)	weibl.	Hohe Erträge in der ersten Umtriebsperiode, gutes Wachstum in trockenen Gebieten, Hackschnitzel mit geringer Schüttdichte und Brennwert	EWBP
Sven	<i>S. viminalis</i> x (<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>)	männl.	Hohe Erträge in der ersten Umtriebsperiode, geringe Blattrostanfälligkeit, Hackschnitzel mit geringer Schüttdichte, aber mit hohem Brennwert	SW
Terra Nova	(<i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i>) x <i>S. miyabeana</i>	weibl.	Relativ niedrige Erträge, aber gute Performance unter schwierigen Bedingungen (Höhenlage, trockene Böden)	EWBP
Tora	<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>	weibl.	Hohe Erträge, geringe Blattrostanfälligkeit, hoher Ertrag in der zweiten Umtriebsperiode, für	SW

beinahe alle Umgebungen geeignet				
Tordis	(<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>) x <i>S. viminalis</i>	weibl.	Hohe Erträge, für trockene Böden geeignet, geringe Blattostanfälligkeit, geringe Schüttdichte, hoher Brennwert, geringer Trockengehalt	SW
Torhild	(<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>) x <i>S. viminalis</i>	weibl.	Relativ geringe Erträge, geringer Trockengehalt	SW

3.2 Pappel

Die Pappel (Abbildung 17 und 18) gehört zur Gattung *Populus* (Familie der *Salicaceae*). Die Pappel ist, zusammen mit der Weide, die am meisten verbreitete Art auf KUPs für Bioenergie in Europa. Die natürliche Verbreitung der Pappel erstreckt sich von den Tropen bis hin zur Breitengrad- und höhenbedingten Baumgrenze der nördlichen Hemisphäre. Arten der Gattung *Populus* sind sommergrün oder (selten) halbhimmergrün und können in sechs Fachgruppen unterteilt werden: Abaso (die mexikanische Pappel), Aigeiros (amerikanische Schwarzpappel und Schwarzpappel), Leucoides (Sumpfpappeln), *Populus* (Weißpappeln und Espen), Tacamahaca (Balsampappeln), und Turanga (Pappel der ariden und tropischen Zone).



Abbildung 17: Eine Pappel-KUP in landwirtschaftlichem Gelände (Quelle: Nordh N-E.)



Abbildung 18: Pappelblätter (Max 3 Klon) im Frühling in Deutschland (Quelle: Rutz D.)

Für die Pflanzung von KUPs werden normalerweise Pappelklone benutzt. Kreuzungen basieren dabei für gewöhnlich auf *Populus trichocarpa*, *Populus maximowiczii*, *Populus deltoides*, *Populus tremula*, *Populus nigra*, *Populus koreana* und *Populus tremuloides* gewonnen.

Die hauptsächlichen Klone, die in der Vergangenheit auf KUPs zum Einsatz kamen sind: 'Max 1', 'Max 3', 'Max 4', 'Hybride 275', 'Muhle Larsen' und 'Androscoggin', wie in Tabelle 7 aufgeführt. Weitere verwendete Klone sind: 'Rochester', 'Weser 6', 'Beaupré', 'Münden', 'Monviso', 'Pegaso', und 'AF2'.

Populus Arten sind zweihäusig (d.h. ein Baum ist entweder männlich oder weiblich) und können durch Triebe und Stecklinge reproduziert werden. Verschiedene Arten dieser Gattung sind weltweit, ebenso innerhalb wie auch außerhalb ihrer natürlichen

Verbreitungsgebiete, angepflanzt worden. In Europa wird das Holz von Pappelplantagen mit längerer Umtriebszeit kommerziell als Schnittholz, Furnierholz und für Holzplatten, sowie als Zellstoff verwendet. In den vergangenen Jahren hat das Interesse an Pappeln für die Bioenergiegewinnung aus KUPs zugenommen und einige Länder in Nordeuropa (z.B. Schweden), Zentraleuropa (z.B. Deutschland, Frankreich, Belgien und andere) und Südeuropa (z.B. Italien und andere) haben KUP-fähiges Pflanzenmaterial entwickelt. Mehrere Klone sind auf dem Markt verfügbar und der Landwirt kann die Hersteller und Baumschulen für weitere Informationen konsultieren, um so eine angemessene Wahl des Pflanzenmaterials für die jeweils vorherrschenden Standortbedingungen zu treffen.

Im Vergleich zur Weide, werden Pappeln, die in Europa zur Energiegewinnung dienen, meist in Gebieten mit folgenden Merkmalen gepflanzt: i) mildere Klimaregionen als die Weide, somit ist das Interesse an Pappeln in Mittel- und Südeuropa höher, wobei es Pappel-Pflanzungen gibt, die auch in Nordeuropa zufriedenstellende Erträge erbringen; ii) Pappeln können auf sandigeren und trockeneren Böden angepflanzt werden als Weiden, dies hängt vermutlich mit dem niedrigeren Wasserbedarf von Pappeln zusammen, obwohl Pappeln auch auf Tonerdeböden gute Erträge bringen können; iii) Pappeln können flexibler eingesetzt werden: in weniger dichten KUP-Systemen als die Weide (z.B. Abstände von 2-3 m zwischen den Bäumen und Ernte nach > 10-15 Jahren) oder in gleicher Dichte wie Weiden-KUPs (ausführliche Beispiele solcher Fälle werden in den folgenden Kapiteln beschrieben); iv) die Flächen der Standorte sind oft kleiner, da Pappel-KUPs auch in weniger intensiven Pflanzungsmodellen sehr gute Ergebnisse erzielen können, überdies ist keine spezielle Ausrüstung für das Pflanzen und Ernten nötig, wenn längere Umtriebszeiten gewählt werden (in solchen Fällen wird forstwirtschaftliche oder manuelle Ausrüstung für das Pflanzen und Ernten benötigt).

Trotz dieser Unterschiede zwischen den beiden vorherrschenden KUP-Arten in Europa können Weiden und Pappeln oft ähnlich gut in gleichen Gebieten wachsen. Dies hängt mit der sehr breiten Auswahl des vorhandenen Pflanzenmaterials dieser beiden Arten und mit den unterschiedlichen, auswählbaren Bewirtschaftungsarten zusammen. Diese Sachverhalte werden auch in anderen Teilen des Handbuchs noch näher beschrieben.

Tabelle 7: Liste der gewöhnlich verwendeten Pappel-Klone auf KUPs (basierend auf Sailer Baumschulen GmbH)

Klon	Art	Geschlecht	Besondere Merkmale
Max 1	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	weiblich	
Max 3	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	weiblich	Hohe Biomasseproduktion
Max 4	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	weiblich	
Matrix	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>		Mittlere Biomasseproduktion auf allen Böden, Hybrid und Matrix mit hohen Wachstumsraten, besonders an kühlen und feuchten Standorten
Androscoggin	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>	männlich	
Hybrid 275	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>		

Muhle Larsen	<i>P. trichocarpa</i>	weiblich	
Fritzi Pauley	<i>P. trichocarpa</i>	weiblich	Mittlere Biomasseproduktion auf allen Böden
Trichobel	<i>P. trichocarpa</i>		
Koreana	<i>P. trichocarpa</i> x <i>P. koreana</i> x <i>P. maximowiczii</i>		Hohe Biomasseproduktion nach der zweiten Umtriebsperiode, in Deutschland nicht zugelassen

3.3 Robinie

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) (Abbildung 19) ist eine nicht-heimische Baumart in Europa und kommt ursprünglich aus dem Osten der Vereinigten Staaten von Amerika. Sie wurde während des siebzehnten Jahrhunderts in Europa eingeführt. Seitdem hat sie sich schnell in Europa verbreitet, zunächst als Zierbaum und später auch in extensiven Plantagen zur Holzproduktion sowie durch natürliche Vermehrung. Heutzutage können große Gebiete von Robinien in Zentral- und Südosteuropa gefunden werden. Die Art ist vergleichsweise trockenheitsresistent und bindet Luftstickstoff. Aus diesen Gründen hat sich die Robinie zur Bodenregeneration und zur Regenerierung ehemaliger Bergbaustandorte bewährt. Robinien zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, auf kahlen Böden und unter extremen Bedingungen zu wachsen sowie durch ihr schnelles Wachstum, die hohe Holzdichte und Fähigkeit nach der Ernte wieder gut auszutreiben. Deswegen hat sie sich als sehr nützlich für die Produktion von Bioenergie aus KUPs erwiesen. Große Flächen von Robinienwäldern wurden in Europa (vor allem in Ungarn, aber auch in anderen Ländern wie in Italien und Polen) eingerichtet.

Auch das Interesse an Robinien für KUPs auf Agrarland nimmt in letzter Zeit zu, vor allem in Gebieten, die zur Wiederurbarmachung vorgesehen sind. Trotz allem muss erwähnt werden, dass die Robinie manchmal als invasive Art gesehen wird.

In Bezug auf die Produktion auf landwirtschaftlichen Böden ist festzuhalten, dass die Robinie auf einem breiten Spektrum von Böden angepflanzt werden kann. Dennoch sollten sehr trockene oder schwere Böden vermieden werden. Sie bevorzugt Standorte mit lockerer Bodenstruktur, vor allem schluffige und sandige Lehmböden. Sie ist relativ resistent gegenüber umweltbedingten Stressfaktoren wie Trockenheit, hohe und niedrige Temperaturen und Luftverschmutzung. Für ein gutes Wachstum der Robinie sind die Bodendurchlüftung und der Wasserhaushalt die wichtigsten Bodenfaktoren.

Vermehrung der Pflanze ist mit Hilfe von Wurzelablegern, Stecklingen, Setzlingen oder Mikrovermehrung möglich. Die Vermehrung durch Wurzelableger und Stecklinge sichert eine gute Qualität, ist aber teurer als die Vermehrung durch Samen. Was die Ernte angeht, so ist zu sagen, dass die Robinie, im Gegensatz zu anderen schnell wachsenden Bäumen, wie etwa die Weide oder die Pappel, Dornen hat. Dies macht eine händische Bearbeitung schwierig. Es wird empfohlen direkt auf dem Feld zu hacken. Die Robinie kann Wurzelableger bilden, so dass es nach der dritten oder vierten Ernte auch zu Wachstum zwischen den Reihen kommen kann. Dies macht eine Ernte mit den speziell für Weiden entwickelten Maschinen schwierig. Zusätzlich ist das Holz der Robinie härter als das Holz anderer schnell wachsender Bäume. Die Erntegeräte müssen deshalb beständiger und leistungsfähiger sein, als jene, die normalerweise zum Einsatz kommen.

Obwohl die Robinie als stickstoffbindende Art mit, im Vergleich zu Weide und Pappel, höherer Holzqualität, höherer Dichte und höherem Brennwert durchaus Vorteile bietet, so ist die Bewirtschaftung doch deutlich problematischer. Ein Jahr alte Setzlinge werden in sehr dichten (ca. 10.000 Stück) Robinien-KUPs verwendet, was im Vergleich zu den Weiden- und Pappelstecklingen teurer ist. Wie oben beschrieben, kann die Ernte problematisch sein und

die Erträge können etwa so hoch sein wie bei Weiden oder Pappeln, wobei dies stark von der Bewirtschaftung und dem Standort der Plantage abhängt. Frost und Windbruch von Trieben und Ästen kann vor allem in der Anfangsphase einer Pflanzung die Erträge gefährden.



Abbildung 19: Robinienpflanzungen zur Energiegewinnung in Ungarn (Quelle: Simon L.)

3.4 Eukalyptus

Eukalyptus (Abbildung 20 und 21) ist eine Gattung schnell wachsender Bäume aus Australien, die in Südeuropa seit vielen Jahren für die Produktion von Zellstoff und Papier genutzt werden. In den vergangenen Jahren hat das Interesse für die Nutzung von Biomasse aus Eukalyptuspflanzungen für die Energiegewinnung nicht nur in Südeuropa, sondern auch in höheren Breitengraden (wie z.B. im Vereinigten Königreich und Irland) zugenommen. Die Gattung *Eucalyptus* umfasst mehr als 700 Arten. Die am meisten auf großen Plantagen für die Biomasseproduktion benutzten Arten sind *E. globulus* und *E. camaldulensis* in Südeuropa, sowie *E. gunnii* und *E. nitens* in Nordeuropa, da diese beiden Arten toleranter gegenüber kalten Klimata sind.

Eukalyptus-KUPs werden traditionellerweise in Plantagen mit 3x3 m Abstand zwischen den einzelnen Bäumen gepflanzt und werden nach 7-12 Jahren zur Zellstoffproduktion geerntet. Dennoch wurde das Holz, in Abhängigkeit von der Marktsituation, manchmal auch schon im Energiemarkt verwendet. Jüngst hat das Interesse an Eukalyptus-KUPs für Bioenergie zugenommen und intensivere Produktionssysteme wurden getestet und eingeführt. Diese Systeme ähneln jenen der Weiden-KUPs mit sehr kurzen Umtriebszeiten von 2-4 Jahren und einer Bewirtschaftung zur Holzgewinnung für Energiezwecke, die dennoch dem Ackerbau näher kommt als der Forstwirtschaft.

In Europa sind Eukalyptus KUP-Systeme, im Gegensatz zu anderen Erdteilen, momentan noch in der Testphase (in Brasilien und Australien etwa, wurden Eukalyptus-KUPs schon im größeren Maßstab eingeführt). Das Anpflanzen erfolgt in der Regel mit schon wurzelnden Setzlingen, die normalerweise das Ergebnis von Kreuzungen sind, die für die Klimabedingungen des geplanten Einsatzortes geeignet erscheinen. Düngung, vor allem mit Stickstoff, ist eine Grundvoraussetzung für gute Erträge. Doch obwohl unter einer Reihe von Klimabedingungen in Europa gute Erträge erzielt werden können, ist Eukalyptus vom ökologischen Standpunkt her eine umstrittene Gattung. Ernste Bedenken werden im Hinblick auf negative Auswirkungen auf eine Reihe von Faktoren, wie Bodenqualität, Grundwasserlevel, Biodiversität und Waldbrände geäußert. Solchen Bedenken von lokalen

Interessensgruppen sollten bei der Planung einer Eukalyptus-KUP Rechnung getragen werden.



Abbildung 20: Eine Eukalyptus-KUP zur Energiegewinnung aus Biomasse nach sechs Jahren Wachstum in Neuseeland (Quelle: Dimitriou I.)



Abbildung 21: Eukalyptus-Plantage mit längerer Umtriebszeit in Argentinien (Quelle: Rutz D.)

3.5 Erle

Erle ist der volkstümliche Name für die Gattung (*Alnus*) eines blühenden Baumes, der zur Familie der *Betulaceae* gehört. Die Gattung umfasst ca. 30 Arten einhäusiger Bäume und Sträucher. Sie verteilen sich durch die nördlichen Temperaturzonen mit einigen Arten, die sich bis nach Mesoamerika und in die nördlichen Anden ausdehnen.

Generell sind die Erfahrungen mit Erlen für KUPs noch recht gering, da es erst wenige Versuchsplantagen gibt. Die Erle hat einen hohen Licht-, Nährstoff- und Wasserbedarf, kann aber vorübergehende Überschwemmungen vertragen. Die Grauerle (*Alnus incana*) wächst bis zu Höhen von 1.500 m und bevorzugt kalkhaltige Böden und ein kalt-gemäßigtes Klima. Die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) bevorzugt hingegen feuchte Standorte mit hoher Wasserverfügbarkeit und gemäßigtem Klima.



Abbildung 18: Erlenplantage in Deutschland mit einem Schutzzaun gegen Wild (links) und Erlenblätter (rechts) (Quelle: Rutz D.)

3.6 Andere Arten

Es gibt eine ganze Reihe anderer Arten, die sich als Kandidaten für KUPs zur Energiegewinnung aus Biomasse in Europa eignen. So z.B. *Acacia saligna*, *Ulmus* sp., *Platanus* sp., *Acer* sp., *Corylus avellana*, *Paulownia* sp. und andere. Ihre Verwendung als KUP hatte aber bisher nicht den gleichen Erfolg wie die zuvor genannten Arten. Manche sind exotische und/oder invasive Arten und wurden bisher nicht gründlich getestet, so dass Bedenken aufkamen, während andere sich nur für bestimmte Klimazonen eignen.

Box 2: Warum sollte ich andere Arten anpflanzen?

Generell ist es nicht besonders schwierig oder riskant für Landwirte eigene Versuche anzustellen und Erfahrungen mit anderen Arten als Weide und Pappel zu sammeln. Deshalb ist es ratsam einen kleinen Teil der KUP mit diesen anderen Arten zu bepflanzen. Dies erhöht die Diversität der Pflanzung und so auch die öffentliche Akzeptanz. Die Biomasse kann normalerweise gleichzeitig und mit der gleichen Ausrüstung, wie für die Hauptplantage, geerntet werden. Dennoch ist es wahrscheinlich, dass die Erträge der anderen Arten etwas geringer ausfallen als jene der Hauptplantage.

4 Anbau von KUPs

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schritte zur Bewirtschaftung von KUPs in der Errichtungsphase (Vorbereitung des Standortes, Pflanzung) sowie während der Wachstumsphase bereitgestellt. Dabei liegt der Hauptfokus auf Weide und Pappel.

4.1 Vorbereitung des Standortes

KUPs, die auf Ackerland angebaut werden, benötigen, genauso wie konventionelle Feldfrüchte, eine sehr gute anfängliche Vorbereitung des Bodens. Entfernung des Unkrautes hat sich als einer der wichtigsten Faktoren für erfolgreiche Erträge in der gesamten Lebensspanne einer Pflanzung erwiesen. Deshalb sollten einige Maßnahmen getroffen werden, um zu starke Unkrautbildung (Abbildung 22) zu vermeiden.

Der Druck durch Unkraut hängt von der vorigen Landnutzung und den im Boden befindlichen Samen ab. Vor allem Land, das für eine längere Zeit brach lag, weist eine erhöhte Neigung zur Keimung von Unkraut auf, da dieses seine Samen verteilen konnte (Gustafsson *et al.*, 2007). Eine Vorbereitung des Bodens im Jahr vor der Anpflanzung ist somit sehr wichtig um mehrjährige Unkrautpflanzen auszurotten.

Generell ist der einfachste Weg der Unkrautbekämpfung das Ausbringen von Herbiziden. Auch mechanische Bekämpfung ist möglich, kann aber fehlschlagen und aufwändig sein. Unkrautbekämpfung ist normalerweise nur im ersten Jahr der Anlage einer Plantage vonnöten. Wenn man die Lebensdauer einer KUP von mehr als 20 Jahren bedenkt, ist die anfängliche Auswirkung des Herbizideinsatzes des ersten Jahres eher gering.



Abbildung 22 Weidenpflanzen in einer KUP (roter Kreis) umgeben von Unkraut auf einem Feld, auf dem die Unkrautkontrolle nicht funktioniert hat. Trotz der Tatsache, dass Weidenstecklinge das Unkraut in den kommenden Jahren aus dem Feld verdrängen werden, wird die Produktion geringer ausfallen als erwartet. Deshalb sind die empfohlenen Schritte für die Unkrautbekämpfung von großer Wichtigkeit und sollten befolgt werden. (Quelle: Dimitriou I.)

Box 3: Die Minimierung des Einsatzes von Chemikalien ist ein wichtiger Faktor, um die positive öffentliche Wahrnehmung zu fördern

Die Notwendigkeit Chemikalien (Herbizide, Pestizide) einzusetzen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Entscheidend ist die Größe der Pflanzung, da manuelle Unkrautbekämpfung bei großen Plantagen eine große Herausforderung ist. Auch die Gewinnerwartung ist ein wichtiger Faktor. **Dennoch sollte der Einsatz von Chemikalien wo immer möglich vermieden oder zumindest minimiert werden.**

Eine Möglichkeit der Unkrautkontrolle ist es, das Feld für ein Jahr stillzulegen. Während dieser Zeit können mehrjährige Unkräuter im Sommer mit einem Herbizid bekämpft werden. Auch wenn im Jahr vor der Bepflanzung auf dem Feld eine Ackerkultur angebaut wurde, kann das Unkraut nach der Ernte mit einem Herbizid sowie durch eine passende Bodenbehandlung bekämpft werden. Im Falle eines zu starken Unkrautwachstums sollte das Unkraut zunächst abgeschnitten und entfernt werden. Die Herbizidanwendung sollte dann durchgeführt werden, wenn das Unkraut gerade anfängt erneut zu sprießen.

Wenn es Probleme mit Insekten geben sollte, können Organophosphorpestizide vor dem Pflügen zum Einsatz kommen. Sollten im späten Frühling noch mehrjährige Unkräuter übrig sein, kann eine zusätzliche Ausbringung von Herbizid unternommen werden. Allerdings sollte sie so spät wie möglich vor dem Pflanzen erfolgen. Das mehrjährige Unkraut muss

schon drei bis vier Blätter haben um eine erfolgreiche Anwendung sicherzustellen. Für eine solche späte Spritzung ist es wichtig, dass der Boden davor nicht bearbeitet wurde (Gustafsson *et al.*, 2007).

Im Rahmen einer biologischen Landwirtschaft wird die Verwendung von Herbiziden nicht toleriert, so dass mechanische Unkrautbekämpfung, entweder manuell oder mit leichten Maschinen, für gewöhnlich nötig ist. Dabei spielt die Größe der Pflanzung eine wichtige Rolle, da mechanische Unkrautbekämpfung auf großen Flächen mit Schwierigkeiten verbunden ist. Es gab auch Versuche, den Boden mit schwarzer Mulchfolie zu bedecken, um so das Keimen von Unkraut zu verhindern.

Das Feld muss schon im Herbst gepflügt werden, sofern ein harter Winter oder Bodenverdichtungen erwartet werden. Falls Bodenverdichtung kein Thema sein sollte, kann das Pflügen auch vor dem Pflanzen im Frühjahr erfolgen. Dabei sollten ca. zehn Tage gewartet werden, bevor man den Boden nach einer eventuellen Herbizidbehandlung pflügt. Falls es sich um schwere Tonböden handelt, wird ein flaches Pflügen empfohlen und die erreichte Tiefe nach dem Eggen sollte 6-10 cm betragen. Bei anderen Böden ist eine Mindesttiefe von 20-25 cm für das Pflügen angezeigt, um ein besseres Anpflanzen zu ermöglichen, vor allem dann, wenn es sich bei dem Pflanzmaterial um Stecklinge handelt. Große Steine sollten von dem Feld entfernt werden, da diese Pflanz- und Erntemaschinen beschädigen können.



Abbildung 23: Eine neu angelegte Weiden-KUP, die von zuvor vorhandenem Unkraut befreit wurde(Quelle: Aronsson P.)

Ein weiterer Aspekt zur Vorbereitung von KUP-Flächen ist die Vermeidung von Wildschäden (Abbildung 25) durch Kaninchen, Hasen, Rehwild und Elche (je nach Land). Dennoch wird die Umzäunung wegen zu hoher Kosten normalerweise nicht empfohlen. Nur

in Gegenden mit sehr hohem Risiko für solche Schäden sollte ein Wildzaun in Betracht gezogen werden oder aber, wenn es staatliche Beihilfen gibt, die einen Teil der Kosten decken. Die Einzäunung sollte nur vorübergehend, während der ersten Jahre, vorgenommen werden, da etablierte KUPs weniger anfällig sind. Für Standorte mit bekannter Gefahr für Schäden durch Tiere die in vielen Teilen Europas einen erheblichen Schaden verursachen können, wurden Abwehrmittel entwickelt, die die Tiere mit Hilfe von Geruchstoffen von den KUPs fernhalten (Abbildung 24). Derlei Maßnahmen erhöhen die Kosten für die Standortvorbereitung und sollten nur bei KUP-Anlagen durchgeführt werden, die aus alleinstehenden Stämmen bestehen oder sich in Gegenden mit erhöhtem Risiko für Wildverbiss befinden (Caslin *et al.*, 2012).



Abbildung 24: Installation eines Abwehrmittels gegen Rehwild in Deutschland (Source: Rutz D.)



Abbildung 25: Schaden an einem Pappelstamm verursacht durch Wildverbiss in Deutschland: Schäden entstehen häufig am Rande einer Pflanzung (Source: Rutz D.)

4.2 Pflanzenmaterial

Die Auswahl des Pflanzenmaterials hängt davon ab, welche Baumart verwendet werden soll, und vom Schema der Anpflanzung. Die Auswahl der Baumart wird durch mehrere Faktoren beeinflusst: standortspezifische Bedingungen, Eignung der Art, sowie Verfügbarkeit und Qualität des Pflanzenmaterials selbst. Für KUPs zur Biomasseproduktion eignet sich besonders das Pflanzen mit Stecklingen (Abbildung 26 und 27), da die Kosten für Stecklinge beträchtlich niedriger sind, als für die Pflanzung von Setzlingen. Selten werden KUPs zur

Energiegewinnung auch als ein-stämmige Plantagen mit wesentlich geringerer Dichte geplant. In solchen Fällen werden oft Setzlinge verwendet.



Abbildung 26: Stecklinge (hier: Pappel-Max3) mit ca. 25 cm Länge werden häufig verwendet. (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 27: 20 cm lange Weiden-Stecklinge werden für Weiden-KUPs verwendet (Längenvergleich mit einem normalen Stift) (Quelle: Aronsson P.)

Im Falle von Weiden- und Pappel-KUPs besteht das Pflanzenmaterial aus einjährigen Ruten, die in 25 cm lange Stecklinge geschnitten werden. Stecklingsmaterial wird normalerweise im Winter geerntet, wenn die Knospen noch komplett untätig sind. Sie werden bis zum Anpflanzen bei -4°C gelagert, bevor sie ein paar Tage vor dem Anpflanzen in Kisten zum Standort transportiert werden. Nach der Lieferung ist es wichtig, dass die Kisten unter kühlen und schattigen Bedingungen aufbewahrt werden, bevor die Stecklinge gepflanzt werden (Gustafsson *et al.*, 2007). Wie zuvor schon erwähnt, besteht kommerziell erhältliches Pflanzenmaterial aus verbesserten Klonen und Sorten. Viele dieser Klone sind durch europäische Rechte für Pflanzenzüchtung geschützt. Das bedeutet, dass es in der Regel verboten ist, Vermehrungsmaterial ohne Erlaubnis zu verkaufen. Deshalb werden Stecklinge in spezialisierten Baumschulen (Mutterquartiere) produziert, die eine Lizenz zum Stecklingsvertrieb haben. Sie liefern das Pflanzenmaterial entweder als einjährige Ruten oder als Stecklinge. Dies gilt sowohl für Weiden- als auch für Pappelpflanzen. KUP-Anbauer und Projektentwickler sollten die lizenzierten Unternehmen, die das Pflanzenmaterial produzieren und liefern (Abbildung 28), mit genügend zeitlichem Vorlauf vor dem Anpflanzen kontaktieren, um die Bestellung des entsprechenden Materials für ihre Standorte sicherzustellen. In den meisten Fällen geben die Unternehmen Garantien für einen Mindesterfolg der Pflanzung heraus.

Eine erfolgreiche Pflanzung hängt in hohem Maße von der Qualität der Stecklinge ab. Deshalb sollten die Stecklinge von einjährigen Austrieben gewonnen werden, bei denen das noch nicht gereifte Holz an der Spitze der geernteten Rute entfernt wurde. Die Stecklinge sollten bei der Pflanzung eine Mindestlänge von 15 cm und einen Durchmesser von mindestens 0,8 cm aufweisen, um eine adäquate Kohlenhydratreserve zur Erhaltung des Stecklings vor der Pflanzung zu gewährleisten. Andere Qualitätsmerkmale, die Weiden- oder Pappelstecklinge für die erfolgreiche Pflanzung aufweisen sollten, schließen auch eine

ausreichende Verholzung ein. Dadurch werden Verformungen bei dem Einsetzen in den vorbereiteten Boden verhindert. Die Stecklinge halten sich so auch länger frisch.



Abbildung 28: Einjährige Ruten, die zur Pflanzung einer Weiden-KUP verwendet werden. Die Ruten werden von einer privaten Stecklingsproduktionsfirma in Schweden geliefert. Die Qualität des Stecklingsmaterials ist wichtig für die gute Entwicklung einer KUP und sollte deshalb von einer lizenzierten Firma bereitgestellt werden. (Quelle: Dimitriou I.)

Auch Setzlinge für Plantagen mit langem Umtrieb müssen bei autorisierten Baumschulen oder Händlern gekauft werden, die in der Lage sein sollten, alle Informationen zu den spezifischen Charakteristika der verschiedenen Sorten zu liefern. Dies ist deshalb so wichtig, da Misserfolge aufgrund ungeeigneten Materials Zeit und Geld kosten, falls eine erneute Bepflanzung notwendig wird. Sowohl für Stecklinge als auch für Setzlinge einer bestimmten Art empfiehlt es sich, Material unterschiedlicher Sorten zu bestellen. So kann eine Diversifizierung im Hinblick auf die Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Krankheiten und Schädlingen erreicht werden, was wiederum das Risiko eines Misserfolges reduziert.

4.3 Die Anpflanzung

Für die Anpflanzung existieren verschiedene Strategien und Vorgehensweisen. Sie können entsprechend den ausgewählten Arten, der vorhandenen Pflanzausrüstung, den Arbeitskosten, der Planung der Ernte und anderen Faktoren angepasst werden. Alle diese Faktoren werden im nun folgenden Abschnitt dieses Kapitels analysiert. Es werden vor allem KUPs mit Stecklingen und in kurzer bis mittlerer Umtriebszeit betrachtet, da dies die hauptsächlich verbreitete Anbaumethode ist. Anbaupraktiken auf KUPs mit Setzlingen hingegen ähneln jenen der normalen Forstwirtschaft. Darum werden sie hier zwar genannt, aber nicht im Detail beschrieben.

Es ist wichtig den Prozess der Anpflanzung sorgfältig zu planen, so dass die Bewirtschaftung und Ernte vernünftig erfolgen und die effizienteste Raumnutzung auf dem Feld erreicht werden kann. Da das Pflanzen in Reihen die am besten geeignete Anbaumethode ist, sollten die Reihen so lang wie möglich angelegt werden. Idealerweise endet eine Reihe an einer Zugangsstraße. Am Ende einer Reihe muss es außerdem einen Vorgewende von 8-10 m geben, da Erntemaschinen Platz zum Wenden brauchen. Wenn die Fläche von tiefen Gräben begrenzt ist, sollte der Wendepunkt 10 m breit sein, andernfalls sind 8 m ausreichend. Eine Grenzlinie von ca. 2-3 m Breite sollte an den anderen Rändern der KUP frei gelassen werden.

Die **Anpflanzung** wird in Nordeuropa normalerweise im **Frühling** (April-Mai) durchgeführt. In Südeuropa entsprechend früher, wenn die Wetterbedingungen die Bodenbereitung erlauben. Das Pflanzen von Stecklingen ist auch zu einem späteren Zeitpunkt (Mai-Juni) noch möglich,

wenn das benutzte Material bei niedrigen Temperaturen gelagert wurde. Frühe Anpflanzungen haben den Vorteil, dass die Wachstumsperiode länger ist. Allerdings bilden die Stecklinge nur Wurzeln, wenn genug Wasser zur Verfügung steht und der Boden warm genug ist. Der Schlüsselfaktor für den Erfolg ist die Wasserverfügbarkeit, da zu lange Trockenperioden die Wurzelbildung verhindern und zur Austrocknung der Stecklinge führen. Die Wasserverfügbarkeit ist also wesentlich wichtiger als der exakte Zeitpunkt der Anpflanzung. Die vorherigen und aktuellen Wetterbedingungen beeinflussen die Festsetzung des richtigen Pflanzzeitpunktes, ebenso wie die Wettervorhersage.

Manchmal wird in der Praxis empfohlen, die neuen Ruten im ersten Jahr zurückzuschneiden. Diese Methode dient dazu, vor allem bei Weiden, ein kräftigeres Wachstum mit mehr Trieben und besserer Wurzelbildung im zweiten Jahr zu stimulieren. Obwohl dieses Ziel durch das Zurückschneiden im ersten Jahr durchaus erreicht wird, konnte insgesamt keine höhere Produktion an Biomasse über die gesamte Lebenszeit einer KUP nachgewiesen werden. Diese Praxis muss also nicht angewandt werden. Falls man sich trotzdem dafür entscheidet, können verschiedene Freischneider oder Mähmaschinen benutzt werden.

Es gab in der Vergangenheit viele Forschungen zur Dichte und dem Design von KUP-Pflanzungen. Beides hängt immer von den gewählten Arten und den vorhandenen Erntemaschinen ab. Wenn die Ernte mit speziell für KUPs ausgelegten Maschinen erfolgt, ist ein doppelreihiges Anbauschema vorzuziehen (siehe Kapitel 2.3). Dieses muss es den Maschinen erlauben, in die KUP hineinzufahren, ohne die Pflanzen nach einem drei- bis vierjährigen Wachstum zu beschädigen. Dazu sollten Abstände von 1,5 m zwischen und 0,75 m innerhalb der Doppelreihen, sowie von 0,5 bis 0,8 m zwischen den Stecklingen eingehalten werden. Dazu braucht man 5.000-20.000 Stecklinge pro Hektar, abhängig von der Sorte. Generell werden Weiden dichter gepflanzt als Pappeln.

Das Anpflanzen kann durch verschiedene Methoden erfolgen. Eine Möglichkeit ist es, spezielle, mechanische Pflanzmaschinen in Kombination einjähriger, langer Ruten als Pflanzmaterial zu verwenden (Abbildung 29). Diese Maschinen können zwei bis drei Doppelreihen gleichzeitig pflanzen. Sie erstellen automatisch Stecklinge aus den Ruten und pflanzen die Doppelreihen in einem einzigen Arbeitsschritt. Die Kapazität dieser Maschinen ist in etwa eine Stunde pro Hektar. Andere Maschinen sind lediglich in der Lage Bepflanzungen mit vorher zugeschnittenem Material durchzuführen (Abbildung 30).



Abbildung 29: Pflanzmaschine für Weiden-KUPs. Die Maschine pflanzt drei Doppelreihen und benötigt vier Personen plus Fahrer für ihre Handhabung. (Quelle: Nordh N-E.)



Abbildung 30: Maschine für die automatische Bepflanzung von KUPs mit Pappelstecklingen (Quelle: Wald 21)



Abbildung 31: Per Hand gepflanzte Pappelplantage in Einzelreihen (Quelle: Dimitriou I.)

Die **manuelle Pflanzung** kann bevorzugt werden, falls mechanisches Pflanzgerät nicht vorhanden ist oder wenn es so weit entfernt ist, dass es zu teuer wäre es zur Plantage zu transportieren (Abbildungen 31, 32 und 33). Auch wenn die Arbeitskosten geringer sind als die Miete des Geräts oder wenn die Flächen sehr klein sind (normalerweise < 1 ha), bietet sich die manuelle Pflanzung an. In diesem Fall ist es wichtig, die Reihen parallel zueinander zu pflanzen und die Abstände der Pflanzen innerhalb einer Reihe gleichmäßig zu halten, um so eine zu große Konkurrenz zwischen den Pflanzen zu vermeiden. Die Verwendung von Schnüren kann dabei hilfreich sein. Die Stecklinge sollten senkrecht per Hand oder Fuß in den gelockerten Boden gedrückt werden (ebenerdig), so dass am Besten nur die Schnittfläche sichtbar ist. Die Knospen müssen dabei immer nach oben zeigen.



Abbildung 32: Stecklinge, die von Hand in den Boden gedrückt werden (roter Pfeil): die Knospen müssen dabei immer nach oben zeigen (grüne Pfeile)! (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 33: Wenn der Boden zu kompakt ist, können Stecklinge auch mit dem Fuß in den Boden gedrückt werden. (Quelle: Rutz D.)

Mit Weiden und Pappeln wurden verschiedene Anpflanzsysteme getestet, um das vorherrschende Doppelreihensystem zu ersetzen und eine höhere Produktion zu erzielen. Eines dieser Systeme ist die horizontale Anpflanzmethode (Abbildung 34) von Weidenruten mit einer Flachpflanzmaschine. Anstatt Stecklinge vertikal in den Boden zu pflanzen, werden Wurzeln oder Ruten horizontal in den Boden gepflanzt. Dieses Vorgehen wurde weithin für die Stabilisierung von Böschungen und in Projekten zur Flussuferrenaturierung verwendet und wurde auch für die KUP-Produktion getestet. Ergebnisse zeigen, dass die Biomasseproduktion mit horizontaler Pflanzung ebenso hoch wie im Doppelreihensystem ausfallen kann. Allerdings kann die Bewirtschaftung vor allem bei der Ernte Schwierigkeiten mit sich bringen. Überdies kann das horizontale Pflanzen sehr teurer werden wenn teures,

lizenziertes Material verwendet wird, da insgesamt mehr Pflanzenmaterial benötigt wird, als in dem Doppelreihensystem mit Stecklingen.



Abbildung 34: Horizontal gelegte Weidenrute: die Rute muss noch mit Erdrich bedeckt werden
 (Quelle: Rutz D.)

Nach dem Pflanzen kann das Feld gewalzt werden, um die Oberfläche zu festigen und die bestmöglichen Bedingungen für die eventuelle Ausbringung von Herbiziden zu schaffen. Die Notwendigkeit zum Herbizideinsatz wird indes von den Bodenbedingungen und der Unkrautbelastung vorgegeben. Wenn Pflanzmaschinen verwendet werden, walzen diese den Boden oft schon im gleichen Arbeitsschritt mit dem Pflanzen.

4.4 Bewirtschaftung der Plantage

An das Anpflanzen schließen sich verschiedene Maßnahmen zum Erhalt einer KUP an. Diese werden in chronologischer Reihenfolge in diesem Teil des Handbuches beschrieben. Besondere Beachtung wird dabei den weit verbreiteten Arten der Weide und der Pappel in Stecklingskulturen auf Ackerland geschenkt. Einzelstämmige Plantagen stehen eher im Hintergrund, da deren Bewirtschaftung ähnlich wie forstwirtschaftliche Prozesse ablaufen.

Unkrautbekämpfung nach dem Anpflanzen: Wie zuvor schon erwähnt, ist die Unkrautbekämpfung während der Errichtungsphase einer KUP extrem wichtig. Dabei sollte das Unkraut sowohl vor dem Pflanzen, aber auch in der ersten Wachstumsphase des ersten Jahres nach Anlage bekämpft werden. Unkrautbekämpfung ist wichtig, da Pflanzen um Licht, Wasser und Nährstoffe konkurrieren. Auf einer Plantage mit viel Unkraut werden die KUP-Pflanzen langsamer wachsen und schwächer sein. Eine häufig angewandte Methode dies zu vermeiden ist es, ein passendes Bodenherbizid auszuwählen und so das Unkraut in der Phase zwischen Anpflanzung und Austrieb der KUP-Stecklinge am Keimen zu hindern (Gustafsson *et al.*, 2007). Wie in Kapitel 4.1 erklärt, kann man in Betracht ziehen, Unkraut lediglich mechanisch zu bekämpfen. Dies ist vor allem dann angezeigt, wenn es sich um kleinere Flächen handelt.

Später im Jahr, nachdem die Wirkung des Herbizids nachgelassen hat, muss die Plantage regelmäßig beobachtet werden, um zu entscheiden, ob weitere Unkrautbekämpfung nötig ist. Mechanische Maßnahmen (Abbildung 35) können zu diesem Zeitpunkt erforderlich sein, um das Unkraut unter Kontrolle zu halten. Falls Unkrautbekämpfung mit einer Ackerfräse durchgeführt wird, wird empfohlen drei Behandlungen pro Saison zu vollziehen. Wenn sie

jedoch mit einer Egge durchgeführt wird, können mehr Behandlungen (z.B. 6-8 je nach Standort) erforderlich sein. Die Methode oder die Ausrüstung ist von nachgeordneter Bedeutung. Zentral ist hingegen, dass Unkrautbekämpfung überhaupt durchgeführt wird, sofern Unkraut vorhanden ist. Der Zeitpunkt der Unkrautbekämpfung nach dem Anpflanzen der KUP ist von äußerster Bedeutung für den Erfolg der Pflanzung. Als Faustregel für den Weiden-KUPs gilt, mechanische Unkrautbekämpfung sollte durchgeführt werden, falls es zwei bis drei Unkrautarten gibt, die höher als 8 cm gewachsen sind. Wenn die Unkrautbekämpfung gemäß den hier geäußerten Empfehlungen durchgeführt wird, sind keine weiteren Maßnahmen in den Folgejahren nötig, da die KUP-Pflanzen die ggf. vorhandenen Unkräuter schon im zweiten Wachstumsjahr überragen und ihnen die Sonne nehmen.



Abbildung 35: Eine ein Jahr alte Weiden-KUP mit Unkraut überwuchert. Das Feld kann nur noch durch mechanische Unkrautbekämpfung behandelt werden, da schon Weidenblätter gekeimt sind (auf dem Foto nicht sichtbar). (Quelle: Dimitriou I.)

Insektenbekämpfung: Falls es an einem gegebenen Standort Probleme mit Insekten geben sollte, kann ein Insektizid in Kombination mit einem Herbizid verabreicht werden, da sie sich zu diesem Zeitpunkt oft noch im Larvenzustand befinden und deshalb leichter angreifbar sind. Es sollten besser größere Mengen (als niedrige Mengen mit hoher Dosierung) ausgebracht werden, da so eine gute Flächendeckung mit dem Herbizid und eine angemessene Einwirkung durch das Insektizid sichergestellt werden kann. Nichtsdestotrotz sollte der Bedarf von Chemikalien gründlich beurteilt und wo möglich vermieden werden. Normalerweise ist der Gebrauch von Insektiziden nicht nötig.

Zurückschneiden nach dem ersten Jahr: Wie erwähnt, kann ein erstes Abernten der Pflanzen nach dem ersten Jahr erfolgen, um so ein stärkeres Wachstum mit mehr Trieben und besserer Wurzelbildung im zweiten Jahr zu erreichen. Dies muss im Winter und

nachdem alle Blätter abgefallen sind geschehen. In der ersten Wachstumsphase werden die eingesetzten Stecklinge 1-3 Triebe (je nach Sorte) bilden und maximal 2-3 m hoch wachsen. Das Stutzen sollte so nahe wie möglich am Boden und mithilfe eines Schlegelmähwerkes stattfinden. Dies sollte zu einem saubereren Schnitt führen, während andere Arten von Mähmaschinen, z.B. Schwadmäher, beträchtliche Schäden anrichten können.

Obwohl das Stutzen eine gängige Praxis war, als KUP-Systeme erstmals in den frühen Neunzigern entwickelt wurden, ist das Thema noch immer umstritten. Obwohl durch das Zurückschneiden ein verstärktes Austreiben und eine bessere Wurzelbildung erreicht wird, konnte keine erhöhte Biomasseproduktion auf die Gesamtlebenszeit einer KUP nachgewiesen werden. Deshalb kann darauf verzichtet werden. Dennoch kann das Stutzen eine zweite Chance eröffnen, ein Herbizid auszubringen, falls dies aufgrund von z.B. klimatischen oder standortbedingten Umständen nötig sein sollte.

Manche Fachmänner empfehlen bei Pappel-Plantagen alle Triebe bis auf den Hauptstamm zurückzuschneiden (Abbildung 36). Dies soll die Entwicklung und das Wachstum des Einzelstammes unterstützen. Allerdings hat die Erfahrung gezeigt, dass auch hier der Aufwand zu groß und die Vorteile vernachlässigbar sind.



Abbildung 36: Ein einjähriger Pappeltrieb in Deutschland, bei dem ein zweiter Austrieb abgeschnitten wurde, um das Wachstum des Haupttriebes zu verbessern. (Quelle: Rutz D.)

Düngung: Wie bei jeder Pflanze, die auf Ackerboden mit dem Ziel einer möglichst hohen Produktion angebaut wird, benötigt eine KUP einen gewissen Nährstoffeintrag, da ein Teil der Nährstoffe mit der Ernte entzogen wird. Da es sich bei KUPs um mehrjährige Pflanzen handelt wird ein Teil der Nährstoffe durch Laub und abgestorbene Wurzeln recycelt. Um eventuelle Düngungen zu planen sollte die Nährstoffverfügbarkeit im Boden des Standortes vor der Errichtung einer KUP analysiert werden. Es wurde umfangreiche Forschung

betrieben, um die optimale Menge und Häufigkeit der Düngung für Weide und Pappel in verschiedenen Ländern herauszufinden. Es scheint aber unmöglich generelle Empfehlungen auszusprechen, da der Düngungsbedarf in den meisten Fällen hochgradig standortspezifisch ist. Düngung während des ersten Jahres nach Errichtung wird nicht empfohlen, da die Wurzeln der KUP noch nicht vollständig entwickelt sind und eine effektive Aufnahme nicht sichergestellt werden kann. Außerdem könnte eine Düngung zum Wachstum von Unkraut beitragen, was verhindert werden soll. Sobald die KUP gut etabliert ist, kann eine Düngung in Betracht gezogen werden. Mehrere Experimente zeigen, dass es auf mäßig fruchtbaren bis fruchtbaren Böden, vor allem in der frühen Umtriebszeit, keine positiven Reaktionen auf zusätzliche Düngung gibt. Standorte mit einer geringeren Bodenfruchtbarkeit sind eher auf zusätzliche Düngungen angewiesen, um so eine gleichmäßige Produktivität aufrechterhalten zu können. Falls überhaupt notwendig muss normalerweise nur Stickstoff in der anfänglichen Umtriebszeit ausgebracht werden. Phosphor und Kalium sind in der Regel, vor allem für die frühen Umtriebsperioden, in ausreichendem Maße vorhanden. Daher können anorganische Stickstoffdünger zur Anwendung kommen (Aronsson *et al.*, 2014).

Klärschlamm von lokalen Kläranlagen kann ebenso verwendet werden (worauf im weiteren Verlauf des Handbuches noch eingegangen wird), wobei dieser aber mit zusätzlichem Stickstoff angereichert werden sollte. Der Bedarf an Stickstoff variiert in Abhängigkeit vom Alter der KUP und dem Entwicklungsstand der Triebe. In älteren Pflanzungen wird Stickstoff aus der Schicht der verrottenden Blätter am Boden freigesetzt, was dazu führt, dass der Bedarf an zusätzlicher Düngung reduziert ist. Im Prinzip handelt es sich um genau die Menge des in den geernteten Trieben enthaltenen Stickstoffs, der durch künstliche Düngung wieder zugeführt werden kann.

Zahlen zum Nährstoffentzug durch das Ernten von Weiden variieren, befinden sich aber, z.B. in Schweden, im Bereich von 150 – 400 kg Stickstoff, 180 – 250 kg Kalium und 24 – 40 kg Phosphor pro Hektar bei einer Umtriebszeit von drei Jahren und einer Biomasseproduktion von ca. 8 t Trockenmasse/ha/Jahr. Zum Vergleich, intensiv bewirtschaftetes Grünland würde über drei Jahre etwa 900 kg N/ha brauchen. Dies zeigt den relativ niedrigen Stickstoffbedarf von KUPs im Vergleich zu anderen Feldfrüchten. Um den Betrag von Stickstoff zu berechnen, der für die Düngung einer KUP benötigt werden würde, muss die Effizienz der Stickstoffnutzung beachtet werden. Ein signifikanter Anteil des Nährstoffes wird von der Mikroflora des Bodens verbraucht, an die Atmosphäre abgegeben oder in den Blättern und Wurzeln der KUP gebunden, wobei dieser letzte Anteil über die Blattabfälle und den Feinwurzelumsatz recycelt wird.

Phosphor- und Kaliumzusatz sind bei KUPs in der Regel nicht notwendig. Erhöhte Phosphormengen im Boden erreicht man nur mit mehreren Ausbringungen in aufeinander folgenden Jahren und der geringe Phosphorbedarf von KUPS rechtfertigt diese Ausbringungen nicht. Kalium kann im Boden relativ stabil sein und ist oft nicht pflanzenverfügbar. Die Rückführung von Holzasche zum Standort (mehr Details zu solchen Praktiken werden später im Handbuch noch beschrieben) kann den Großteil des durch die Ernte entnommenen Kaliums ausgleichen.

Als eine sehr grobe Empfehlung für die Düngung einer Weiden-KUP, die alle oben beschriebenen Gesichtspunkte, sowie eine Bodenanalyse und die erwarteten Erträge miteinbezieht, können folgende Zahlen herangezogen werden: die Nährstoffzufuhr auf KUPs sollte 120-150 kg Stickstoff, 15 – 40 kg Phosphor und 40 kg Kalium pro Hektar und Jahr nicht überschreiten (und sich dabei eher an den unteren Werten orientieren). Dieselben Faustregeln gelten auch für die anderen Arten für KUPs. Ein potentieller KUP-Betreiber sollte beachten, dass die technische Düngung auf KUPs im ersten und möglicherweise im zweiten Jahr möglich sind, nicht aber im dritten oder vierten Jahr, da es die Höhe der Pflanzen verhindert Düngemaschinen zu verwenden.

Neuere Forschungen zur Düngung auf KUPs mit neu gezüchteten Klonen haben gezeigt, dass dieses Pflanzenmaterial stärker auf Düngung reagiert, als ältere Klone (Aronsson *et al.*, 2014). Diese Feststellung liefert also wahrscheinlich die Antwort auf die Frage, ob ein

Landwirt düngen sollte oder nicht. Pflanzungen mit neuem Zuchtmaterial implizieren die Notwendigkeit der Düngung und das ggf. sogar mit größeren Mengen Stickstoff als zuvor nahegelegt (natürlich nur, wenn es nicht zu Stickstoffauswaschung kommt). Selbstverständlich hängt die Antwort, ob ein Landwirt düngen sollte oder nicht, auch von den aktuellen Düngerpreisen (z.B. 1 kg/N) und den zu erwartenden Ertragssteigerungen ab.

5 Ernte von KUPs

Die Ernte ist ein sehr wichtiges Thema in der Bewirtschaftung einer KUP, da sie 50-80% der gesamten Produktionskosten verursacht (Liebhard 2007). Daher beeinflusst sie die Wirtschaftlichkeit eines KUP-Projektes ganz maßgeblich.

Die Ernte sollte im Winter, nach dem Fallen der Blätter, vor dem Austrieb und idealerweise bei gefrorenem Boden erfolgen. Je nach der Verwendung des Endproduktes, wird eine KUP in Intervallen von zwei bis zwanzig Jahren geerntet. Verschiedene Praktiken, Techniken und Ausrüstungen stehen für die Ernte einer KUP zur Verfügung. Ihr Einsatz hängt von folgenden Faktoren ab:

- **Art und Sorte der verwendeten Pflanzen:** Anzahl und Durchmesser der Stämme
- **Erwünschtes Endprodukt:** Hackschnitzel, Pellets, Scheitholz
- **Qualität des Endproduktes:** Form der Hackschnitzel, Feuchtigkeitsgehalt
- **Verfügbarkeit der Maschinen:** eigene Maschinen oder Kooperation mit einem Subunternehmer
- **Gestaltung der Plantage:** Einzel- oder Doppelreihen, Abstand zwischen den Reihen
- **Größe und Form des Feldes:** großes oder kleines Feld, Gefälle
- **Menge des geernteten Holzes:** logistische Rahmenbedingungen, Ernteintervalle
- **Bodenfeuchtigkeit:** Befahrbarkeit durch Maschinen

Generell sollten die Stämme bei der ersten Ernte nahe dem Boden geschnitten werden und in den folgenden Ernten jeweils pro Ernte 1-2 cm höher. Es sollte sich um einen glatten, horizontalen Schnitt ohne Ausfransungen handeln, um die Größe des Schnittes zu minimieren.

5.1 Erträge

Die Erträge einer KUP hängen maßgeblich vom Standort, Klima (Temperatur und Wasserverfügbarkeit) und Bodentyp ab. Arten, Sorten und Klone müssen für jeden Standort sorgfältig ausgewählt werden, um den Ertrag zu maximieren. In Nordeuropa ist eines der Hauptkriterien die Frostbeständigkeit, wohingegen in Südeuropa eher die Resistenz gegen Trockenheit ausschlaggebend ist. Vor dem Hintergrund der großen Unterschiede in Europa zeigt Tabelle 8 einige Hauptmerkmale und Erträge für Weide, Pappel und Robinie.

Neben den abiotischen Faktoren kann auch der Landwirt die Erträge erheblich beeinflussen: dies geschieht durch Praktiken der Bewirtschaftung, der allgemeine Ackerbau, die Auswahl der KUP-Arten und Sorten, Schädlings- und Unkrautbekämpfung sowie Düngung.

Der Erntezyklus bzw. die Ernteintervalle hängen vom Zweck der KUP ab. Typischerweise liegen die Intervalle bei ein bis sieben Jahren, können aber auf bis zu zwanzig Jahre ausgedehnt werden. Normalerweise wird die Pflanzung nach 20-30 Jahren entweder erneut gepflanzt oder durch eine andere Pflanzung ersetzt.

Erzielbare jährliche Erträge liegen in Europa in der Spanne von 5-18 t/ha Hackschnitzeltrockenmasse (Trockenmasse; 0% Feuchtigkeit). Die Gesamtmenge der Biomasse einer Ernte wird durch den Jahresertrag, die Jahre des Anbaus und den Wassergehalt (der bei frisch geerntetem Holz typischerweise bei 55% liegt) berechnet. Wenn der Jahresertrag z.B. bei 10 t/ha trockener Hackschnitzel liegt und das Ernteintervall 4 Jahre beträgt liegt der Ertrag der Ernte bei 40 t/ha. Geht man von einem Wassergehalt von 50% (Holzfeuchte 100%) aus, liegt der Ertrag bei 80 t/ha.

Normalerweise fallen die Erträge der ersten Ernte geringer aus, als jene der zweiten und dritten Ernte. Danach, je nach Rahmenbedingungen, können die Erträge für die nächsten Ernten stabil sein und dann, mit zunehmendem Alter der Plantage, abnehmen. Allgemeine Ratschläge, wie die Erträge gesteigert werden können, finden sich in Box 4.

Tabelle 8: Überblick über die Hauptcharakteristika von Kurzumtriebsplantagen (KUPs) (Quelle: modifiziert nach Dallemard et al. 2007)

Art	Weide	Pappel	Robinie
Gebiet	Nord-, Zentral- und Westeuropa	Zentral- und Südeuropa	Mediterranes Europa, Ungarn und Polen
Dichte (Wurzelstöcke je Hektar)	12.500 – 15.000	8.000 – 12.000	8.000 - 12.000
Ernteintervall (Jahre)	1 - 4	1 - 6	2 - 4
Durchschnittlicher Stammdurchmesser bei Ernte (mm)	15 - 40	20 - 80	20 - 40
Durchschnittliche Höhe bei Ernte (m)	3,5 - 5,0	2,5 - 7,5	2,0 - 5,0
Gewachsener Bestand bei Ernte (frisch t/ha)	30 - 60	20 - 45	15 - 40
Wassergehalt des Holzes	45 - 62	50 - 55	40 - 45

Box 4: Wie können Erträge aus KUPs maximiert werden? (modifiziert nach Lindegaard 2013)

Planen Sie frühzeitig: Sie müssen rechtzeitig beginnen sich Gedanken über die Anpflanzung Ihrer KUP zu machen, am besten schon ein Jahr zuvor. Dies wird Ihnen die benötigte Zeit verschaffen, um sich für Leistungszuzahlungen zu bewerben und Ihr Land nach den bewährten Verfahren vorzubereiten. Im Spätsommer/ Frühherbst können Sie beginnen Unkraut zu entfernen und das Land zu pflügen.

Seien Sie gut vertraut mit Ihrem Land: Wie alle Feldfrüchte werden KUPs am besten auf gut geeignetem Land wachsen. Deshalb müssen Sie die wichtigsten Parameter Ihres Landes kennen: Bodenbeschaffenheit und Wasserverfügbarkeit. Wenn Sie eine Saat auf Ihr schlechtestes Land ausbringen, werden Sie mit großer Sicherheit eine enttäuschende Ernte erzielen. Weiden beispielsweise wachsen am besten auf fruchtbarem Ackerland mit einem pH-Wert zwischen 5,5-8,0. Sie wachsen gut auf schweren Braunerdeböden mit hohem Tongehalt, während schluffige und leicht sandige Böden vermieden werden sollten. Weiden-KUPs brauchen einen jährlichen Niederschlag von 600-1.000 mm.

Entwässerungssysteme können in Mitleidenschaft gezogen werden – pflanzen Sie also mindestens 30 m entfernt von wichtigen Abwasserrohren. Wie bei allen Feldfrüchten erreicht man die beste Kosteneffizienz auf großen, gleichmäßigen Feldern. Kleinere, unregelmäßig geformte Felder erhöhen den Zeitaufwand sowie die Kosten für Pflanzung und Ernte.

Unkrautbekämpfung: KUPs wachsen sehr schnell, sollten aber in der Errichtungsphase möglichst wenig Konkurrenz durch Unkraut haben. Unkrautbekämpfung beginnt mit der Bodenbereitung im Herbst und wird während des ersten Jahres der Pflanzung fortgeführt. Immer wenn möglich, sollten Techniken ohne chemischen Input zur Unkrautbekämpfung herangezogen werden. Dies hängt aber auch von der Größe des Feldes, den Unkrautarten, den KUP-Arten und anderen Faktoren ab.

Verwenden Sie die besten Sorten: Die Pflanzen für KUPs sollten sorgfältig getestet und genehmigt werden, bevor sie zum Einsatz kommen. Solche Pflanzen erbringen wesentlich höhere Erträge als nicht-optimierte Sorten. Wenn möglich sollten lokale Züchtungen benutzt werden. Sie brauchen eine Mischung von Sorten, die zum einen hohe Erträge garantieren und zum anderen einen breiten genetischen Hintergrund haben, um sich so gegen Krankheiten und Schädlinge zu wappnen. Die Wahl der richtigen Sortenzusammenstellung ist essentiell für den Erfolg und die Vermeidung von Schädlingsbefall und Krankheitsausbruch.

Nehmen Sie Verbindung zu Ihrem Pflanz-Subunternehmer auf: In vielen Fällen werden Sie die KUPs nicht selber pflanzen, sondern einen Subunternehmer mit dieser Dienstleistung beauftragen. Kontaktieren Sie diesen Subunternehmer mit genügend Vorlaufzeit und fragen Sie nach Empfehlungen. Fragen Sie andere Landwirte nach deren Erfahrungen mit dem Subunternehmer. Lücken in der Pflanzung, wo die Stecklinge nicht austreiben, sind oft auf Fehler beim Anpflanzen zurückzuführen. Es rentiert sich für das Anpflanzen lieber mehr Zeit in Anspruch zu nehmen, dafür aber eine höhere Erfolgsrate zu haben und die Anzahl von Lücken gering zu halten. Bedenken Sie: die Qualität der Pflanzung ist wichtiger als ein sehr niedriger Preis.

Schließen Sie die Lücken: Egal wie sorgfältig Sie oder Ihre Pflanzunternehmer sind, es wird immer Lücken geben, an denen ein Steckling vergessen oder nicht ordentlich eingepflanzt wurde. Wenn Sie zurückschneiden/ernten, werden Sie eine Menge Material haben, um die Lücke zu schließen. Nach der ersten Ernte können Sie Ruten von einem Meter Länge oder Stecklinge in die Lücken einsetzen.

Reduzieren Sie Schäden durch Wildverbiss: Wild, wie Kaninchen, Feldhasen und Rehe können der Pflanzung ernsthaften Schaden zufügen. Dies gilt vor allem für kleine Plantagen und Gegenden mit hoher Wilddichte. Kooperieren Sie mit dem lokalen Jäger und unterstützen Sie ihn Hochsitze zu erbauen, um das Wild zu regulieren und abzuschrecken. Der Einsatz von Duftstoffen kann ebenfalls helfen Wild fernzuhalten. Eine andere mögliche Maßnahme ist der Bau eines Zaunes. Dies ist sehr teuer, kann sich auf lange Sicht aber lohnen. Hohe Erträge über einen Zeitraum von 20 Jahren hängen ganz maßgeblich von den kritischen ersten Monaten der Einrichtung einer KUP ab. Sie sollten dabei die Preise vergleichen, um das beste Angebot eines Subunternehmers zu bekommen.

Düngen Sie mit organischen Abfällen: KUPs gedeihen mithilfe von Nährstoffen. Sie sollten in der Lage sein, organische Dünger wie Jauche, verarbeiteten Klärschlamm und Abfälle oder Gärreste aus Biogasanlagen auszubringen. Der beste Zeitpunkt dafür ist direkt nach der Ernte. Normalerweise ist umso mehr Düngung nötig, je älter die Anlage ist. Bedenken Sie, sich bei der Düngung Ihrer Flächen an relevante Vorschriften, die Gesetzgebung und die Bedingungen für eventuelle Leistungszuzahlungen zu halten.

Maximieren Sie Ihre Ernteerträge: Wenn es zur Ernte kommt, sollten Sie sicherstellen, dass alle Pflanzen auf Ihrem Feld auch erfasst werden. In vielen Fällen, werden Sie einen Subunternehmer mit der Ernte beauftragen. Es ist wichtig, einen erfahrenen Dienstleister

zu haben, um Maschinenfehlbedienungen oder auch das Verschütten von Pflanzenmaterial von überfüllten Anhängern zu vermeiden. Nahe über dem Boden, wo geschnitten werden soll, sind die Stämme am dicksten und haben die größte Masse. Deshalb ist es sehr wichtig, dass die Klingen der Erntemaschinen korrekt angebracht sind. Überdies wachsen die Pflanzen besser nach, wenn die Schnitte glatt und ohne Ausfransungen durchgeführt werden. Außerdem wird mit scharfen Klingen eine bessere Hackschnitzelqualität erreicht.

Minimieren Sie Verluste bei der Lagerung: Versuchen Sie Verluste bei der Lagerung nach der Ernte zu minimieren. Die Lagerung und Nachbehandlung (Trocknung) der Hackschnitzel/Stäbe hängt von der Erntemethode sowie dem geplanten Verwendungszeitpunkt und der angepeilten Qualität des Endproduktes ab. Versuchen Sie, die für Sie beste Methode der Reduktion von Lagerungsverlusten zu minimalen Preisen herauszufinden.

5.2 Ernteintervalle

Typische Ernteintervalle sind zwischen einem und sieben Jahren (kurzer Umtrieb), können aber auch bis zu zwanzig Jahren gestreckt werden (langer Umtrieb). Normalerweise wird eine Pflanzung nach 20-30 Jahren entweder neu gepflanzt oder durch andere Feldfrüchte ersetzt. Es gibt keine exakten Regeln für die Dauer eines Ernteintervalls, da diesbezügliche Entscheidungen von Standort zu Standort individuell und auf der Basis der verschiedenen Rahmenbedingungen getroffen werden sollten (Tubby & Armstrong 2002). Deshalb wird der Zeitpunkt der Ernte vom Betreiber der KUP festgelegt. Er bestimmt ihn gemäß der folgenden Faktoren:

- **Verwendete Arten auf der KUP:** bester Zeitpunkt für den Stockausschlag, Maximierung der Erträge der spezifischen Baumart
- **Standorterfassung:** ein geschlossenes Blätterdach fängt das meiste Sonnenlicht ein und ist deshalb auf dem Gipfel seiner Produktivität; der Zeitpunkt dazu hängt von der Art ab und bestimmt so den idealen Erntezeitpunkt.
- **Erwünschtes Endprodukt:** Hackschnitzel, Scheitholz; Qualität des Materials
- **Verfügbarkeit der Erntemaschinen:** zur Haupterntezeit können Subunternehmer ausgebucht sein; frühzeitige Planung ist deshalb nötig.
- **Zustand des Bodens:** die Ernte sollte bei trockenem oder gefrorenem Boden stattfinden; in einigen Jahren und Regionen ist es besser die Ernte zu verschieben, wenn der Zustand des Bodens nicht entsprechend ist und man Gefahr läuft beim Ernten den Boden und die Pflanzen zu beschädigen.
- **Angepeilter Zeitpunkt des Kapitalflusses:** dieses Kriterium hängt mit den umfassenden Managementzielen des Betreibers zusammen.
- **Hackschnitzelpreise:** der Betreiber kann auf höhere Holzpreise warten, um mehr Einkünfte zu erwirtschaften; Preise sind allerdings nicht vorhersagbar und können von Spekulationen abhängig sein.
- **Eigener Heizbedarf:** sofern die Hackschnitzel für den Eigenbedarf genutzt werden, sollten sie jedes Jahr zur Verfügung stehen.
- **Andere Vorteile:** Erhöhung der Biodiversität, Wildschutz etc.

Das Ernteintervall hat einen großen Einfluss auf die benötigte Logistik. Je länger das Intervall zwischen zwei Ernten, desto höher ist die Menge an Biomasse pro Ernte. Diese setzt sich

aus der Multiplikation des Wachstums eines Jahres mit der Anzahl der Jahre zusammen. Manche Betreiber haben möglicherweise nicht die logistischen Kapazitäten (Lagerungseinrichtungen, Transporter, Arbeitskraft), um große Mengen von Biomasse nach längeren Ernteintervallen bewältigen zu können. Um die Arbeitsbelastung und die Risiken zu verteilen, können auch verschiedene KUP-Flächen rotierend geerntet werden, so dass es jedes Jahr eine Ernte gibt, anstatt alle Flächen auf einmal zu ernten.

Darüber hinaus wird auch die jeweils benötigte Technologie durch das Ernteintervall bestimmt. Je älter eine Pflanze ist, desto dicker ist ihr Stamm und desto schwerer muss das Gerät sein. Allgemein sind die Durchmesser der Stämme der Bäume am Rande einer Pflanzung größer, da diese Bäume mehr Licht und Wasser erhalten, als die Pflanzen im inneren der Plantage.

5.3 *Eigenschaften des geernteten Materials*

Normalerweise ist das Endprodukt von KUPs Hackschnitzel, die meistens für Verbrennungsprozesse genutzt werden. Sie können aber auch für die Zellstoff- und Papierindustrie oder andere Bioprodukte verwendet werden. Es war beispielsweise geplant große Mengen von KUP-Hackschnitzeln für die Herstellung von BtL-Kraftstoffen (Biomass to Liquid, deutsch: *Biomasseverflüssigung*) in Deutschland zu produzieren (Rutz et al. 2008).

Je nach Erntemethode, fallen verschiedene Zwischenprodukte an, die die Eigenschaften (vor allem Form und Größe, aber auch den Feuchtigkeitsgehalt) der Hackschnitzel beeinflussen können. Zwischenprodukte können nach den folgenden Kategorien klassifiziert werden (DEFRA 2014):

- **Ruten:** geerntete Stämme mit bis zu 8 m Länge
- **Bündel:** zu Bündeln gebundene Ruten
- **Billets:** Schnittmaterial von 5 – 15 cm Länge
- **Hackschnitzel:** Schnittmaterial von bis zu 5 x 5 x 5 cm Größe

Frisch geerntetes Holz hat in der Regel einen Wassergehalt von 40-60%. Viele Konsumenten von Hackschnitzeln, vor allem jene mit kleinen Boilern, sind aber auf einen Feuchtigkeitsgehalt von unter 20% (17% Wassergehalt) angewiesen. Je geringer der Feuchtigkeitsgehalt, desto höher ist die Qualität der Hackschnitzel und desto höher ist die Lagerfähigkeit.

Lose Ruten (Abbildung 45) und Bündel können am Rand der KUP oder auch am Bauernhof gelagert werden und trocknen in 4-6 Monaten auf ca. 30% Feuchtigkeitsgehalt runter. Das Zwischenprodukt von Ruten und Holzhackschnitzeln sind Billets, die in Haufen getrocknet werden können. Wegen der großen Zwischenräume in den Haufen kommt es zu natürlicher Belüftung, was das Trocknen erleichtert und Schwierigkeiten der Lagerung von Hackschnitzeln (Kapitel 5.5) entgegenwirkt.

Obwohl die Produktion von Ruten, Bündeln und Billets den Vorteil mit sich bringt, dass das Trocknen relativ einfach ist, hat das Hacken des trockenen Materials normalerweise negative Auswirkungen auf die Qualität der Hackschnitzel. Das hat damit zu tun, dass der Schnitt aus frischem Material scharfkantiger ist, als jener aus trockenem Material. Außerdem ist der Feinanteil beim Hacken trockenen Materials höher und die Größe der Hackschnitzel ist weniger homogen.

5.4 *Erntemethoden*

Es stehen unterschiedliche Erntemethoden zur Auswahl. KUP-Pflanzen können **in einem einzigen Arbeitsschritt** geschnitten und gehackt werden. Alternativ können sie zunächst geschnitten und als Stämme oder vorgehackte Stababschnitte auf dem Feld zur

Lufttrocknung liegen gelassen werden, wobei das Hacken dann zu einem späteren Zeitpunkt **separat und in einem zweiten Arbeitsschritt** erfolgt.

Es gibt verschiedene Technologien für die Ernte von Hackschnitzeln, die miteinander kombiniert werden können. Sie können nach dem Automatisierungsgrad und der eingesetzten Maschine klassifiziert werden (siehe Tabelle 9).

Die Maschinen für die Ernte von KUPs werden laufend weiterentwickelt. Die folgenden Maschinen können für eine mechanisierte Ernte herangezogen werden:

- **Holzernter:** Erntegeräte aus der Forstwirtschaft sind ohne weiteres verfügbar. Sie schneiden auch Bäume mit größerem Stammdurchmesser. Da die Stämme von KUPs gewöhnlich nicht allzu dick werden, können kleinere und leichtere Erntemaschinen zum Einsatz kommen. Erntemaschinen beinhalten normalerweise keine Ausrüstung für das Hacken, so dass zusätzliche Maschinen benötigt werden. Manchmal werden Greifarme an einen Bagger angebracht (Abbildung 40).
- **Anbaugeräte:** Erntevorrichtungen, die an einen Traktor montiert werden können gibt es in vielen Ausführungen. Sie kann auf existierende Traktoren des KUP-Betreibers montiert werden und kann Werkzeuge zum kombinierten Schneiden und Hacken, nur zum Schneiden oder nur zum Hacken beinhalten. In Kombination kann die Ausrüstung die Stämme fällen und sie dann direkt Hacken, indem sie sie entweder horizontal dem Hacker zuführt oder aber sie direkt in einer aufrechten Position verarbeiten, wie von Ehlert et al. (2013) vorgeschlagen.
- **Vollernter:** Vollernter sind selbstfahrende, speziell entwickelte Erntemaschinen (Abbildungen 38 und 39) oder modifizierte Erntemaschinen (Abbildung 37), die die Pflanzen, gleichzeitig schneiden und häckseln; ähnlich wie z.B. Mähdrescher Maispflanzen gleichzeitig ernten und silieren. Einige Hersteller bieten diese Maschinen bereits an. Im Falle, dass sie nicht Hackschnitzel, sondern Billets produzieren, werden sie auch Billet-Harvester genannt.

Vollernter und Anbaugeräte, die in einem Schritt schneiden und hacken, basieren auf Technologien von Feldhäckslern oder Zuckerrohrerntemaschinen. Die Vollernter einiger Hersteller, wie Claas (Jaguar) (Abbildung 37), Austoft (7700) und New Holland (Abbildung 38 und 39) können mit speziellen Aufsätzen für die Ernte von KUPs ausgerüstet werden. Weitere Verbesserungen und Entwicklungen können in den kommenden Jahren erwartet werden, wenn mehr KUPs angebaut werden.



Abbildung 37: Vollernter "Jaguar" von Claas (Quelle: Dimitriou I.)



Abbildung 38: Vollernter von New Holland mit Hackschnitzelanhängen (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 39: Aufsatz des Vollernters von New Holland (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 40: Greifarm, der für die Pappel-Ernte in Österreich an einen Bagger montiert wurde (Quelle: Mergner R.).

Für sehr dünne Ruten, wie z.B. Weiden, gibt es Ballenpressen, die runde Ballen, ähnlich Heu- oder Strohballen, herstellen. Solch eine Technologie wird beispielsweise als „Biobaler“ (Abbildung 41) von der Firma Andersons Canada angeboten (Caslin et al. 2010).

Technologien für ein separates Hacken (Abbildung 43) sind ohne weiteres verfügbar, z.B. von Jenz, Komptech, Husman, Jensen, Pezzolato, Spapperi, Heizomat, Vogt, etc. Diese können mobil oder stationär sein, auf einen Anhänger verladen werden, direkt an einen Traktor angebracht werden oder selbstfahrend sein. Oftmals verfügen sie über einen Kran, der verwendet wird, um das System zu befüttern. Wenn sie keinen eigenen Kran haben, kann auch ein dafür extra hinzugezogener Kran benutzt werden. Bezüglich des Hackprozesses gibt es drei verschiedene verfügbare Technologien:

- **Trommelhacker:** diese Technologie verfügt über eine große, rotierende Stahltrommel mit bis zu zwanzig montierten Klingen. Die Trommel dreht sich in Richtung der Schüttrinne und dient gleichzeitig als Vorschubmechanismus, der das Material mit dem Hacken weiterbefördert. Hackmaschinen dieser Art sind sehr laut und benötigen besondere Sicherheitsvorkehrungen, da es zu Verletzungen und sogar zum Tode führen kann, falls ein Arbeiter erfasst wird, während Material in die Maschine befördert wird. Die produzierten Hackschnitzel können sehr groß sein und bei sehr feinem, zugeführtem Material kann es passieren, dass es sich bei dem Endprodukt eher um Splitter als um Hackschnitzel handelt. Moderne Trommelhackmaschinen können Stämme mit 15-50 cm Durchmesser hacken.
- **Scheibenhacker:** Der Scheibenhacker hat eine sich drehende Stahlscheibe mit zwei bis vier Klingen. Das Material wird von hydraulisch betriebenen Walzen vom Einfülltrichter hin zur Hackscheibe transportiert, die sich senkrecht zum eingehenden

Material dreht. Durch die Drehung der Scheibe schneiden die Klingen das Material zu Hackschnitzeln. Diese werden durch den Auslaufstutzen ausgeworfen. Diese technische Ausgestaltung ist nicht so energieeffizient wie der Trommelhacker, produziert aber Schnitzel mit gleichmäßigerer Form und Größe. Konsumentengerechte Scheibenradhacker haben für gewöhnlich ein Materialfassungsvermögen mit einem Durchmesser von 15-46 cm. Hackmaschinen diesen Typs für industrielle Zwecke sind mit Scheiben von bis zu 4,1 m Durchmesser zu haben.

- **Schneckenhacker:** das Innere eines Schneckenhackers besteht aus einer gestreckten, kegelförmigen und schraubenartig geformten Klinge. Diese Spiralklinge hat scharfe Kanten und verläuft parallel zum eingeführten Holz. Durch die spiralartige Bewegung wird das Holz in die Maschine hineingezogen.

Für Plantagen mit längerem Umtrieb können auch spezielle Holzerntemaschinen der Forstwirtschaft zum Einsatz kommen: schwere Forstfahrzeuge, die fällen, entasten und das Holz zuschneiden. Holzvollernter (Harvester) werden normalerweise zusammen mit einem Rückefahrzeug eingesetzt, der die Stämme zu einem Lagerplatz an der Straße transportiert. Erntemaschinen werden von vielen Herstellern, wie z.B. John Deere, Caterpillar, Hyundai, Valmet, Rottne, Dorfmeister u.a. angeboten.

Ein neues Konzept wurde von der Firma Anderson entwickelt: ein sogenannter Biobaler (Abbildung 41) verwandelt holzige Biomasse von ca. 6 cm Durchmesser in einen 120 cm großen gepressten Ballen, der für die industrielle Nutzung direkt verwendet werden kann.



Abbildung 41: „Biobaler“ von Andersons Canada (Quelle: Anderson Group)

Tabelle 9: Erntemethoden mit Beschreibung und Charakteristika (basierend auf LWF 2011, Kofman 2012)

Beschreibung	Charakteristika
Manuelles und motormanuelles Fällen mit Hippe, Motorsäge, Freischneider oder ähnlichen Arbeitsgeräten	
<ul style="list-style-type: none"> - Schneiden und Fällen der Ruten mit einer Hippe, Motorsäge, einem Freischneider oder ähnlichem Arbeitsgerät - Manuelles Aufsammeln der Ruten oder mit einem Traktor - Entweder Lagerung der Ruten für die Trocknung oder direktes Hacken - Einbringen der Ruten in eine kleine Hackmaschine, entweder manuell oder mit einem Greifarm 	<ul style="list-style-type: none"> - Kann vom KUP-Besitzer selbst gemacht werden - Anspruchsvolle und gefährliche Arbeit - Geringe Produktivität - Reduzierte Kosten, da vorhandenes Material ohne weiteres benutzt werden kann - Für kleine Flächen von weniger als 5 ha und für eigene oder kommunale Hackschnitzelheizung geeignet - Arbeit sollte von mindestens zwei Personen durchgeführt werden, die sich in den Aufgaben abwechseln
Mechanisches Ernten mit einem Harvester	
<ul style="list-style-type: none"> - Ernte größerer Bäume mit einem Vollernter aus der Forstwirtschaft. - Sammeln der Bäume oder Bündel mit einem Traktor oder einem Verloader - Entweder Lagerung der Bäume/Bündel zur Trocknung oder direktes Hacken - Beschickung der Hackmaschine mit einem Kran 	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger ergonomisch anspruchsvolle Tätigkeiten für die Arbeiter aufgrund von hoher Automatisierung. - Trocknen der Bündel/Bäume auf dem Feld ist möglich. - Tätigkeit muss normalerweise von einem Dienstleister übernommen werden – Erntekosten sind hoch - Nur für größere Flächen rentabel - Für Hackschnitzelheizung jeder Art geeignet
Mechanisches Ernten mit an einem Traktor angebrachter Ausrüstung oder mit selbstfahrenden Erntemaschinen	
<ul style="list-style-type: none"> - Entweder Ausrüstung an einem Traktor oder Vollernter (mit Aufsatz) - Ernten und Hacken findet gleichzeitig statt. - Anhänger, die die Hackschnitzel direkt abtransportieren, müssen bei der Ernte anwesend sein. - Hackschnitzel werden direkt genutzt, gelagert oder getrocknet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger ergonomisch anspruchsvolle Tätigkeiten für die Arbeiter aufgrund von hoher Automatisierung - Rentabel für mittlere bis größere Flächen. - Vor allem für größere Anlagen und Holzheizkraftwerke geeignet. - Das Trocknen der Hackschnitzel ist anspruchsvoll und kann teuer sein - Abgesehen vom Feuchtigkeitsgehalt ist die Qualität der Hackschnitzel hoch, da das Schneiden von frischem Holz zu sauberen, gleichförmigen Hackschnitzeln führt



Abbildung 42: Rückefahrzeug, das die Stämme von einem Feld in Österreich aufammelt (Quelle: Mergner R.)



Abbildung 43: An Traktor angebrachte Holzhackmaschine in Österreich (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 44: Abgeerntete Weiden-KUP in Schweden: Die Doppelreihen sind sichtbar (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 45: Gelagerte Weidenernte am Rande einer KUP in Schweden (Quelle: Rutz D.)

5.5 Trocknung und Lagerung von Hackschnitzeln

Nach der Ernte muss die Biomasse der KUPs normalerweise gelagert werden, bevor sie entweder verkauft oder für den Eigenbedarf genutzt werden kann. Hackschnitzel, Stämme, Ruten oder Billets können am Rand der Pflanzungen gelagert werden oder direkt dorthin verbracht werden, wo sie später verwendet werden.

Ein sehr wichtiges Qualitätsmerkmal ist der Wasser- (Tabelle 10) bzw. Feuchtigkeitsgehalt (für die Definitionen siehe Box 5) des Holzes. Lufttrocknung kann den Feuchtigkeitsgehalt innerhalb einiger Monate von 50-55% auf ca. 30% senken.

Tabelle 10: Wassergehalt von Holz klassifiziert in vier Kategorien

Kategorie	w (Wassergehalt)
Absolut trockenes Holz	0%
Luftgetrocknetes Holz	15%-20%
Lagerfähiges Holz	< 30-35%
Frisches Holz	> 50%

Frisch gehacktes Holz für eine längere Zeit zu lagern ist nicht ratsam, da dies folgende Risiken mit sich bringt (LWF 2012):

- **Masseverlust:** 2-4% Verlust der Biomasse pro Monat aufgrund von biologischen Prozessen und Zersetzung.
- **Gesundheitliche Risiken:** Bildung von Pilzsporen, die negative gesundheitliche Auswirkungen haben können.
- **Qualität:** Zunahme des Wassergehaltes in ungeschützten Hackschnitzelhaufen aufgrund von Niederschlag und Ansammlung von Kondenswasser in der oberen Schicht des Haufens.
- **Technische Risiken:** gefrorene Hackschnitzel bilden Klumpen, die schwierig zu bearbeiten sind; Steine können Schäden an den Maschinen verursachen.
- **Selbstentzündung:** Mikrobiologische Prozesse erhöhen die Temperaturen im Stapel und können zur Selbstentzündung führen.
- **Ökologische Auswirkungen:** Gerüche können Nachbarn belästigen und Sickerwasser kann Gewässer verschmutzen.

Hackschnitzel aus luftgetrocknetem Holz mit einem Wassergehalt von ca. 30% können relativ leicht und sicher in offenen Haufen gelagert werden. Das Abdecken der Haufen oder eine Lagerung unter einem Dach verhindert eine Zunahme des Wassergehaltes durch Niederschlag. Auch frische Hackschnitzel können unter einem Dach gelagert und auf 30% Wassergehalt getrocknet werden. Allerdings ist dabei eine gute Durchlüftung und ein gelegentliches Wenden mit einem Radlader wichtig, um so einer Selbstentzündung entgegenzuwirken.

Der Wassergehalt von Hackschnitzeln sollte idealerweise unter 20% gesenkt werden. Europäische Standards ordnen Hackschnitzel in fünf Kategorien des Wassergehaltes ein (M20, M30, M40, M55, M65) (Rutz et al. 2012). Wegen der geringen Teilchengröße sind Hackschnitzel anfällig gegenüber Mikroorganismen, falls der Wassergehalt zu hoch ist. Erhöhte Aktivität von Mikroorganismen führt zu erhöhten Temperaturen des Materials, was im Extremfall schon zu Selbstentzündungen in Hackschnitzellagern geführt hat.

Je höher der Wassergehalt (siehe Box 5), desto niedrig ist die Energieeffizienz bei der Verbrennung (siehe Kapitel 8.3), da ein Teil der Energie durch Verdampfung verlorenght. Der untere Heizwert für Holz ist wesentlich höher, wenn das Holz getrocknet wurde (4.3 kWh/g), als für frisches oder nasses Holz (1,5 kWh/g) (Liebhard 2007). Die Beziehung zwischen Heizwert eines Holzes und dem Wassergehalt wird in Abbildung 46 dargestellt. Dabei gilt: je höher der Wassergehalt, desto niedriger der Heizwert.

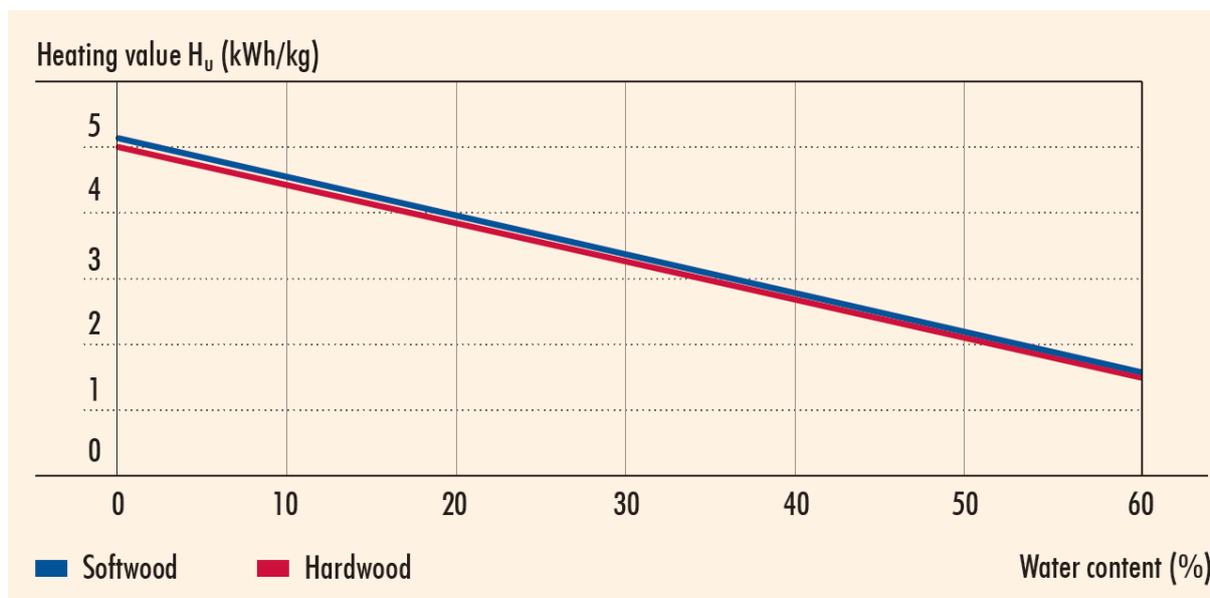


Abbildung 46: Heizwert von Holz (y-Achse) in Relation zum Wassergehalt (x-Achse) (Quelle: FNR 2012)

Box 5: Was ist der Unterschied zwischen Feuchtigkeits- und Wassergehalt?

Eine wichtige Information über die Qualität eines Brennstoffes ist der Wassergehalt im betreffenden Brennstoff. Um den Wassergehalt berechnen und vergleichen zu können, werden die beiden physikalischen Größen **Wassergehalt (w)** (auch Feuchtigkeitsgehalt auf nasser Basis genannt) und **Brennstofffeuchtigkeit (u)** (auch Feuchtigkeitsgehalt auf trockener Basis) verwendet.

Der Wassergehalt (w) bezieht sich auf die Masse des Wassers m_W , die in der frischen Biomasse gebunden ist ($m_d + m_W$), wohingegen die Brennstofffeuchtigkeit die Masse an Wasser in der getrockneten Biomasse (m_d) beschreibt.

$$w = m_W / (m_d + m_W)$$

$$u = m_W / m_d$$

Werte für die Feuchtigkeit können in Werte des Wassergehaltes umgewandelt werden. Zum Beispiel entspricht ein Wassergehalt von 50% einem Feuchtigkeitsgehalt von 100%. Die Werte des Feuchtigkeitsgehaltes können über 100% steigen. „Feuchtigkeit“ ist ein Begriff, der normalerweise in der Forstwirtschaft und Holzindustrie benutzt wird. Im Energiesektor wird häufig der „Wassergehalt“ oder der „Feuchtigkeitsgehalt auf nasser Basis“ angegeben.

Zur Trocknung der Hackschnitzel existieren verschiedene Technologien, die sehr einfach bis sehr ausgefeilt sein können. für die Trocknung (Tabelle 11). Hackschnitzel werden oft in **Satztrocknern** (Wagentrockner) getrocknet. Dabei kann es sich um Container, Hänger oder Lagerräume handeln, durch die heiße Luft geblasen wird (Abbildung 47 bis 52).

Container und Hänger haben meistens einen doppelten Boden mit einem Gitter oder einer Gitterröhre, durch die die heiße Luft geblasen wird. Oft wurden landwirtschaftliche Hänger entsprechend angepasst, was eine sehr kostengünstige Möglichkeit sein kann. Hackschnitzel werden in diesen Containern oder Hängern normalerweise nicht bewegt oder umgewälzt, was oft zu einer ungleichmäßigen und unkontrollierten Trocknung führt.

Technisch komplexer sind die **Schubwendetrockner**. Heiße Luft wird hier durch einen doppelten Gitterboden geblasen und ein mobiler Schaufelmechanismus vermischt und bewegt die Hackschnitzel während der gesamten Trocknungszeit. Ein Laufwagen bewegt das Schaufelrad während des gesamten Trocknungsprozesses mehrmals durch den Trockner hindurch. Die Richtung wird durch an den Enden befindliche Schaltorgane und das automatische Kontrollsystem geändert. Schubwendetrockner können kontinuierlich oder chargenweise betrieben werden.

In einem **Bandtrockner** werden die Hackschnitzel fortlaufend und gleichmäßig durch einen Einlauftrichter auf ein perforiertes Band verteilt. Das Band transportiert die Hackschnitzel horizontal durch die Trocknungszone, die aus mehreren Kammern bestehen kann. In diesen Kammern strömt Trocknungsgas durch oder über die nassen Hackschnitzel und trocknet sie. Jede Kammer kann mit einem Ventilator und einem Wärmetauscher ausgestattet und so an verschiedene erforderliche Bedingungen angepasst werden.

Eine ideale und billige Hitzequelle für die Trocknung ist z.B. die Abwärme von industriellen Prozessen oder von Biogasanlagen (Rutz et al. 2012).

Tabelle 11: Trocknungstechnologien und ihre Hauptmerkmale (Quelle: Rutz et al. 2012)

Trocknertyp	Merkmale
Satztrockner	Heiße Luft durchströmt das Material in Containern, Wagen oder Lagerräumen. Dabei handelt es sich um eine der einfachsten Trockner, da das Material nicht aktiv bewegt wird. Er ist außerdem sehr billig und gut für kleinere Mengen geeignet.
Schubwendetrockner	Heiße Luft wird durch einen doppelten Boden (Gitterboden) durch die Hackschnitzel geblasen. Wendevorrichtungen, wie Schaufeln mischen das Produkt und wälzen es um.
Bandtrockner	Heiße Luft trocknet das Material, das langsam auf einem Band vorwärts bewegt wird. Die Investitionskosten sind relativ hoch.



Abbildung 47: Container und Luftheizungsrohre zur Hackschnitzeltrocknung an einer Biogasanlage in München, Deutschland (Quelle: Rutz D.).



Abbildung 48: Container zur Hackschnitzeltrocknung in München, Deutschland (Quelle: Rutz D.).



Abbildung 49: Wagentrockner der die Abwärme einer Biogasanlage in Deutschland nutzt (Quelle: Rutz D.).



Abbildung 50: Schubwendetrockner für Hackschnitzel, installiert an einer Biogasanlage in Deutschland (Quelle: Rutz D.).



Abbildung 51: Ein in den Boden eingelassenes Lüftungsfenster in der Trocknungsanlage des Biomassehofs Achental, Deutschland (siehe Abbildung 52) (Quelle: Rutz D.).



Abbildung 52: Ideale Hackschnitzel-lagerungs-einrichtung am Biomassehof Achental, Deutschland (Source: Rutz D.).

Schließlich wurde eine spezialisierte Methode zur Hackschnitzeltrocknung aus KUPs von der technischen Universität Dresden entwickelt und patentiert (PCT/EP2005/009241). Das System beruht darauf, dass sich die frischen und feuchten Hackschnitzel selbst aufheizen, während sie in einem Haufen (Miete) gelagert werden. Perforierte Rohre sorgen dafür, dass Luft in den Haufen eindringen kann und ein Abluftrohr fungiert als Schornstein, der die von den Hackschnitzeln aufgeheizte Luft ausbläst. Dieser Ventilationsprozess ist eine effektive Methode das Holz ohne externe Energiezufuhr zu trocknen. Mit diesem Vorgehen ist es möglich, den Wassergehalt innerhalb von drei Monaten auf 30% zu reduzieren (Grosse et al. 2008). Der Stapel kann direkt am Rande einer Pflanzung oder am Ort des Hackschnitzelverbrauches angelegt werden.

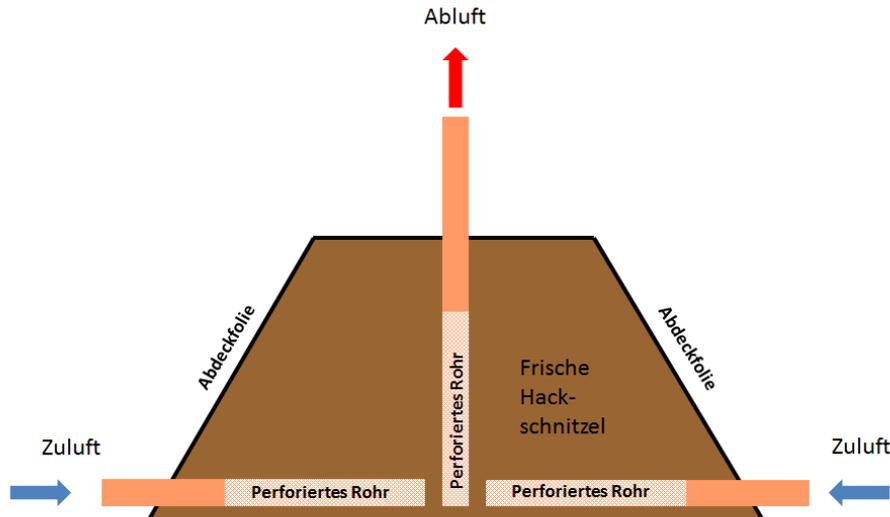


Abbildung 53: Schema eines Hackschnitzelhaufens, der zur Trocknung belüftet wird. (Quelle: Rutz D.)

6 Logistik und Transport

Transportkosten und Entfernungen zu potentiellen Kunden sollten sorgfältig beachtet werden, bevor ein KUP-Projekt in Angriff genommen wird. Der Transport von Hackschnitzeln sollte so weit wie möglich minimiert werden, da zu lange Wege negative Auswirkungen auf die Treibhausgasbilanz und die Wirtschaftlichkeit der Wertschöpfungskette haben. Die maximal empfohlenen Entfernungen und die geeigneten Arten des Transportes hängen von den lokalen Gegebenheiten ab, können aber wie folgt zusammengefasst werden:

- **0-40 km:** eigener Traktor
- **30-90 km:** Schwerlast-LKW mit einer Kapazität von 70-95 m³
- **>70 km:** Züge

Es ist überdies wichtig, den Straßenzugang zu den Pflanzungen schon in der Planungsphase miteinzubeziehen, da schwere Maschinen mit schwerer Ladung verwendet werden. Das maximal zulässige Gewicht für die Befahrung von Straßen und Brücken muss beachtet werden.

Das Gewicht von Hackschnitzeln pro Volumeneinheit hängt vom Wassergehalt, der Baumart, der Größe und der Form der Hackschnitzel sowie vom Rinde/Holz-Verhältnis ab. Eine Tonne absolut trockener Hackschnitzel hat das Volumen von ca. 6.5 bis 7 Kubikmetern. Tabelle 12 zeigt das Gewicht verschiedener KUP-Arten und anderer Arten pro Kubikmeter und in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

Die Pflanzungen sollten an jedem Ende ein Vorgewende haben, das nicht mit der KUP bebaut ist, aber durchaus mit Feldblumen oder Kräutern bewachsen sein darf, um so den ökologischen Wert zu erhöhen. Vorgewende dienen als Platz zum Wenden für die Erntemaschinen und das geerntete Material kann dort gelagert werden.

Tabelle 12: Gewicht von Hackschnitzeln pro m³ Masse für KUP-Arten und andere Arten (Durchschnitt/typische Werte; reale Werte hängen von vielen Faktoren ab!)

Wassergehalt [%]	0	15	20	30	50
Masse [kg]					
Pappel (KUP) (Dichte 353 kg Trockenmasse/ Festmeter)	164	145-174***	181**	203** 167-200***	284**
Weide (KUP) (Dichte 420 kg Trockenmasse/ Festmeter)	168*	181-217***	181**	208-250***	k.A.
Erle (KUP) (Dichte 530 kg Trockenmasse/ Festmeter)	k.A.	177-212***	k.A.	204-245***	k.A.
Robinie (KUP) (Dichte 750 kg Trockenmasse/ Festmeter)	k.A.	264-317***	k.A.	304-365***	k.A.
Fichtenholz (keine KUP) (Dichte 379 kg Trockenmasse/ Festmeter)	151	178	189	216	302
Buche (keine KUP) (Dichte 558 kg Trockenmasse/ Festmeter)	222	261	278	317	444

(Quelle: CARMEN 2014, * SLL n.d., ** Biomasseverband OÖ n.d., *** ETA Heiztechnik GmbH n.d. (erster Wert für G50, zweiter Wert für G30), andere Quellen)

7 Beseitigung von KUPs

Verschiedene Gründe können hinter der Entscheidung stehen die Bewirtschaftung einer KUP nach einigen Jahren zu beenden und sie zu beseitigen. Ein Landwirt kann beispielsweise entscheiden die Flächen wieder in Grünland oder in Ackerland zu verwandeln oder auch die KUP erneut zu pflanzen, wobei er die alten Bäume durch neue Sorten ersetzt. Die abschließende Beseitigung einer KUP wird von vielen Landwirten, die noch nie zuvor eine KUP bewirtschaftet haben, als eines der größten Probleme wahrgenommen. Bewusstseinsbildende Maßnahmen und Wissenstransfer helfen, dieser Herausforderung zu begegnen. Eine KUP zu beseitigen ist technisch nicht besonders schwierig, da die Wurzeln, obwohl sie über mehrere Jahre wachsen, nicht sehr tief reichen.

Es gibt mehrere Methoden und Schritte, die bei Beseitigung einer KUP beachtet werden sollten. Die Methode sollte in Abhängigkeit von der erwünschten Landnutzung nach dem Ende der KUP ausgewählt werden. Für die Umwandlung zu Grünland ist einfaches Fräsen und die anschließende Aussaat von Gras ausreichend. In manchen Fällen kann dieses Vorgehen auch für die Umwandlung in Ackerland genügen. Die Fähigkeit der Bodenfräse

oder des Mulchers (Abbildung 54 und 55) das Holz in kleine Stücke zu schneiden, beeinflusst die Entscheidung, ob weitere Bearbeitung nötig ist oder nicht.

Eine drastischere Maßnahme ist die Kombination von mechanischen und chemischen Bearbeitungsschritten. Nachdem die letzte Ernte durchgeführt wurde, bleiben die Wurzelstöcke vor Ort und bilden im Frühjahr neue Triebe. Wenn diese Triebe eine Länge von 30-40 cm erreichen, kann ein Herbizid auf der gesamten Fläche ausgebracht werden. Wegen der Empfindlichkeit von Pappeln und Weiden gegenüber Herbiziden, werden die wachsenden Pflanzenteile absterben. Die Pflanzen sollten nach der Besprühung für mindestens zwei Wochen stehen bleiben, um eine vollständige Aufnahme und Ausbreitung des Herbizids sicherzustellen. Sobald die Triebe abgestorben sind, können die Wurzelstöcke selbst mithilfe eines Mulchers in den oberen 5-10 cm des Bodens gemulcht werden. Nachdem die Stümpfe endgültig abgestorben sind, kann der Boden mit einer Scheibenege entlang der Reihen bearbeitet werden, die die Wurzelstöcke zerkleinert, ohne sie dabei an die Oberfläche zu harken. Wenn die Wurzelstöcke zerkleinert sind, kann das Land entweder mit einer neuen KUP bepflanzt werden oder umgewandelt werden, um andere Feldfrüchte zu produzieren. Da die zerkleinerten Wurzelstöcke andere Feldfrüchte nicht beeinträchtigen, kann dies direkt geschehen ohne sie entfernen zu müssen.



Abbildung 54: Bodenfräse zum fräsen der KUP-Stümpfe auf einem Feld in Österreich (Quelle: Mergner R.)



Abbildung 55: Wieder nutzbar gemachter Boden in Österreich (Quelle: Mergner R.)

8 Verwendung von KUP-Produkten

Schon in der Planungsphase und während der Errichtung der Pflanzung werden die Erntezyklen festgesetzt, da sie die Abstände zwischen den Bäumen bei der Anpflanzung bestimmen. Bei geringen Pflanzabständen und kurzen Umtriebsperioden von zwei bis acht Jahren, wird das geerntete Material fast wie immer zu Hackschnitzeln verarbeitet, die dann unterschiedlichen Zwecken dienen können. Falls die Umtriebszeiten länger sind, kann erwogen werden, die Stämme als Stamm- oder Industrieholz zu verwenden anstatt sie zu hacken, wodurch höhere Einkünfte erzielt werden können. Stammholz kann, abhängig von seiner Qualität, für verschiedene Zwecke verwendet werden. Dies bezieht sich vor allem auf Pappeln oder Eukalyptus. Die Produktion und Verwendung von Stammholz wird an dieser Stelle nicht näher beschrieben, da dieses Handbuch den Schwerpunkt auf die energetische Nutzung von Hackschnitzeln legt.

8.1 Die Qualität von Hackschnitzeln

Verschiedene Verwendungszwecke von Hackschnitzeln erfordern unterschiedliche Stufen der Qualitätsanforderungen (Abbildung 56 und 57). Die Qualitätskriterien von Hackschnitzeln sind:

- **Feuchtigkeits-/Wassergehalt:** je niedriger der Wassergehalt, desto höher ist der Heizwert.
- **Homogenität und Größe der Hackschnitzel:** die Hackschnitzelgröße sollte der Verwendung (Heizleistung) angemessen sein.
- **Der Feinanteil:** feine Partikel (Staub) können ein Gesundheitsrisiko sein.
- **Form der Hackschnitzel:** die Kanten der Hackschnitzel sollten scharf sein, das Ausfransen hingegen minimal, um so die Massendichte zu erhöhen und eine reibungslose Beschickung des Systems zu gewährleisten.
- **Herkunft:** Nachhaltigkeit der Pflanzung und des Bewirtschaftungssystems sind wichtig; je näher der Herkunftsort der Hackschnitzel am Endverbraucher liegt, desto geringer sind die Transportwege und die zu veranschlagenden CO₂-Emissionen.
- **Aschegehalt:** je niedriger der Aschegehalt, desto höher ist die Energieleistung und desto niedriger die Menge an Asche, die am Ende entsorgt werden muss.
- **Verunreinigungen:** Hackschnitzel sollten möglichst wenige Unreinheiten (Erde, Steine) enthalten.
- **Zusammensetzung:** je höher der Holzgehalt und je niedriger der Gehalt an Rinde, Blättern und kleinen Zweigen, desto höher ist die Qualität des Brennstoffes.

Eines der Hauptkriterien für die Qualität von Hackschnitzeln ist der Wassergehalt, der schon in den Kapiteln 5.3 und 5.5 beschrieben wurde. Bei KUP-Hackschnitzeln wird der Wassergehalt in erster Linie durch die Erntemethode, die Logistik und die Trocknungsprozesse beeinflusst.

Die Homogenität und Größe, der Feinanteil sowie die Form der Hackschnitzel ergeben sich hauptsächlich aus den verwendeten Erntemethoden und Technologien. Auch das Auftreten von Verunreinigungen wird durch die Erntetechnologie beeinflusst, zusätzlich aber auch noch durch die Art der Lagerung. Wenn Hackschnitzel direkt auf dem Feld gelagert werden, ist das Risiko der Verschmutzung höher. Die Zusammensetzung und der Ascheanteil hängen vor allem von der Bewirtschaftungsart und den verwendeten Pflanzenarten ab.

Tendenziell haben Hackschnitzel aus KUPs einen höheren Aschegehalt als Hackschnitzel aus der Forstwirtschaft (Stammholz), da die Anteile von Rinde und kleinen Zweigen in Relation zum Kernholz relativ hoch sind. Dies hängt damit zusammen, dass die Stämme und Ruten vergleichsweise kleine Durchmesser aufweisen.



Abbildung 56: Hohe Qualität (links) und niedrige Qualität (Mitte und rechts) von Waldhackschnitzeln (nicht aus einer KUP) in Deutschland (Quelle: Rutz D.)

Um die Qualität von Hackschnitzeln bestimmen zu können, werden bestimmte Standards verwendet. Das europäische Komitee für die Standardisierung (CEN) hat solche Standards für die Eigenschaften von Hackschnitzeln, Briketts, Feuerholz und Pellets, aber auch für Testverfahren, Umrechnungsvorschriften und Qualitätssicherstellung entwickelt. Diese Standards wurden 2014 abgeändert und zu internationalen ISO-Standards (the International Organization for Standardization) weiterentwickelt. Die folgenden Standards gelten für holzhaltige Biokraftstoffe:

- **ISO 17225-1:2014-09** (früher EN 14961-1:2010) Biogene Festbrennstoffe, Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- **ISO 17225-2:2014-09** (früher EN 14961-2:2011) Kraftstoffbeschreibung und Klassen – Teil 2: Klassifizierung von Holzpellets
- **ISO 17225-3:2014-09** (früher EN 14961-3:2011) Kraftstoffbeschreibung und Klassen – Teil 3: Klassifizierung von Holzbriketts
- **ISO 17225-4:2014-09** (früher EN 14961-4:2011) Kraftstoffbeschreibung und Klassen – Teil 4: Klassifizierung von Holzhackschnitzeln
- **ISO 17225-5:2014-09** (früher EN 14961-5:2011) Kraftstoffbeschreibung und Klassen – Teil 5: Klassifizierung von Stückholz



Abbildung 57: Frische Hackschnitzel von einer Weiden-KUP in Schweden (Quelle: Rutz D.)

Das Ziel der ISO 17225-Serie ist es, klare, eindeutige Klassifizierungsprinzipien für feste Biomasse zu liefern; als Werkzeug für einen effizienten Handel von Biokraftstoffen zu dienen; ein gutes Verständnis zwischen Verkäufer und Käufer sowie eine gute Kommunikation mit den Herstellern von Technik und Ausrüstung zu gewährleisten. Sie erleichtert überdies behördliche Genehmigungsverfahren und Vorgänge der Berichterstattung (ISO 2014).

Ein Beispiel für eine Hackschnitzeldekларation liefert Alakangas (2009) in Tabelle 13. In Übereinstimmung mit EN 14961-1 werden die normativen Parameter Größe (P), Feuchtigkeit auf nasser Basis (M) und Aschegehalt (A) sowie die informativen Parameter Schüttdichte (BD), Heizwert (Q), Schwefel (S), Stickstoff (N) und Chlor (Cl) genau aufgelistet.

Tabelle 13: Beispiel einer Produktausweisung für Hackschnitzel (Quelle: angepasst nach Alakangas 2009)

EN 14961-1		
Generelle Angaben	Produzent	EAA Biofuels
	Ort	Jyväskylä, Finland
	Herkunft	1.1.1.1 und 1.1.1.2 (ganzer Baum)
	Gehandelte Form	Hackschnitzel
	Menge (t)	4,00
Normativ	Größe	P45A
	Feuchtigkeit, w-%	M35
	Asche, w-% trocken	A1,5
Informativ	Schüttdichte, kg/m ³	BD250
	Unterer Heizwert, MJ/kg	Q11,5
	Schwefel, w-% auf trockener Basis	0,05
	Stickstoff, w-% auf trockener Basis	N0.3
	Chlor, w-% auf trockener Basis	Cl0,03

Wie erwähnt werden ISO-Standards z.B. gebraucht, um den Käufer von Hackschnitzeln über die Qualitätsmerkmale zu informieren. Diese beeinflussen den Preis der Ladung.

Außerdem sind die Details dieses Standards auch für den KUP-Besitzer interessant, der die Hackschnitzel direkt selber verwenden möchte, da sie Hinweise dazu liefern, wie die Qualität der Hackschnitzel verbessert werden kann.

8.2 Möglichkeiten der Verwendung von Hackschnitzeln

Die folgende Liste zeigt Möglichkeiten für die Verwendung von Hackschnitzeln auf:

- Für kleine Verbrennungs- und Heizsysteme (Einzelgehöft oder einige wenige Haushalte)
- Für größere Verbrennungs- und Heizsysteme (Wärmenetze)
- Für spezialisierte Hackschnitzelheizkraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (Organic-Rankine-Cycle mit Dampfturbinen)
- Für die Hackschnitzelvergasung zur Stromgewinnung
- Zur Ko-Feuerung mit Hackschnitzeln in großen (auf fossilen Brennstoffen basierenden) Heizkraftwerken

- Als Rohmaterial für Bioraffinerien (z.B. Pyrolyse, Vergasung, Torrefizierung, zweite Generation Ethanol, Biokunststoffe)
- Für die Weiterverarbeitung zu Pellets für verschiedene Anwendungszwecke
- Für die Nischenanwendung: als Mulch im Garten- und Landschaftsbau, als Streu für die Tierzucht, als Substrat für den Pilzanbau, als Material für Biofilter oder als Bodenmaterial für Spielplätze

Die hauptsächliche Verwendung von Hackschnitzeln in Europa heutzutage ist für Heizzwecke, für KWK-Anlagen und für die Ko-Feuerung. Deshalb liefert Kapitel 8.3 Details zur Verbrennung von Hackschnitzeln und Pellets.

In der Zukunft kann die Nachfrage nach Hackschnitzeln auch für Bioraffinerien steigen. Schon jetzt werden KUPs für die Produktion sog. flüssiger Biokraftstoffe der zweiten Generation angelegt. Verfahren zur Gewinnung von BtL-Kraftstoffen befinden sich in der Entwicklung. Dabei wird lignozellulosehaltige Biomasse, wie z.B. Hackschnitzel aus KUPs, durch thermo-chemische Verwandlung zu synthetischen Biokraftstoffen umgewandelt. Etwas komplexer sind biochemische Technologien, wobei lignozellulosehaltiges Material biologisch in Zuckerverbindungen umgebaut wird und dann zu Ethanol fermentiert wird (Abbildung 58). Ethanol ist ein Substitut für Benzin. Einige europäische sowie internationale Pilot- und Demonstrationsanlagen sind zunehmend dabei, die Nutzung von Hackschnitzeln für diesen Prozess zu erforschen, da bisher der Fokus eher auf „weicher“ als auf Holzartiger Biomasse (aus z.B. Stroh, Gräsern etc.) lag. In integrierten Bioraffineriekonzepten können nebenbei auch noch andere Produkte, wie Lignin, Strom, Wärme, Biokunststoffe und Biochemikalien, produziert werden. All dies kann zukünftige Märkte für KUP-Hackschnitzel schaffen.

Im kleineren Maßstab können Hackschnitzel auch mithilfe thermochemischer Verwandlung in Pyrolyseöl umgewandelt werden. Dieses kann entweder Heizöl ersetzen oder zu anderen Produkten weiterverarbeitet werden. Was heute schon oft gemacht wird, ist die Vergasung von Hackschnitzeln und die anschließende Nutzung des Gases zur Stromgewinnung (Abbildung 59).

In der Anfangsphase wurden Pellets nur aus Sägemehl, das als Abfallprodukt galt, von Sägewerken hergestellt (Abbildung 60). Heute werden Pellets auch aus eigens angebautem Holz, z.B. aus KUP-Hackschnitzeln gewonnen. Da KUP-Hackschnitzel mehr Rindenanteil haben als Hackschnitzel aus der Forstwirtschaft, kann es zur Einhaltung der Qualitätsstandards, ratsam sein, nur Hackschnitzel von KUPs mit längerer Umtriebszeit zu verwenden, da bei diesen das Rinden/Holzverhältnis abnimmt.

Neben der energetischen Nutzung von Hackschnitzeln, können sie auch für Nischennutzungen verwendet werden. Dies hängt allerdings von der lokalen Nachfrage ab. Hackschnitzel können als Mulch im Garten- und Landschaftsbau, als Streu für die Tierzucht (z.B. für Pferde), als Substrat zum Pilzanbau, als Material für Biofilter (z.B. in Abfallbiogasanlagen) oder als Bodenbelag auf Spielplätzen eingesetzt werden. Wegen der geringen Verwendung für die beschriebenen Nischen, werden hier keine weiteren Details dazu erklärt.



Abbildung 58: Zweite Generation einer Ethanolfabrik von ABENGOA in Spanien (Quelle: Rutz D.)

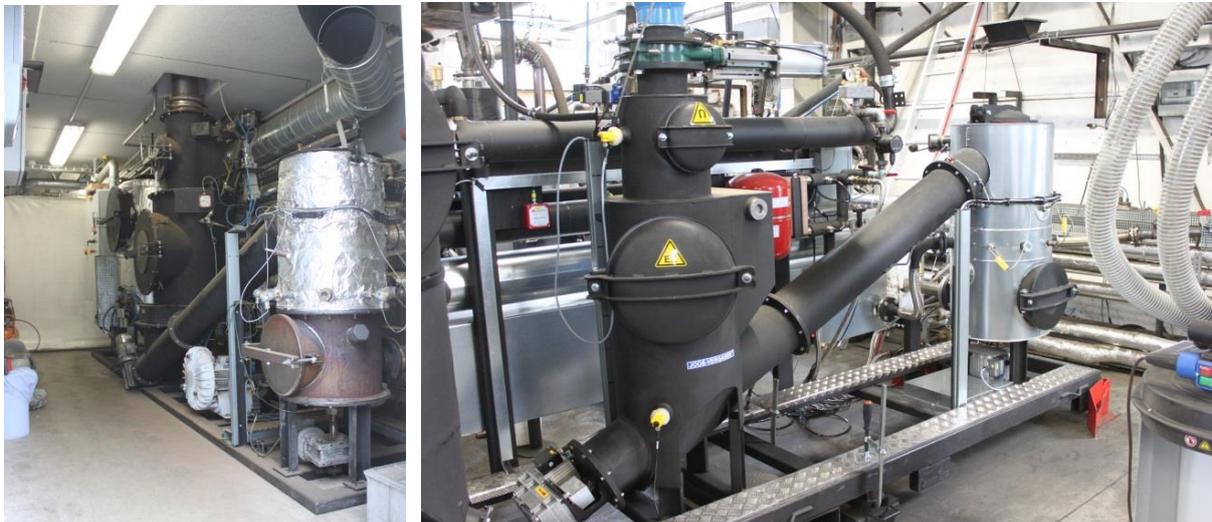


Abbildung 59: Holzvergaser in einem Container (links) und während der Produktion (rechts) von „SpannerRE²“ (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 60: Pelletpresse (links) und Pellets hoher Qualität (rechts) (Quelle: Rutz D.)

8.3 Die Verbrennung von Hackschnitzeln und Pellets

Die hauptsächliche Verwendung für Hackschnitzel und Pellets ist ihre Verbrennung zur Wärmeerzeugung als nachhaltige Energiebereitstellung (siehe Box 6). Deshalb werden im Folgenden Beschreibungen und grundlegende Informationen zum Verbrennungsprozess geliefert. Detaillierte Informationen können Hiegl et al. (2011) oder Rutz et al. (2006) entnommen werden.

Biomasse aus Pflanzen ist im Wesentlichen aus Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) zusammengesetzt. Der Anteil an Kohlenstoff bestimmt die freigesetzte Energie während der Verbrennung (Oxidation). Aber auch der in fester Biomasse enthaltene Wasserstoff liefert Energie für die Verbrennung. Zusammen mit dem Kohlenstoff bestimmt er den Heizwert des trockenen Brennstoffes. Der Sauerstoff unterstützt den Verbrennungsprozess lediglich, hat aber keinen Einfluss auf den energetischen Gehalt des Brennstoffes.

Holzbrennstoffe haben einen hohen Kohlenstoffanteil von 47-50%. Der Sauerstoffgehalt von Holzbrennstoffen liegt zwischen 40 bis 45% und der Wasserstoffanteil liegt bei 5-7%. Neben diesen drei Elementen gibt es noch andere Bestandteile. Diese können, obwohl sie nur in sehr geringer Menge vorhanden sind, starke Auswirkungen auf die Abgasemissionen haben. Schwefel, Chlor und Stickstoff haben die größten Effekte im Hinblick auf verschmutzende Schadstoffemissionen. Brennstoffe können nach diesen emissionsrelevanten Bestandteilen differenziert werden.

Der Energiegehalt pro Masseinheit wird durch den oberen und den unteren Heizwerten ausgedrückt (siehe Box 7). Diese werden in Tabelle 14 dargestellt. Für Hackschnitzel wird oft der Energiegehalt pro Volumen – Kubikmeter – verwendet. Ein passendes Beispiel wird in Tabelle 15 aufgeführt. In Abhängigkeit von der Art des Holzes, der Größe der Hackschnitzel und dem Feuchtigkeitsgehalt, entspricht ein Kubikmeter Hackschnitzel in etwa 200-300 kg.

Normalerweise werden hackschnitzelbetriebene Heizkessel (Abbildung 61, Abbildung 62) für Heizsysteme ab ca. 20 kW eingesetzt, während Pellets-Kessel auch für kleinere Heizsysteme verwendet werden. Das Heizen mit Hackschnitzeln ist für gewöhnlich nur für größere Haushalte, Gehöfte, und Wärmenetze rentabel. Pellets werden normalerweise für Einzelhaushalte oder kleine Wärmenetze verwendet.

Die Technologie für das Heizen mit Hackschnitzeln und Pellets ist ausgereift und wird von vielen Herstellern angeboten. Das Heizsystem besteht aus einem Brennstofflager, einem

Befüllsystem, einem Biomassekessel, einem Abgassystem und einem Heizverteilungssystem (welches oft einen Puffertank beinhaltet).

Die Investition für einen Hackschnitzel- oder Pelletskessel ist oft höher als für eine Öl- oder Gasheizung. Es ist aber zu beachten, dass die Brennstoffkosten wesentlich geringer sind, so dass auf lange Sicht Hackschnitzel- und Pelletskessel deutlich günstiger sind, als ihre Pendanten, die mit fossilen Brennstoffen heizen.

Box 6: Warum ist Biomasse erneuerbar?

Während des Verbrennungsprozesses wird vor allem Kohlendioxid (CO_2) ausgestoßen. CO_2 ist das hauptverantwortliche Gas für die globale Erwärmung. Es wird bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (z.B. Braunkohle, Steinkohle, Öl, Gas), aber auch bei der Verbrennung von Biomasse freigesetzt. Der Unterschied ist, dass Biomasse zunächst während der Wachstumsphase (durch die Photosynthese) CO_2 aus der Atmosphäre absorbiert und einlagert. Auch bei Kurzumtriebsplantagen absorbieren die Bäume CO_2 während eines Zeitraumes von beispielsweise 4-6 Jahren des Wachstums, bevor die aus ihnen gewonnene Biomasse anschließend verbrannt wird. Wegen dieses kurzen und geschlossenen Kreislaufes ist Biomasse von KUPs erneuerbar und hilft unser aller Klima zu schützen.

Nichtsdestotrotz sind Biomasseenergiequellen nicht komplett „**CO₂-neutral**“, da fossile Energieträger noch immer für die Zurverfügungstellung von Biomasse (z.B. für Ernte und Transport) zum Einsatz kommen. Überdies müssen für neue KUP-Pflanzungen eventuelle Auswirkungen durch Landnutzungsänderungen berücksichtigt werden, die sowohl positiv als auch negativ auf die Aufnahmekapazität von CO_2 im Boden sein können. Im Vergleich zu einjährigen Pflanzen, ist die Aufnahme von CO_2 im Boden der KUPs für gewöhnlich höher und hat deshalb zusätzlich positive Effekte für die Reduzierung des Klimawandels.

Box 7: Was ist der Unterschied zwischen dem oberen und dem unteren Heizwert?

Wichtige Informationen über die Beschaffenheit des Brennstoffes werden durch die Heizwerte geliefert.

Der **untere Heizwert** (Heizwert, H_u) gibt die Menge an Wärme an, die bei der gesamten Verbrennung der Biomasse freigesetzt wird (Oxidation). Dieser Wert berücksichtigt nicht die Kondensationswärme (Evaporationswärme) des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes. Deshalb nimmt der untere Heizwert mit einem höheren Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes ab.

Der **obere Heizwert** (Brennwert, H_o) hingegen wird bestimmt indem man alle Produkte der Verbrennung, in Relation zur Temperatur vor der Verbrennung, addiert. Insbesondere muss auch die Kondensation von Wasserdampf berücksichtigt werden. Für Biomasse liegt der obere Heizwert bei durchschnittlich 6% (für die Rinde), 7% (für das Holz) und 7,5% (für landwirtschaftliche Erzeugnisse) über dem unteren Heizwert (siehe Tabelle 14). Dies gilt allerdings nur für feste Brennstoffe, die sich in einem absolut trockenen, wasserfreien Zustand befinden. Für die meisten Biomassearten ist die Diskrepanz höher. Tabelle 15 zeigt die Werte für die typischen Arten, die auf KUPs verwendet werden, die Weide und die Pappel, im Vergleich zu anderen Brennstoffen.

**Tabelle 14: Charakteristika der Verbrennung fester Brennstoffe (Hiegl et al. 2011)
(durchschnittliche/typische Werte; reale Werte hängen von mehreren Faktoren ab!)**

Brennstoff	H _u [MJ/kg]	H _o [MJ/kg]	Aschegehalt [%]	Ascheerweichungspunkt [°C]
Pappelholz	18,5	19,8	1,8	1.335
Weidenholz	18,4	19,7	2,0	1.283
Buchenholz	18,4	19,7	0,5	k.A.
Fichtenholz	18,8	20,2	0,6	1.426
Rinde (Nadelholz)	19,2	20,4	3,8	1.440
Weizenstroh	17,2	18,5	5,7	998
Weizenkörner	17,0	18,4	2,7	687
Steinkohle	29,7	k.A.	8,3	1.250
Braunkohle	20,6	k.A.	5,1	1.050



Abbildung 61: Kleines Hackschnitzelheizsystem (24-50 kW Heizkapazität) von der Firma Fröling mit dem Boiler (links), der Zuführeinrichtung (Mitte) und dem Hackschnitzelbunker (rechts) (Quelle: Rutz D.)

Tabelle 15: Überblick des Energiegehalts von KUP- und anderen Hackschnitzeln in Relation zum Wassergehalt (durchschnittliche/typische Werte; reale Werte hängen von mehreren Faktoren ab!)

Wassergehalt [%]		0	15	20	30	50
Einheit		Heizwert [kWh]				
Pappel (Dichte 353 kg Trockenmasse/ Festmeter)	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Festmeter	1.765	1.723	1.705	1.662	1.525
	Schüttraummeter	706	689	681	666	610
Weide (Dichte 420 kg Trockenmasse/ Festmeter)	kg	4,54*	3,76**	k.A.	2,97**	k.A.
	Festmeter	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Schüttraummeter	k.A.	680- 810**	k.A.	620- 740**	k.A.
Erle (Dichte 530 kg Trockenmasse/ Festmeter)	kg	k.A.	4,06**	k.A.	3,23**	k.A.
	Festmeter	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Schüttraummeter	k.A.	720- 860**	k.A.	660- 790**	k.A.
Robinie (Dichte 750 kg Trockenmasse/ Festmeter)	kg	k.A.	4,11**	k.A.	3,27**	k.A.
	Festmeter	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Schüttraummeter	k.A.	1.090- 1.300**	k.A.	990- 1.190**	k.A.
Fichte (Dichte 379 kg Trockenmasse/ Festmeter)	kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26
	Festmeter	1.970	1.930	1.900	1.860	1.710
	Schüttraummeter	788	770	762	745	685
Buche (Dichte 558 kg Trockenmasse/ Festmeter)	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Festmeter	2.790	2.720	2.700	2.630	2.410
	Schüttraummeter	1.116	1.090	1.077	1.052	964

Quelle: CARMEN 2014, *Verscheure 1998, ** ETA Heiztechnik GmbH n.d. erster Wert des Schüttraummeters bezieht sich auf G50, der zweite auf G30, andere Quellen.



Abbildung 62: Mittelgroßes Hackschnitzelheizsystem (3.000 kW Kapazität) des Biomassehofes Achental in Deutschland mit dem Kessel (rechts) und dem Puffertank (links) (Quelle: Rutz D.)

Für größere Verbrennungsanlagen, kann der Organic Rankine Cycle (ORC-Verfahren) zur Elektrizitätsgewinnung genutzt werden. ORC ist ein thermodynamischer Prozess, der einen Generator zur Elektrizitätsgewinnung antreibt. Im Vergleich zu anderen Systemen der Kraft-Wärme-Kopplung, wie z.B. Vergasung (Abbildung 63), kommt das ORC-Verfahren für gewöhnlich in größeren Leistungsklassen zum Einsatz.

Im noch größeren Maßstab werden Hackschnitzel und Industriepellets oft zur Ko-Feuerung in großen Stein- oder Braunkohlekraftwerken verwendet. Normalerweise erzeugen sie dabei Strom mithilfe von Dampfturbinen. Idealerweise speisen diese Kraftwerke die anfallende Wärme in ein Fernwärmenetz ein. Ko-Feuerung kommt in Europa vor allem in den Niederlanden, in Großbritannien und in Belgien zur Anwendung.



Abbildung 63: ORC-System (1.520 kWel) der Grünfütterertrocknungsgenossenschaft Kirchdorf a.H. eG in Deutschland (Quelle: Rutz D.)

9 KUPs und ihre Umweltauswirkungen

Generell haben KUPs, wegen ihrem geringeren Bedarf an Input im Vergleich zu einjährigen Pflanzen, viele positive Auswirkungen auf die Umwelt. Das Risiko negativer Umweltauswirkungen ist normalerweise gering. Einige Auswirkungen auf die Umwelt wurden schon in Kapitel 2.5 und den darauffolgenden Kapiteln beschrieben. In den kommenden Kapiteln werden nun noch einige spezielle Auswirkungen im Detail beschrieben, die auch im SRCplus Bericht "Nachhaltigkeitskriterien und Empfehlungen für Kurzumtriebsplantagen" (Dimitriou & Rutz 2014) beschrieben werden.

9.1 Phytodiversität

Phytodiversität bezeichnet die Vielfalt und Vielzahl von Pflanzen und Pflanzengemeinschaften. Zur Phytodiversität in KUPs wurden vor allem in Schweden und Deutschland, aber auch in anderen Ländern, eine Reihe von Experimenten durchgeführt. Dabei wurden die Unterschiede zwischen KUPs und alternativen Landnutzungsformen, wie Weizenanbau oder Grasproduktion auf Ackerland, aber auch dem Waldbau, identifiziert, quantifiziert und evaluiert (Dimitriou et al., 2012a). Ein Überblick über die Ergebnisse ist im Folgenden dargestellt:

- KUPs können als zusätzliches landschaftliches Strukturelement die Pflanzenvielfalt in landwirtschaftlich intensiv genutztem Land erhöhen.
- KUPs stellen Habitate für andere Artzusammensetzungen bereit, als dies durch die umliegenden Landnutzungsformen, wie z.B. Ackerbau oder Bebauung mit Nadelwäldern, geschieht. Dadurch kann die Vielfalt der Pflanzenarten erhöht werden.

- Die Zusammensetzung der Arten auf einer KUP ist eine Mischung von Grünlandarten, Ruderalvegetation und Arten aus Waldgebieten. Die Artenzusammensetzung auf Ackerland beschränkt sich dagegen hauptsächlich auf Ruderal- und Ackervegetation.
- KUPs wurden als bis zu dreimal artenreicher an Pflanzenarten eingestuft als Ackerland und haben sich in vielen Fällen sogar als artenreicher als Nadelwälder und Mischwälder erwiesen.
- Der Beitrag einer KUP zur Artenvielfalt in landwirtschaftlichen Gebieten ändert sich über die Zeit. Mit abnehmend verfügbarem Licht für die Bodenvegetation erhöht sich der Anteil von Waldarten. Die gepflanzten Baumarten, die Bepflanzungsdichte und das Alter der Plantage sowie die Zeiträume des Umtriebes haben einen Einfluss auf die Artzusammensetzung.
- Weidenplantagen sind z.B. eher geneigt Waldarten zu fördern, als Pappelplantagen, da dort der Lichteinfall größer und variabler ist.



Abbildung 64: Vegetation in einer drei Jahre alten Pappelplantage im Frühling in Deutschland (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 65: Vegetation und Laubwerk in einer Pappel-KUP im Herbst in Deutschland (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 66: Weiden-KUP im Frühling in Schweden (Quelle: Rutz D.)



Abbildung 67: Eine Weidenplantage, die mit zwei verschiedenen Sorten bepflanzt wird, kann zu einer erhöhten Anzahl anderer Pflanzenarten in der Pflanzung führen (Quelle: Weih M.)

Die Auswirkungen einer neu angelegten KUP hängen immer von mehreren Faktoren ab und müssen vom Besitzer der Plantage abgewogen werden. Einfache und kostengünstige Maßnahmen zur Erhöhung der Phytodiversität können problemlos durchgeführt werden. Diese umfassen etwa die Anpflanzung verschiedener Sorten und Arten innerhalb der KUP, die Aussaat von Blütenpflanzen an den Enden der Pflanzung oder die Pflanzung von einheimischen Büschen an den Rändern und zwischen zwei Plantagen. Ebenso können zwischen oder auch innerhalb von Pflanzungen Freiräume gelassen werden, wo andere Pflanzen spontan keimen können.

Folgende Ratschläge können zur Vermeidung negativer und zur Stärkung positiver Umwelteinflüsse auf die **Phytodiversität** erteilt werden (Dimitriou et al., 2012a):

- Die Errichtung von KUPs in Gebieten mit einem hohen ökologischen Status sollten vermieden werden (z.B. Gebiete mit Naturschutzstatus, mit Vorkommen seltener Arten, Feuchtgebiete, Moore und Sümpfe)
- Eine hohe strukturelle Heterogenität stellt Habitate für verschiedene Anforderungen durch Pflanzen bereit und erhöht so die Diversität. Eine solche strukturelle Vielfalt kann an einem KUP-Standort durch (1) die Pflanzung verschiedener Baumarten und Klone und (2) durch die Ernte zu verschiedenen Zeitpunkten erreicht werden.
- Die Ränder von KUPs weisen eine hohe Artenvielfalt auf. Deshalb wird empfohlen mehrere kleine Plantagen anzulegen, da diese in Relation zu ihrer Größe mehr Ränder aufweisen, als eine einzige große Plantage. Wenn das nicht möglich sein sollte, können lange, rechteckige Pflanzungen die größten Vorteile im Hinblick auf die Phytodiversität bringen.
- Eine Zunahme von Waldbodenarten kann durch die Reduzierung der Sonneneinstrahlung des Bodens erreicht werden. Dies kann etwa durch lange Umtriebszeiten, eine hohe Pflanzendichte und der Verwendung von Weiden statt Pappeln geschehen. Eine andere Möglichkeit ist es, die Pflanzreihen in Ost-West-Ausrichtung zu konzipieren und so für eine Reduktion der Sonneneinstrahlung durch Beschattung zu sorgen.
- Die Ränder der Pflanzungen sollten nicht nur für eine einfachere Ernte so breit wie möglich sein, sondern auch um heimischen Blütenpflanzen anzuziehen, die ihrerseits Insekten anlocken. Die Mahd der Ränder sollte in den zeitlichen Abständen so geplant werden, dass die ökologischen Vorteile möglichst hoch sind.
- Die Zusammensetzung der Arten in KUPs wird von der Bestrahlungsintensität (siehe oben) und den Bodeneigenschaften beeinflusst. Eine hohe Humusqualität und die Verfügbarkeit von Nährstoffen unterstützt Stickstoff-Indikatorarten. Ein erhöhter Säuregehalt des Bodens nützt Indikatorarten für säurehaltige Bodenreaktionen.
- Das Verhältnis der Artenabdeckung in KUPs ist heterogener und höher als auf Ackerland.
- Je höher die Diversität in der Umgebung, desto niedriger ist der Artenanteil der KUP am gesamten Artenaufkommen in der Landschaft (Gamma-Diversität, z.B. die komplette Artenvielfalt in einer Landschaft)
- Je höher die Anzahl der Habitattypen, desto höher die Gamma-Diversität und desto geringer der Artenanteil der KUP an der Gamma-Diversität.
- Die Zusammensetzung der im Boden verfügbaren Samenarten haben nur einen geringen Einfluss auf die tatsächliche Vegetation einer KUP. Der Einfluss nimmt mit zunehmenden Lebensdauer der KUP ab.



Abbildung 68: Der Rand einer Weiden-KUP, der an ein Feld von Winterweizen angrenzt; eine erhöhte Pflanzenvielfalt ist deutlich sichtbar (Quelle: Nordh N-E.)

9.2 Zoodiversität

Zoodiversität beschreibt die Vielfalt von Tieren und Tiergemeinschaften. Für die Zoodiversität wurden ähnliche Informationen wie für die Phytodiversität gesammelt und analysiert.

Weiden-KUPs in Schweden sind bekannt dafür, **Wild**, wie z.B. Rehe, anzuziehen. Viele Plantagen in Schweden wurden für Jagd Zwecke eingerichtet. Überdies wurde berichtet, dass Wildschweine Lebensräume in landwirtschaftlichen Gebieten gefunden haben. Rehe, Kaninchen und Feldhasen können für KUPs Probleme verursachen und manchmal kann das Wachstum ihrer Populationen negative Auswirkungen haben und zum Verlust einer KUP führen. Dennoch könnten die Feldhasenpopulationen auch abnehmen, falls sich die Pflanzung von KUPs weiterverbreitet, da diese Art gemischte Landschaften bevorzugt und es unwahrscheinlich ist, dass sie sich in dicht gepflanzten Niederwäldern gut vermehren können.



Abbildung 69: Ein Kaninchen in einer Weiden-KUP. In manchen Gebieten können verschiedene Säugetiere KUPs erheblich beschädigen. Eine Umzäunung ist aber meist nicht ratsam, da sie zu hohe Kosten für die Bewirtschaftung verursachen würde. (Quelle: Dimitriou I.)



Abbildung 70: Ein Reh beim Betreten einer Weiden-KUP. KUPs sind dafür bekannt im Gebiet lebende Säugetiere anzuziehen, da sie ihnen Unterschlupf und Nahrung bieten. (Quelle: Nordh N-E.)

Es gab Diskussionen darüber, ob die Anlage von KUPs zu einer Zunahme von Vogelpopulationen in den entsprechenden Gebieten geführt hat. Eine detaillierte Liste der wichtigsten Erkenntnisse entsprechender Forschungen wird im Folgenden aufgeführt (Dimitriou et al., 2012a):

- KUPs haben im Vergleich zu anderem Ackerland generell mehr und vielfältigere Vögel. Es gibt aber so gut wie keine Vogelart, die sich auf das Brüten in KUPs spezialisiert hätte.
- Die Vogelarten, die in KUPs brüten, sind in der Regel keine gefährdeten Arten.
- Manchmal kommen gefährdete Brutvögel in kleinem Rahmen vor, dieses Vorkommen beschränkt sich aber in der Regel auf junge KUPs oder auf die Ränder der Plantagen.
- Die Eignung einer KUP als Habitat für Brutvögel hängt von Alter und Struktur der gepflanzten Weiden-/Pappelplantage ab. Verschiedene Vogelarten werden mit unterschiedlichen Altersklassen von KUPs in Verbindung gebracht.
- So wie die Plantage altert und in die Höhe wächst, wandelt sich die Zusammensetzung der Brutvögel von Freilandarten zu Heckenbrütern und dann zu Arten, die normalerweise Waldhabitats bewohnen.
- Die höchste Vogel- und Vogelartendichte wurde in 2-5 Jahre alten KUPs vorgefunden.
- Die Vielfalt an Vogelarten in einer KUP hängt auch mit der Bepflanzungsdichte und mit der Anzahl von Unkräutern zusammen.
- Die unterschiedlichen Zahlen an Brutvogelarten hängen mit vielen weiteren Faktoren zusammen, so wie z.B. der Strukturvielfalt, der Intensität der Bewirtschaftung, des landschaftlichen Kontextes und dem regionalen Artenvorkommen. Der landschaftliche Kontext ist überdies wichtig für die Auswirkungen einer KUP auf die Brutvogeldiversität landwirtschaftlicher Gebiete.
- Der Gesamteffekt auf die Zoodiversität hängt zu einem großen Teil davon ab, welcher Landtyp durch die KUP ersetzt wird und wie die umgebende Landschaft beschaffen ist.

Wenn ein wesentlicher Teil einer intensiv und homogen bewirtschafteten Fläche (z.B. 20%) mit KUPs bepflanzt wird, dann kann es zu folgenden positiven Veränderungen für die Vogelpopulationen kommen (Dimitriou et al., 2012a):

- mehr Brutvogelarten, da die KUP neue Habitatstrukturen bietet.
- mehr im Wald lebende Brutvogelarten, falls einige Gebiete der KUP zu waldähnlichem Stadium heranwachsen (bei einer Höhe von Pappeln und Weiden > 8 m).
- mehr Arten von Heckenbrütern in KUPs mit einer Höhe von mehr als 1 m.
- kein qualitativer Unterschied zu Ackerland für Vogelarten, die offene Feldhabitats zum Nesten und zur Futtersuche benötigen.
- mehr Brutvogelarten, die Saumbiotops benötigen und von Randeffekten profitieren (Bäume oder Büsche an der Grenze zum offenen Land), können bei kleinen und entlang von KUPs auftreten.
- mehr Vogelarten, die von unbewirtschaftetem Grünland und von nicht gemähten Gebieten mit hohen Gräsern und Kräutern an den Rändern einer KUP profitieren.
- etwas mehr gefährdete Arten können sich ggf. durch der KUP zugehörige Strukturen (z.B. hohe Kräutervegetation, Saumbiotops) oder den generell höheren Strukturreichtum ansiedeln.

Eine weitere positive Auswirkung von KUPs auf die Zoodiversität ist die Vielfalt an **Invertebraten**, so wie Regenwürmer, Spinnen, Käfer und Schmetterlinge, die in KUPs, sowohl im Boden, als auch über der Erde gefunden wurden. Eine Zunahme von Regenwürmern wurde in mehrjährigen KUPs (und im Vergleich zu Ackerland) verzeichnet. Trotz der hohen Anzahl von Einzeltieren haben intensiv bewirtschaftete KUPs keinen großen Wert als Habitat für gefährdete wirbellose Tiere, die unter der Erde leben. Das Vorkommen von Invertebraten wird durch den generell geringen Einsatz von Pestiziden bei der Bewirtschaftung von KUPs aber gefördert.



Abbildung 71: Ein Hochsitz an den Ecken zweier KUPs zur Beobachtung von Vögeln und Wild. Einige Vogelarten werden vor allem von den Rändern einer KUP angezogen. (Quelle: Dimitriou I.)



Abbildung 72: Bestäubung ist eine wichtige Leistung in einem Ökosystem, die von Weidenblüten erbracht wird. (Quelle: Nordh N-E., (links) Rutz D. (rechts))

Als weitere Unterstützung für das Ökosystem sollte die Bienenhaltung erwähnt werden, da KUPs folgende Vorteile für Honigbienen sowie für Wildbienen (alleine und im Volk lebende Bienen) mit sich bringen:

- Da sie sehr empfindlich auf Agrochemikalien reagieren, profitieren Bienen von dem geringen Einsatz von Pestiziden, im Vergleich zu jenem bei einjährigen Pflanzen.
- Vor allem Weiden liefern schon früh im Jahr Pollen, was für die Bienen nach der Winterpause wichtig ist.
- Das Harz von Pappel- und Erlenblüten sind Quellen für die Produktion von Propolis. Propolis ist eine harzige Mischung, die Bienen von Baumb Blüten, aus Pflanzensaft und aus anderen pflanzlichen Quellen sammeln. Es wird von den Bienen sowohl als antiseptisches Mittel zur Erhaltung der Hygiene im Stock als auch zur Versiegelung von unerwünschten Öffnungen des Stocks verwendet.
- Zusätzliche Vegetation in Bodennähe einer KUP liefert weitere Nektarquellen.
- Die Blüten der Robinie produzieren große Mengen an Nektar und sind somit eine wertvolle Nahrungsquelle für Bienen.
- Die meisten KUPs benötigen Vorgewende für das Manövrieren der Erntemaschinen, die nicht selbst mit KUP-Pflanzen bebaut sind, die aber durchaus mit heimischen Wildblumen bewachsen sein können, die wiederum Nahrung für Bienen liefern.



Abbildung 73: Breite Ränder zwischen Weiden-KUPs bieten anderen Pflanzen Platz und schaffen einen Korridor für Wild (Quelle: Nordh N-E.).

Die folgenden Empfehlungen für die Vermeidung von negativen und die Stärkung von positiven Auswirkungen auf die Zoodiversität können für die Planung einer KUP in einem gegebenen Gebiet ausgesprochen werden (Dimitriou et al., 2012a):

- Wo möglich sollten KUPs mit einem großen Verhältnis Rand zur Innenfläche geplant werden.
- Eine Mischung von Sorten und Klonen sollte verwendet werden.
- Es sollten rotierende Ernten in verschiedenen alten Abschnitten durchgeführt werden.
- Große Parzellen sollten durch Korridore oder Hecken aufgelockert werden.
- Beim Anbau von Weiden sollten Kreuzungen mit unterschiedlicher Blühzeit angepflanzt werden.
- Die Verwendung von Pestiziden sollte generell vermieden werden. Biologische Maßnahmen können helfen, die Risiken von Schädlingsbefall zu mindern.
- Ein Teil des KUP-Gebietes sollte für kleine Habitats, wie Grasstreifen und abgestufte Gehölzränder reserviert werden.
- Neue KUPs sollten nicht in naturschutzfachlich hochwertigen Habitats, wie z.B. Feuchtwiesen, Feuchtwiesen, stillgelegte Flächen, Brachland und naturnahe Wiesen, eingerichtet werden.

9.3 **Boden**

Im Vergleich zu konventionellem Ackerbau haben KUPs vor allem positive Auswirkungen auf die Bodenqualität. Eine detaillierte Liste der Vorteile von mehrjährigen KUPs (z.B. mehr als 15 Jahre) auf landwirtschaftlichen Flächen wird im Folgenden geliefert (Dimitriou et al., 2012b):

- Die Einlagerung von Kohlenstoff (C) als organische Bodenbestandteile ist bei einer KUP höher als beim Anbau von herkömmlichen Feldfrüchten, wie etwa Getreide, oder als bei einer intensiven Bewirtschaftung von Grünland.
- Die Stabilität der organischen Bodensubstanz ist bei KUPs höher als bei konventionellen Feldfrüchten und unterstützt überdies die Kohlenstoffbindung im Boden.
- Die Bodenerosion ist bei KUPs geringer als bei herkömmlichen Feldfrüchten.
- Der absolute Stickstoffgehalt (N) ist höher und die proportionale Verfügbarkeit von N für das Pflanzenwachstum ist, durch das erhöhte C/N-Verhältnis der organischen Bodenbestandteile in KUPs, geringer als beim konventionellen Feldbau.
- Die Verfügbarkeit von Phosphor (P) für die Pflanzen ist bei KUPs geringer, als bei herkömmlichen Feldfrüchten.
- Die Bodendichte ist bei KUPs geringfügig höher, als bei herkömmlichem Feldbau.
- Der pH-Wert des Bodens kann geringfügig niedriger sein, als bei herkömmlichen Feldfrüchten.
- Die mikrobielle Aktivität ist etwas niedriger als die Schaffung von neuer Biomasse (Blätter, Wurzeln). Dies trägt zu einer Ansammlung von organischem Bodenmaterial bei KUPs, im Vergleich zum Boden unter Bedingungen des herkömmlichen Feldbaus bei.

- Die Konzentration von Kadmium (Cd) im Boden ist bei KUPs geringer als unter Bedingungen des herkömmlichen Feldbaus.



Abbildung 74: Stamm eines dreijährigen Pappel-Max3-Klons im März in Deutschland: Blätter des Vorjahres bedecken noch immer den Boden (Quelle: Rutz, D)

Zusätzlich kann die allgemeine Bodenverdichtung in KUPs geringer sein, als bei anderen Feldfrüchten, da eine Ernte im Vergleich wesentlich seltener stattfindet. Darüber hinaus kann die Bodenverdichtung vermieden werden, wenn im Winter bei gefrorenem Boden geerntet wird. Gleichzeitig ist zu dieser Jahreszeit die Nachfrage nach Energieholz am höchsten. Außerdem kommt es bei Pappel-, Weiden-, Birken- und Eukalyptus-KUPs, im Vergleich zu benachbartem Ackerboden, zu einem erhöhten Aufkommen von Mykorrhiza, was gut für den Nährstoffkreislauf ist.

Zu guter Letzt können KUPs auch für die Phytosanierung von kontaminiertem Land dienen. Phytosanierung bezeichnet die Behandlung von kontaminiertem Land (z.B. durch Schwermetalle, Pestizide oder Lösungsmittel) mithilfe von Pflanze und ohne den verschmutzten Boden auszugraben und zu entsorgen. Vor allem einige Weidenarten haben die Fähigkeit Schwermetalle zu binden.



Abbildung 75: Weiden-KUPs (im Hintergrund) neben gepflügtem Ackerland (Foto wurde im Herbst gemacht). Die Böden werden bei der Pflanzung von KUPs im Hinblick auf andere Feldfrüchte nicht gestört. Der Kohlenstoffgehalt des Bodens ist in KUPs höher als bei herkömmlichen Feldfrüchten. (Quelle: Nordh N-E.)

Die folgenden Empfehlungen für die Planung und das Design einer KUP können zur Verhinderung negativer und zur Verstärkung positiver Auswirkungen auf den Boden gegeben werden:

- KUPs können auf Flächen mit geringer, organischer Bodensubstanz kultiviert werden, um den Humusgehalt zu erhöhen.
- KUPs sollten vor allem in Gegenden mit hohem Erosionsrisiko kultiviert werden, um den Verlust von fruchtbarem Boden sowie von Nährstoffen durch Wind und Wasser zu mindern.
- Die Ausbringung von Klärschlamm kann zur Wiederverwertung von Nährstoffen beitragen.
- KUPs sollten genutzt werden, um Böden mit erhöhten Kadmiumkonzentrationen, die auf langfristige Anwendung von kadmiumhaltigen P-Dünger sowie auf andere Quellen der Umweltverschmutzung zurück geführt werden können, zu sanieren.
- KUPs sollten für die Dauer von mindestens drei Ernteperioden am selben Ort etabliert werden, um so eine gute Verbesserung der Bodenqualität im Hinblick auf Kohlenstoffeinlagerung und Kadmiumaufnahme zu garantieren.
- KUPs sollten im Winter geerntet werden, wenn der Boden gefroren ist und so Bodenverdichtung vermieden werden kann.

9.4 Wasser

Bei der Untersuchung der Auswirkungen von KUPs auf den Wasserhaushalt lag der Fokus vor allem auf dem Thema des Nährstoffeintrags ins Grundwasser. Dabei sind die zu erwartenden Auswirkungen von KUPs meist positiv. Die Auswirkungen auf den gesamten Wasserhaushalt sind oft aber negativ. Dies gilt vor allem für Gegenden in denen Wasser in den Sommermonaten knapp ist. Detaillierte Schlüsse, die aus Experimenten gezogen wurden, die KUPs mit anderen landwirtschaftlichen Nutzungsformen hinsichtlich der

Wasserqualität und –quantität vergleichen, werden im Folgenden präsentiert (Dimitriou et al. (2012c):

- Das Versickern von Nitraten ($\text{NO}_3\text{-N}$) ins Grundwasser ist bei KUPs erheblich geringer als bei herkömmlichen Feldfrüchten.
- Das Versickern von Phosphatverbindungen (z.B. $\text{PO}_4\text{-P}$) ins Grundwasser ist bei KUPs nahezu gleich oder in manchen Fällen geringfügig höher, als bei herkömmlichen Feldfrüchten.
- Das leicht erhöhte Versickern von $\text{PO}_4\text{-P}$ ins Grundwasser korrelierte nicht mit einer Anwendung von Klärschlamm auf den KUPs.
- KUPs als Windschutzstreifen sind bekannt, Pestizidverwehungen angrenzender Felder zu reduzieren.
- Es wird wesentlich weniger Grundwasser auf einer Weidenpflanzung gebildet als auf Grünland. Wenn man diesen Effekt auf ein Einzugsgebiet mit 20% KUP-Bewuchs überträgt, ist der negative Einfluss auf den Grundwasserspiegel aber moderat.
- Das Ernten einer Weiden-KUP führt zu mehr Grundwasserneubildung im ersten Jahr des Nachwachsens, da weniger Grundwasser durch Pflanzenverdunstung und Interzeption verloren geht.

Die folgenden Empfehlungen zur Vermeidung negativer und zur Stärkung positiver Auswirkungen von KUPs auf den Wasserhaushalt können im Hinblick auf die Auswahl des Standortes sowie die Planung einer KUP gegeben werden:

- KUPs können in der Nähe von Stickstoffquellen (z.B. Tierfarmen, stickstoffempfindliche Zonen, Kläranlagen etc.) kultiviert werden, um so den Abfluss von Stickstoff in anliegende Gewässer zu verhindern.
- KUPs sollten eher in Gegenden mit hohem Grundwasserstand kultiviert werden (potentiell überflutete Gebiete und Gebiete nahe Gewässern, die potentiell über die Ufer treten können).
- Die Anwendung von Klärschlamm zum Nährstoffrecycling hat normaler Weise keinen negativen Einfluss auf die Wasserqualität und kann daher in Erwägung gezogen werden.
- Häufige Ernten führen zu einer höheren durchschnittlichen Grundwasserneubildung und können mögliche negative Auswirkungen auf die Minderung von Grundwasserneubildung abfedern.

9.5 Die Verwendung von Asche und Klärschlamm als Dünger

KUPs werden zwar auf Ackerboden angebaut, sind aber weder Nahrungsmittel- noch Futtermittelpflanzen. Deshalb kann es sinnvoll sein Klärschlamm aus Kläranlagen auszubringen, da das Risiko einer direkten Kontaminierung der Nahrungskette minimal ist. Die Wiederverwertung von Phosphor (was eine endliche Ressource ist) und Stickstoff in der Landwirtschaft wird generell von der Politik in Europa begrüßt. Außerdem trägt die Ausbringung von Klärschlamm zur Kohlenstoffspeicherung auf den landwirtschaftlichen Flächen bei. Klärschlamm kann aber, neben Nährstoffen, auch Schwermetalle enthalten. Deshalb muss die Schwermetallkonzentration im Boden nach der Ausbringung von Klärschlamm kontrolliert werden. Darüber hinaus muss der Abfluss in den Pflanzen-Boden-Bereich reguliert werden, um so eine Schwermetallansammlung zu vermeiden, die auch den Schwermetallgehalt des nachfolgenden Nahrungsmittelanbaus beeinträchtigen könnte. Es gibt in allen europäischen Ländern Vorschriften für die maximale Ausbringungsmenge von Klärschlamm und die erlaubten Schwermetallkonzentrationen im Boden. Diese Vorschriften

variieren von Land zu Land, wodurch es unerlässlich ist, vor einer Ausbringung von Klärschlamm Kontakt mit den lokalen Naturschutzbehörden aufzunehmen.

Klärschlamm ist im Hinblick auf die Nährstoffe kein ausgewogener Dünger, da er zwar Stickstoff (hauptsächlich organisch gebunden) und hohe Mengen an Phosphor enthält, dafür aber kein Kalium. Deshalb können auch Mischungen aus Klärschlamm und Holzasche auf KUPs ausgebracht werden (Dimitriou et al., 2006). Holzasche enthält hohe Mengen an Kalium, sehr wenig Phosphor und kein Stickstoff. Diese ausgewogenere Düngung kann konventionellen, anorganischen Düngern auf KUPs ersetzen, obwohl in manchen Fällen noch zusätzlich Stickstoff beigegeben werden kann, um den Bedarf zu decken. Die Ansammlung riskanter Schwermetalle und übermäßigem Phosphor in Klärschlamm-Asche-Mischungen sollten durch die pflanzliche Aufnahme minimiert werden. Bei der Ernte werden Triebe, die Schwermetalle enthalten, entfernt und verbrannt. Asche aus der Verbrennung umfasst Rostasche und Schlacke mit geringen Schwermetallkonzentrationen und Flugasche mit hohen Konzentrationen. Bei hohen Schwermetallkonzentrationen sollte nur die Rostasche erneut auf KUPs ausgebracht werden. Flugasche mit den hohen Schwermetallkonzentrationen sollte deponiert werden um die Schwermetalle aus dem Biozyklus zu entfernen.

Die Klärschlamm-Asche-Mischungen können während der Errichtungsphase und nach jeder Ernte – mit anderen Worten alle drei bis fünf Jahre - auf einer KUP ausgebracht werden, um so die durch die Ernte entnommenen Nährstoffe zu ersetzen. In der Praxis werden die Mengen der ausgebrachten Mischung auf die maximal erlaubten Phosphormengen abgestimmt (diese sind normalerweise streng geregelt, z.B. in Schweden handelt es sich um das Äquivalent von ca. 22 bis 35 kg pro Hektar und Jahr).



Abbildung 76: Das Versprühen von Klärschlamm (hier in einer Mischung mit Holzasche) ist eine gängige Praxis in Schweden (Quelle: Dimitriou I.).

Kadmium wird als eines der gefährlichsten Metalle für die menschliche Gesundheit eingestuft. Vor allem die Weide ist in der Lage, hohe Mengen an Kadmium in ihre Triebe

aufzunehmen. Sie werden alle drei bis vier Jahre geerntet, was innerhalb der Lebenszeit einer KUP einige Ernten ergibt (Dimitriou und Aronsson, 2005). Bei der Verbrennung der Biomasse bleiben das Kadmium und die anderen Schwermetalle in den verschiedenen Ascheanteilen zurück. Dies erlaubt es, sie von der Asche, die zur Düngung verwendet wird, zu trennen. Da diese Dienstleistung aber meist nicht bezahlt wird, wird in der Praxis meist die gesamte Asche mit allen Nährstoffen auf einer Deponie entsorgt.

9.6 Agroforstsysteme

Ein Agroforstsystem ist eine Landnutzungsart, in der Bäume, in diesem Fall KUP-Arten, neben Feldfrüchten oder Weideland angebaut werden. Sie kombiniert Technologien aus der Landwirtschaft und aus der Waldwirtschaft, um so diversere, produktivere, profitablere, gesündere und nachhaltigere Landnutzungssysteme zu schaffen. Es gibt verschiedene Typen von Agroforstsystemen.

Gute Möglichkeiten für Waldfeldbausysteme mit KUPs sind vor allem auf großen Flächen mit einem hohen Risiko der Bodenerosion gegeben. Studien haben gezeigt, dass eine KUP-Pflanzung positive Auswirkungen auf das Mikroklima mit sich bringt. Sogar die höhere Beschattung im Sommer bringt positive Auswirkungen auf die Erträge anliegender Weizen- oder Rapsanbaustätten neben der KUP mit sich (Abbildung 72).

Auch Tiere (z.B. Hühner, Schweine) können in Agroforstsystemen gehalten werden. Vor allem in den Tropen hat sich herausgestellt, dass Waldfeldbau die Bodenqualität verbessern und so die Lebensmittel- und Ernährungssicherheit für Kleinbauern gewährleisten kann (Kaufmann et al. n.d.).



Abbildung 77: Agroforstsystem auf einem 40 ha Feld in Dornburg, Deutschland: Die Streifen aus Pappel-KUPs dienen als Windbrecher und beeinflussen das Mikroklima des Feldes positiv. Zuvor bestanden die 40 ha nur aus Monokulturen einjähriger Pflanzen. (Quelle: Rutz D.)

10 Wirtschaftlichkeit von KUPs

Wirtschaftlichkeitsberechnungen von KUPs variieren beträchtlich. Es gibt viele Fälle, in denen sich KUPs als einträgliches Geschäft für den Landwirt herausgestellt haben. Ebenso gibt es aber auch Fälle, in denen die Wirtschaftlichkeit einer KUP nicht so profitabel war, wie zuvor kalkuliert. Die Wirtschaftlichkeit einer KUP ist nämlich in hohem Maße von standortbedingten Faktoren abhängig. Diese Faktoren beziehen sich auf die Kosten der Bewirtschaftung, die von Land zu Land, zwischen verschiedenen Regionen des gleichen Landes oder sogar zwischen verschiedenen Betrieben desselben Landes (z.B. in Abhängigkeit davon, ob schon entsprechende Maschinen vorhanden sind, die für die KUP genutzt werden können) schwanken können. Auch der zu erzielenden Profit kann sehr unterschiedlich sein, da die Verkaufspreise der Biomasse selbstverständlich sehr stark variieren können.

Vor allem der Verkaufspreis von Holz wird von den Preisen anderer Energieträger in einem Land oder einer Region beeinflusst. Überdies kann er zeitlich, je nach Jahreszeit, schwanken. All diese Faktoren machen es schwierig und riskant, generelle Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einer KUP zu treffen. Deshalb werden in diesem Teil des Handbuches eine Anzahl verschiedener, konkreter Beispiele mit ökonomischen Details und mit unterschiedlicher Bewirtschaftungspraxis in einigen Teilen Europas beschrieben, anstatt allgemeingültige Berechnungen vorzulegen (Dimitriou et al., 2014b). Dadurch ist es leichter Vergleiche anhand realer Fakten zu erstellen. Um einen umfassenden Überblick zu ermöglichen, werden zunächst Hintergrundinformationen zu Bewirtschaftungspraktiken von KUPs und andere damit im Zusammenhang stehende Informationen gegeben, bevor eine Kalkulation mit Kosten und Profiten aufgelistet wird.

10.1 Beispiel 1: Weiden-KUP in Grästorp, Schweden

Dieses Beispiel zeigt den Anbau einer Weiden-KUP auf Acker. Die Weidenhackschnitzel werden, ebenso wie anderes Holz, für die Erzeugung von Bioenergie in einem lokalen Heizkraftwerk verwendet. Auf dem Betrieb in Puckgården (insgesamt 50 ha) werden 21 ha mit Weiden-KUPs zur Energiegewinnung aus Biomasse bebaut. Auf der restlichen Fläche werden Hafer, Weizen, Erbsen und Raps angebaut. Puckgården ist Mitglied einer lokalen Vereinigung von Weiden-Anbauern bestehend aus 12 Landwirten, die insgesamt ca. 100 ha Land mit Weiden bepflanzen. Sie kooperieren in allen Aspekten der Bewirtschaftung von Weiden: die Vereinigung bestellt Erntedienstleistungen von Unternehmern (die von jedem Mitglied separat nach den Kosten der Arbeitszeit bezahlt werden), organisiert den Transport und verkauft die Hackschnitzel an das lokale Heizkraftwerk. Der Landwirt in Puckgården hackt auch noch andere Biomasse und verkauft es an das Heizkraftwerk das die Landwirte in €/m³ Hackschnitzel entlohnt. Das ist für die Landwirte vorteilhaft, da Qualitätsunterschiede des Brennstoffes nicht beachtet werden.

Die verschiedenen Weidenplantagen in Puckgården wurden 1991, 1992 und 1993 eingerichtet, als die Subventionen für solche Pflanzungen bei 10.000 SEK (ca. 1.110 Euro, 1 € = 9 SEK) lagen und so die gesamten Kosten der Bepflanzung zum damaligen Zeitpunkt deckten. Der Landwirt hat etwa 100 kg N pro Hektar in jedem zweiten Jahr nach einer Ernte ausgebracht. Die Pflanzung wird mit kleinen Mengen Abwasser von anderen landwirtschaftlichen Betrieben gedüngt. Der Nährstoffgehalt dieses Abwassers ist aber gering und wird eher zur Bewässerung im Sommer verwendet.

Die Weiden werden jedes vierte Jahr im Frühling (März) geerntet, wenn es noch Bodenfrost gibt. Die Ernte wird mit einem Claas Jaguar S von einem lokalen Unternehmer durchgeführt. Die Biomasseproduktion schwankt dabei zwischen 8 und 10,7 t Trockenmasse/ha/Jahr. Die Weidenhackschnitzel werden auf Haufen für etwa einen Monat neben dem Feld gelagert,

bevor sie zum Heizkraftwerk in Grästorp transportiert und verkauft werden. Das Heizkraftwerk hat eine Leistung von 3,5 MW und befindet sich zu 40% im Besitz der Gemeinde und zu 60% im Besitz von Lantmännern (eine landwirtschaftliche Kooperative). Das Heizkraftwerk versorgt kommunale Gebäude sowie Privathaushalte in Grästorp (ca. 5.641 Einwohner) mit Wärme. Während sechs Monaten werden die Kessel des Heizkraftwerks nur mit Weidenhackschnitzeln betrieben (im Rest des Jahres laufen sie mit anderem Waldhackgut). Dazu müssen die Weidenhackschnitzel allerdings einen Monat neben dem Feld in Puckgärden gelagert werden, um eine Trocknungsgrad zu erreichen, der vom Kraftwerk akzeptiert wird.

Unten werden Berechnungen für die Produktionskosten und Einnahmen in €/ha/Jahr für das Preisniveau von 2011 vorgestellt. Betriebsprämien werden nicht berücksichtigt. Die pflanzungsbezogene Ausgaben (z.B. für Pflanzausrüstung, Reinigungs- und Arbeitskosten) beliefen sich auf ca. 1.110 €/ha und sind in der Tabelle 16 aufgeführt. Die Subvention für die Pflanzung betrug 1.110 €/ha und ist ebenfalls in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16:Produktionskosten, Ertrag und Gewinn in €/ha/Jahr für die Weiden-KUP in Puckgärden.

Kosten (€/ha/Jahr)	
Düngung	38
Kontrolle/Instandhaltung	22
Ernte	139
Transport	105
Sonstige Ausgaben	55
Zinsrate	11
Total	370
Einnahmen (€/ha/Jahr)	
Hackschnitzel	864
Total	864
Gewinn (€/ha/Jahr)	494

* Berechnungen wurden auf Grundlage eines Wechselkurses von 1 € = 9 SEK und für ein Weidenfeld mit einem Erntezyklus von 4 Jahren und im fünften Erntezyklus erstellt.

** Alle Kosten außer den Kosten für Grundeigentum sind enthalten.

*** Kosten für die Administration, Telekommunikation und Fahrten sind in den sonstigen Kosten enthalten.

Wenn die geringere Produktion und die höheren Kosten bei den anfänglichen Umtriebszeiten betrachtet werden, ergibt sich die Kalkulation für die Weidenpflanzung, die in Tabelle 17 dargestellt ist.

Tabelle 17: Berechnung des Gewinns der Weidenplantage in Puckgärden während des fünften Erntezyklus (von jeweils vier Jahren) inklusive der Betrachtung aller Erntezyklen (einschließlich des ersten, wenig produktiven Zyklus).

	Biomasse- produktion (t/ha/Jahr)	Hackschnitzel- preis (€/t Trocken- masse)	Produktions- kosten (€/t Trocken- masse)	Subvention (€/ha/Jahr)	Gewinn (€/ha/Jahr)
Fünfter Erntezyklus	9,5	91	38,5		494
Alle Erntezyklen	8,8	91	52	50,5	392

* Berechnungen wurden auf Grundlage eines Wechselkurses von 1 € = 9 SEK und für ein Weidenfeld mit einem Erntezyklus von 4 Jahren und im fünften Erntezyklus erstellt.

** Alle Kosten außer den Kosten für Grundeigentum sind enthalten.

10.2 Beispiel 2: Weiden-KUP bei SIA ECOMARK, Lettland

Dieses Beispiel beschreibt die Hackschnitzelproduktion aus einer Weiden-KUP, die auf Brachland in Lettland angelegt wurde. Die Nachfrage nach Hackschnitzeln guter Qualität, nach Briketts und nach Pellets zur Produktion von Wärme oder Elektrizität, aber auch die Holznachfrage für Bauholz ist in Lettland von zunehmender Bedeutung. Dies sind die hauptsächlichen Auslöser für die Gründung von Unternehmen, die Weiden auf lettischem Ackerland kultivieren. Das Hauptziel solcher Unternehmen ist es mithilfe schnell wachsender Arten erneuerbare Rohstoffe für die Energie- und Elektrizitätsgewinnung zu produzieren und zu verkaufen. Dazu werden die entsprechenden Sorten auf brachliegendem Ackerland kultiviert und diese somit in produktive KUPs umgewandelt.

Die Firma Sia Ecomarc hat eine Kooperation mit dem schwedischen Unternehmen Salixenergy AB in Lettland geschlossen, um Pflanzenmaterial an neu eingerichteten Standorten zu produzieren und zu verkaufen. Ein Jahr alte Triebe wurden verwendet um Stecklinge als Pflanzmaterial für neue Plantagen zu produzieren. Seit 2012 verfügt das Unternehmen über zwei Pflanzmaschinen zur doppelreihigen Bepflanzung neuer Standorte und ist somit auf dem Gebiet des Pflanzens zunehmend unabhängig von externen Dienstleistern.

Sia Ecomarc hatte ursprünglich mit einer kleinen Weidenpflanzung angefangen, die für Demonstrationszwecke und zum praktischen Erlernen der Weidenkultivierung auf Ackerland angelegt worden war. Diese anfängliche Plantage wurde mit den besten zu dieser Zeit verfügbaren Klonen, nämlich den schwedischen Züchtungen Tora und Torhild, sowie mit Pflanzenmaterial aus Litauen und Ungarn bestückt. Die ungarische Art *Salix alba* war zwar in der Lage unter lettischen Bedingungen zu überleben, aber die Triebe leiden seit 2008 in jedem Jahr unter dem Frost im Winter. Die ursprüngliche Idee KUPs als landwirtschaftliches Produkt zur Energiegewinnung anzubauen, kommt aus Schweden. In der Anfangszeit war Ackerland eine ziemlich billige und ökonomisch vorteilhafte Ressource (500-700 €/ha). In den letzten Jahren wurde das Land teurer und selbst Brachland kostet momentan bis zu 1.000 €/ha. Das Unternehmen beschäftigt sich außerdem mit der Landschaftspflege.

Sia Ecomarc plant zur Ernte eine industrielle Hackmaschine einzusetzen und monatlich 7.000 m³ zu hacken. Die Hackschnitzel werden aus verschiedenen Ausgangsmaterialien hergestellt, die auf dem Markt verfügbar sind: Hackschnitzel aus landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Überresten, Reste von Sägewerken, Brennholz, sowie Büsche und kleinere Bäume von brachliegendem Ackerland. Sia Ecomarc bietet außerdem das Hacken von Holz als Dienstleistung an. Die Weidenpflanzungen, die im Frühjahr 2012 angelegt wurden, waren dafür vorgesehen im Winter 2014-2015 zum ersten Mal geerntet zu werden.

Die Kosten (für 2013) der verschiedenen Dienstleistungen werden unten dargestellt. Es muss beachtet werden, dass das Unternehmen bis zur Veröffentlichung dieses Handbuchs noch keine Weidenpflanzungen geerntet hatte und deshalb für diesen Arbeitsschritt noch keine Daten zur Verfügung stehen.

- Preis für lizenziertes Pflanzenmaterial: 0,065 €/Steckling oder 0,325 €/m (Kosten für den Hektar belaufen sich auf ca. 780-975 €);
- Bodenvorbereitung: 230-360 €/ha (einschließlich der Ausbringung von Chemikalien, Pflügen, Entfernung von Baumwurzeln und Steinen und dem Eggen vor der Pflanzung);
- Bepflanzung: 215 €/ha;
- Mechanische Unkrautbekämpfung (Kreiselegen für die Streifen zwischen den Doppelreihen): 55 €/ha (einmalig)
- Unkrautbekämpfung mit Herbiziden (Stomp CS): 80 €/ha.

10.3 Beispiel 3: Pappel-KUP in Göttingen, Deutschland

Der Heizungs- und Kesselhersteller, Viessmann, startete vor einigen Jahren sein Programm „Effizienz Plus“. Ein Hauptziel dieses Programmes war es, die eigenen industriellen Gebäude mit Heizwärme aus Holzbiomasse, genauer aus Pappel-KUPs, zu versorgen. Der Biomassekessel wird mit KUP-Hackschnitzeln beschickt, die auf 180 ha Ackerland angebaut werden.

Um die Versorgung des Kessels mit Hackschnitzeln sicherzustellen hat Viessmann eine Tochtergesellschaft gegründet, die Ackerland leaset oder erwirbt und darauf KUPs pflanzt. Die erste eigene registrierte Pflanzung wurde 2007 geerntet und im Mai 2008 wurde das Pflanzenmaterial genutzt, um die ersten 130 ha Pappel-KUPs anzulegen. Überdies wurden andere KUP-Arten, wie die Paulownie, Igniscum, Salix und andere auf kleineren Arealen angepflanzt. Diese KUP-Pflanzungen wurden 2009/10 zum ersten Mal geerntet und die produzierten Hackschnitzel wurden für die Beheizung des Viessmann-Werkes verwendet.

Diese KUP-Pflanzung ist aus folgenden Gründen eines der Musterbeispiele in Deutschland:

- Schon vor Projektstart wurden viele Partner miteinbezogen: Naturschutzämter, Wasserwirtschaftsamt, lokale und kommunale Behörden, die landwirtschaftliche Verwaltung, lokale Landwirtvereinigungen und der lokale Jagdverband.
- Am Standort in Allendorf und an der zugehörigen KUP wurden mehrere Forschungsprojekte durchgeführt, von denen einige noch immer laufen. Darunter z.B. „ELKE“, „ProLoc II“ und „Naturschutzfachliche Anforderungen an KUP“. Diese Forschungen sollen die in Deutschland relevanten Nachhaltigkeitsaspekte für KUPs untersuchen.
- Das Projekt wurde mit verschiedenen Preisen, darunter der deutsche Nachhaltigkeitspreis (2009, 2011), der Energieeffizienz-Preis (2010) und der Energy Globe Award (2012), ausgezeichnet.

Die ersten Setzlinge wurden 2008 gepflanzt, aber es gibt keine verfügbaren Daten zur Dichte (z.B. Setzlinge pro Hektar) oder Menge der Setzlinge. Dies liegt an der Tatsache, dass für jede Pflanzung ein eigener Setzlings-Plan erstellt wurde. Einige geographische Daten über Allendorf werden im Folgenden präsentiert:

- Höhe: 250 – 708 m ü. NN.
- Boden: Oberer Buntsandstein
- Mittlere Jahrestemperatur: 6,5 – 8,5 °C

KUPs passen hervorragend in die Bioenergie-Wertschöpfungskette von Allendorf, da Viessmann Heizsysteme und Biomassekessel herstellt. Der Einsatz von Biomasse aus KUPs kann den Druck der erhöhten Biomasseproduktion aus Wäldern reduzieren und so die Wälder für Erholungszwecke und andere Nutzungsformen in der Gegend erhalten. Nichtsdestotrotz müssen einige der neuen Technologien noch verbessert werden. Dies gilt vor allem für die Ernte und die Verbesserung der Qualität der produzierten Hackschnitzel.

Es wurde eine Berechnung auf Grundlage der Erntepraktiken in Allendorf erstellt. Die Ergebnisse dieser Berechnung werden zusammen mit einigen weiteren Annahmen in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Überblick über kalkulierte Kosten und Einnahmen (in €) für die KUP in Allendorf (Quelle: von Harling and Viessmann; 2009)

Kosten-/Einnahmekategorien	Kosten	Einnahmen*	Kommentar
Stecklinge	1.650	11.000 Stecklinge/ha	
Stecklinge (eigene Produktion)	0		
Herbizide im Herbst (chemischer Schutz)	20	Preis / Steckling 0,08-0,23 €/Stück (0,15 €/Stück)	
Einsatz chemischen Schutzes	22		
Pflügen, Herbst	94	Einsatz chem. Schutz (Herbst): 5 l/ha	
Herbizide, Frühling (chemischer Schutz)	12	Einsatz chem. Schutz (Frühling): 3 l/ha	
Einsatz chemischen Schutzes	22		
Eggen, Frühling	47		
Kosten für Pflanzen und Setzen	1.100		
Mulchen, Frühsommer	33		
Erntekosten	7.500	Häcksler 15 €/t Transportlogistik 10 €/t	
Jahresabschluss und Steuern	2.071		
Sozialabgaben	1.036		
Beratung	31		
Personalkosten Viessmann	3.000		
Rückumwandlung (1.000 €/ha)	1.000		
Verkauf der Hackschnitzel an Viessmann		19.500	Verkaufspreis (Hackschnitzel): 65 €/t Trockenmasse
Subventionen		571	
Einnahmen aus Besitzansprüchen (Leasing von Wiesen und Weiden)		166	
Bonus (Energiepflanzen)		300	
Einnahmen aus dem Verkauf von Stecklingen (eigene Produktion)		0	
Bilanz	-4.000	6.899	2.899

*Annahme: 30 Jahre in Betrieb (Ernte alle drei Jahre)

10.4 Beispiel 4: Weiden-KUP in der Bretagne, Frankreich

100 ha wurden in den Jahren von 2004 bis 2007 in der Bretagne für die lokale Heizwärmeproduktion im Rahmen des „EU Life Environment“ Forschungsprojektes mit Weiden bepflanzt. Das Ziel des Projektes war, es KUPs in der Region zu pflanzen und ihren Nutzen für die Abwasserbehandlung zu demonstrieren. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Wirtschaftlichkeit der Projektkonzeption, einer guten fachlichen Praxis und guter Öffentlichkeitsarbeit sowie auf der Entwicklung lokaler Wertschöpfungsketten für die Wärmeproduktion. Verschiedene Studien wurden durchgeführt, um Kriterien zu entwickeln und Ergebnisse zu analysieren und das Konzept dadurch auf andere Gebiete übertragen zu können. Ergebnisse des Wilwater-Projektes werden gemäß dreier verschiedener Modelle und den Hauptzielen des Projektes dargelegt:

- Gewinnung von Hackschnitzeln zur Wärmeproduktion
- Schutz der natürlichen Umwelt, Bewässerung mit behandelten Abwässern oder Schutz von Trinkwasserreservoirien
- Klärschlammausbringung aus Kläranlagen

Das Wilwater-Projekt wurde gestartet, um mit einem multidimensionalen Ansatz aus mehreren Kriterien den ökonomischen Problemen bei der KUP-Produktion in Frankreich beizukommen. In der Tat war es wichtig, neue Wege der Einführung von KUPs zu finden, da die politische Unterstützung in Frankreich gering war und es erst wenig Erfahrung gab. Alle Akteure des Projektes beteuern überdies, dass sie über die ökonomischen Motive hinaus folgende weitere Ziele verfolgt haben:

- Motivation autonomer zu werden (durch die Produktion eigener Energie, durch die nachhaltige Gestaltung der Klärschlammverteilung, durch die Schaffung lokaler Versorgungsketten)
- Motivation neue regionale und lokale Partnerschaften einzugehen (Kapazitätsaufbau zwischen den Interessengruppen)
- Motivation im Hinblick auf das Image (Kommunikation über innovative Aktivitäten)

Kooperierende Partnerschaften wurden zwischen lokalen Stadtgemeinden, die lokale Heizwerke betreiben, lokalen und kommunalen Kläranlagen, Landwirten und lokalen Energieversorgern geschlossen. Mehrere Pilot-Standorte mit jeweils spezifischen Geschäftsmodellen wurden während des Projektes eingerichtet. Unten wird die Geschäftsstrategie eines, während des Wilwater-Projektes im Ort Pleyber-Christ eingerichteten, Standortes aufgezeigt.

Pleyber-Christ ist eine Gemeinde mit 2.800 Einwohnern. Abwasser wird auf Weiden-KUPs ausgebracht (100 m³/ha über den Zeitraum von drei Jahren), die anschließend als Hackschnitzel für die Wärmeerzeugung für kommunale Gebäude (150 kW) genutzt werden. Der jährliche Energieverbrauch wird auf ca. 217 MWh beziffert, was einem Äquivalent von 110 Tonnen Hackschnitzel mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 25% entspricht. KUPs wurden durch ein Landwirtschaftsunternehmen und unter Zuhilfenahme einer STEP-Maschine auf öffentlichem Land gepflanzt (Kosten von 2.800 €/ha inklusive der Vorbereitung des Bodens). Das Ausbringen von Klärschlamm wird im ersten und zweiten Jahr durch eine Kooperative der örtlichen Landwirte (CUMA de Pleyber-Christ) bewerkstelligt. Im dritten Jahr waren die Weiden schon zu hoch für die von der Kooperative verwendeten Maschinen. Die Ernte beginnt im dritten Jahr und erfolgt dann in einem Rhythmus von drei Jahren. Sie wird durch eine regionale Kooperative für Maschinenservices (CUMA Breizh Energie) durchgeführt, die in eine STEMSTER-Maschine investiert hat. Die Kooperative der lokalen Landwirte ist dafür zuständig, den Transport der Hackschnitzel zu einer Trocknungseinrichtung zu organisieren. Diese wird von einem kooperativen, gemeindeorientierten Unternehmen (Société Cooperative d'intérêt Collectif) betrieben, das extra für diesen Zweck ins Leben gerufen wurde. Das Projekt hat Subventionen auf verschiedenen Ebenen erhalten (z.B. 50% der

Heizsysteme von der regionalen Ebene). Es wird geschätzt, dass die Gemeinde jährlich 20.000 € durch das Ersetzen fossiler Energieträger einsparen wird.

Von 1998 bis 2001 wurden in der Bretagne 13 ha in zehn verschiedenen Zonen mit KUPs bepflanzt, um die ökonomische und technische Machbarkeit von KUP-Pflanzungen zu testen.

Von 2002 bis 2006 wurde in einem Dorf eine Fläche von 5 ha gepflanzt, um das Ausbringen von Klärschlamm auf KUPS zu testen. Ein Unterfangen, das außerdem mit dem Bau eines Heizkraftwerkes für das Dorf zusammenhing.

Die Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement (AILE) war Partner dieses Projektes und startete das Wilwater-Projekt um eine Weiterführung dieser Experimente zu ermöglichen.

Ein Schwerpunkt auf Abwasserbehandlung und –ausbringung wurde nach einer Gesetzesänderung eingeführt: Landwirte durften nicht länger Klärschlamm auf ihre Felder (mit Nahrungsmittelanbau) ausbringen und mussten andere Felder dafür finden. Kommunen riefen Partnerschaften von Landwirten und lokalen Industriebetrieben ins Leben, um innovative Wege zu finden, mit diesen Veränderungen umzugehen.

KUPs wurden unter Verwendung einer speziellen Pflanzmaschine und mit vier verschiedenen Weidensorten (Björn, Tora, Torhild und Olof), die im Hinblick auf Aspekte der Produktivität und der Resistenz gegen Blattrost ausgewählt worden waren, angelegt. Die Pflanzendichte betrug 16.000 pro Hektar. Es wurden Herbizide eingesetzt, wie auch biologisch abbaubare Plastikabdeckungen. Landwirtschaftliche Maschinen wurden so designt, dass eine mechanische Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen möglich wurde. Außerdem wurden Maschinen so konzipiert, dass sie in der Lage waren Klärschlamm auch noch auf zwei bis drei Jahre alte Weiden auszubringen.

Um sich den klimatischen Gegebenheiten in der Bretagne anzupassen, wurde eine Ernte in zwei Etappen gewählt: zunächst wird geerntet; im Anschluss werden dann die Weiden-Hackschnitzel produziert, wenn das Holz trocken ist und alle Blätter abgefallen sind. Die STEMSTER-Erntemaschine, die einer regionalen Kooperative für Maschinenservices (CUMA Breizh Energie) gehört, kann bis zu 250 ha KUPs pro Winter ernten: demzufolge kann sie alle Pflanzungen in der Gegend bedienen.

Die Verwendung der KUP-Hackschnitzel in einem lokalen Wärmenetz ist für die ökonomische Tragfähigkeit des Projektes essentiell. Es scheint geradezu eine Grundvoraussetzung für den Erfolg dieses Projektes zu sein, dass die Hackschnitzel innerhalb einer sehr kurzen Distanz von einem kommunalen Heizsystem oder direkt vom Landwirt für den privaten Verbrauch genutzt werden. Kommunen in der Bretagne verfügten entweder bereits über lokale Wärmegewinnungsanlagen oder waren im Begriff in neue Anlagen zu investieren. KUP-Pflanzungen waren deshalb ein Teil lokaler Überlegungen für die Schaffung von Bioenergieketten. Im Folgenden einige Beispiele der lokalen Hackschnitzelnutzung:

- Lokale Landwirte produzieren für die Beheizung von bis zu drei Häusern
- Wärmeproduktion für eine Schule
- Wärmeproduktion für die Versorgung administrativer Gebäude in einer Gemeinde

Unten werden Berechnungen zu Produktionskosten und Einnahmen €/ha/Jahr mit dem Preisniveau von 2007 aufgeführt (Tabelle 19-21).

Tabelle 19: Produktionskosten im Jahr der Pflanzung €/ha/Jahr

<i>Kosten (€/ha/Jahr)</i>	
Bodenvorbereitung	250
Düngung	100
Schädlingsbekämpfung	90
Anti-Keimungsbehandlung	305
Pflanzung	1.800
Pflege (mechanische Unkrautbekämpfung)	85
Unkrautbekämpfung (andere)	210
Zurückschneiden	60
<i>Total</i>	2.900

* Kosten für Grundeigentum sind nicht inbegriffen.

Tabelle 20: Produktionskosten; Ernte €/ha/Jahr

<i>Kosten (€)</i>	Niedrige Schätzung	Hohe Schätzung
Pflanzung (siehe Details in oberer Tabelle)	2.300 €/ha	2.800 €/ha
Dünger (Ausbringung) - 1 oder 2 Mal in einem Dreijahresrhythmus	180 €	480 €
Ernte alle drei Jahre, mit STEMSTER, Hacken und Transport	850 €/ha	1.800 €/ha
Jährliche Kosten über einen Zeitraum von 20 Jahren		
Mit Spritzmittelausbringung	424 €/ha/a	824 €/ha/a
Ohne Spritzmittelausbringung	370 €/ha/a	680 €/ha/a
Lagerung der Hackschnitzel (25% Feuchtigkeit)	6 €/t	36 €/t
Ertrag (geschätzt) (25% Feuchtigkeit)	10,7 t/ha/a	13,3 t/ha/a

Die Investition in eine STEMSTER-Erntemaschine kann bei einer jährlichen Ernte von 200 ha optimal genutzt werden.

Tabelle 21: Gewinn einer KUP-Pflanzung (Pflanzungs- und Erntekosten sind reduziert, da die Tätigkeiten nicht durch einen Subunternehmer, sondern durch den Landwirt selbst ausgeführt werden.

Gewinn (€/ha/Jahr)	Maximierte Ernte (200 ha)	Heute
Ohne Spritzmittelausbringung; Verkauf ohne Trocknung	38	-250
Ohne Spritzmittelausbringung, Verbrauch für den Eigenbedarf	406	118
Mit Spritzmittelausbringung; Verkauf ohne Trocknung	-43	-331
Mit Spritzmittelausbringung; Verbrauch für den Eigenbedarf	325	37

10.5 Beispiel 5: Weiden-KUP in Enköping, Schweden

Dieses Projekt umfasst eine 76 ha Weiden-KUP, die mit Abwässern aus der kommunalen Kläranlage bewässert wird. Die Biomasse wird zur Energiegewinnung im lokalen Kraft-Wärme-Kraftwerk verwendet.

Nynäs Gård, der Name des landwirtschaftlichen Betriebes, kooperiert mit ENA-Energi, einem Heizkraftwerk, sowie der kommunalen Kläranlage. Die Weidenplantage wird mit ca. 200.000 m³ behandeltem und unbehandeltem Abwasser (davon 20.000 m³ nährstoffreiches Abwasser) bewässert. Es besteht ein Vertrag mit 15 Jahren Laufzeit zwischen dem Landwirt und der Kläranlage, der den Landwirt verpflichtet, Abwässer in seine Weidenpflanzung aufzunehmen. Überdies wurde in dem Vertrag vereinbart, dass ENA-Energi Weidenhackschnitzel zum Marktpreis von Nynäs Gård geliefert bekommt. Die Ernte wurde zunächst von ENA-Energi organisiert, aber in der letzten Zeit hat der Landwirt selbst lokale Subunternehmer beauftragt.

Die 76 ha Weidenpflanzung wurde zwischen 1998 und 2000 angelegt. Das Gebiet ist in verschiedene Felder unterteilt, wobei die größte Parzelle ca. 30 ha umfasst und andere zwischen 6 und 16 ha schwanken. Die Subvention, die es in den entsprechenden Jahren für das Anpflanzen gab, lag bei 5.000 SEK (ca. 550 €) pro Hektar und deckte etwa die Hälfte der Errichtungskosten. Der Boden und das darauf befindliche Hundsgras wurden vor der Pflanzung mit Herbizid behandelt, geeggt und gepflügt. Mechanische Unkrautbekämpfung wurde überdies im Jahr nach der Anpflanzung praktiziert. Die Fläche von 76 ha wurde mit einer Reihe von verschiedenen Weidenklonen in Streifen von 15 Doppelreihen bepflanzt (Abstände von 0,75 m und 1,25 m innerhalb und zwischen den Weidendoppelreihen und ca. 0,5 m zwischen den Pflanzen in einer Reihe). Die Pflanzen werden mit dem Abwasser während der Vegetationsperiode und während eines Zeitraumes von ca. 100 Tagen bewässert.

Die Weidenplantage wird alle drei Jahre mit einer speziell designten Erntemaschine geerntet, die auch Weidenhackschnitzel produziert. Die Hackschnitzel müssen nicht zur Reduktion des Wassergehaltes gelagert werden, sondern können direkt zu dem etwa 2 km vom Feld entfernt gelegenen Kraft-Wärme-Kraftwerk verbracht werden. Der Kessel hat eine Heizleistung von 55 MW und eine elektrische Leistung von 24 MW. Weidenhackschnitzel werden zusammen mit Holzbiomasse aus anderen Quellen gemischt und als Brennstoff für die Wärme- und Stromproduktion verwendet.

Unten werden Berechnungen zu den Produktionskosten und Einnahmen (in €/ha/Jahr) auf Grundlage des Preisniveaus von 2011 geliefert. Betriebsprämien sind nicht aufgeführt. Pflanzungsbezogene Kosten (d.h. Pflanzausrüstung, Stecklinge und Arbeitskosten) beliefen sich auf ca. 1.222 €/ha und sind in Tabelle 22 aufgeführt. Die Subventionen für die Pflanzung beliefen sich auf 555 €/ha.

Tabelle 22: Produktionskosten, Einnahmen und Gewinn in €/ha/Jahr für die Weidenpflanzung bei Nynäs Gärd

<i>Kosten (€/ha/a)</i>	
Kontrolle/Instandhaltung	22
Ernte	238
Transport	148
Sonstige Ausgaben	55
Zinsrate	15
<i>Summe</i>	478
<i>Einnahmen (€/ha/Jahr)</i>	
Hackschnitzel	896
Entschädigung für Abwasseraufnahme	219
<i>Summe</i>	1.115
<i>Gewinn (€/ha/Jahr)</i>	637

* Berechnungen wurden auf Grundlage eines Wechselkurses von 1 € = 9 SEK und für ein Weidenfeld mit einem Erntezyklus von 4 Jahren und im dritten Erntezyklus erstellt.

** Alle Kosten außer den Kosten für Grundeigentum sind enthalten.

*** Kosten für die Administration, Telekommunikation und Fahrten sind in den sonstigen Kosten enthalten.

Wenn die geringere Produktion und die höheren Kosten bei den anfänglichen Umtriebszeiten miteinbezogen werden, ergibt sich die Kalkulation für die Weidenpflanzung bei Nynäs Gärd, die in Tabelle 23 dargestellt ist.

Tabelle 23: Kalkulation des Gewinns der mit Abwässern bewässerten Weidenplantage bei Nynäs Gärd während des dritten Erntezyklus von jeweils vier Jahren unter Berücksichtigung aller Erntezyklen (inklusive des unproduktiveren ersten Erntezyklus).

	Biomasse- produktion (t/ha/a)	Hack-schnitz- elpreis (€/t Trockenmas- se)	Produktions- kosten (€/t Trocken- masse)	Subvention (€/ha/a)	Entschädi- gu- ng Ab- wasser (€)	Profit (€/ha/a)
3. Ernte- zyklus	9	99,5	53		219	637
Alle Ernte- zyklen	8,3	99,5	65	227	219	529

* Berechnungen wurden auf Grundlage eines Wechselkurses von 1 € = 9 SEK und für ein Weidenfeld mit einem Erntezyklus von 4 Jahren und im dritten Erntezyklus erstellt.

** Alle Kosten außer den Kosten für Grundeigentum sind enthalten.

Glossar und Abkürzungen

a: Anuum (Jahr)

Billets: geschnittene KUPs von 5 – 15 cm Länge

Bündel: zu Bündeln gebundene KUP-Ruten

CO₂: siehe Kohlendioxid

Feldkapazität: Unter Feldkapazität versteht man die Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gegen die [Schwerkraft](#) nach 2 bis 3 Tagen noch halten kann. Die Feldkapazität hat eine hohe Bedeutung bei praxisorientierten Fragestellungen des [Acker-](#) und [Gartenbaus](#), z.B. bei Fragen zur Wasserversorgung der Pflanzen, der Pflanzenverfügbarkeit von wasserlöslichen [Nährstoffen](#), der [Auswaschung](#) wasserlöslicher Stoffe sowie der [Bewässerung](#).

Fernwärme: Heißes Wasser (oder Dampf) wird in einer zentralen Anlage generiert und in einem Fernwärmenetz (Rohrsystem) zu den Verbrauchern geleitet.

Feuchtigkeitsgehalt: Verhältnis der Masse des Wassergehaltes eines Materials (Biomasse) und der Masse des trockenen Materials selbst.

Fossile Brennstoffe: Fossile Brennstoffe (Erdöl, Braunkohle, Steinkohle, Erdgas) entstehen über Millionen von Jahren durch natürliche Prozesse, wie z.B. anaerobe Zersetzung toter Organismen.

FWK: Fernwärmekraftwerk (siehe Fernwärme)

Gamma-Diversität: Die Bezeichnung Gamma-Diversität (γ -Diversität) wurde erstmals von R.H. Whittaker zusammen mit den Termini Alpha- (α -Diversität) und Beta-Diversität (β -Diversität) eingeführt. Whittakers Idee war es, die totale Artenvielfalt in einer Landschaft (γ) durch zwei verschiedene Faktoren zu bestimmen wird. Zum einen die mittlere Artenvielfalt von Habitaten lokaler Ebene (α) und die Differenzierung dieser Einzelhabitate (β). Gemäß dieser Logik stellen α -Diversität und β -Diversität unabhängige Teile der Gamma-Diversität dar: $\gamma = \alpha * \beta$

Grenzstandort: Als Grenzstandort werden in der Landwirtschaft im engeren Sinne Flächen bezeichnet, auf denen Ackerbau nicht möglich ist. Nicht unter die Definition fällt intensiv nutzbares Grünland.

Hackschnitzel: gehackte KUP-Stücken von der Größe von 5x5x5 cm

Heizwert: bezeichnet die Menge an Wärme, die während des Verbrennungsprozesses einer bestimmten Menge eines Brennstoffes (Biogas, Biomethan) freigesetzt wird.

Installierte Kapazität: Die installierte Kapazität ist die Gesamtmenge der elektrischen oder thermischen Energiekapazität einer Energiegewinnungsanlage.

Interzeption: Unter Interzeption versteht man in der [Hydrologie](#) das Abfangen bzw. Zurückhalten von [Niederschlägen](#) auf der „Oberfläche“ der Vegetation. Der Begriff Interzeption wird meist für Niederschläge verwendet, die als [Regen](#) niedergehen, ist aber auch für [Schnee](#) gebräuchlich.

Invertebraten: sind Tiere, die keine Wirbelsäule besitzen. Bekannte Vertreter der Invertebraten sind Insekten, Krabben, Hummer und ihre Artgenossen, Schnecken, Muscheln, Oktopusartige, Seesterne, Seeigel und Würmer.

Joule (J): Metrische Energieeinheit äquivalent zu der Arbeit, die die Kraft eines Newton über die Strecke von einem Meter ausübt. 1 Joule (J) = 0,239 Kalorien; 1 Kalorie (cal) = 4,187 J.

Kapazität: maximale Leistung, die eine Maschine erbringen oder ein System sicher herstellen oder transportieren kann (der maximale Output einer Ressource unter gegebenen Bedingungen). Die Kapazität einer Anlage wird normalerweise in Kilowatt oder Megawatt angegeben.

Kohlendioxid: CO₂ ist eine natürlich vorkommende chemische Verbindung von zwei Sauerstoffatomen, die kovalent an ein Kohlenstoffatom gebunden sind. Bei normaler Temperatur und Druck ist es gasförmig und existiert in diesem Zustand in der Erdatmosphäre, als Spurengas mit der Konzentration von 0.039% pro Volumeneinheit.

Kilowatt (kW): Messeinheit elektrischer oder Thermischer Energieleistung gleich 1.000 Watt.

Kilowattstunde (kWh): Die meist genutzte Energieeinheit. Sie beschreibt den Einsatz eines Kilowatts Energie oder Wärme über die Dauer von einer Stunde.

kW_{el}: Kilowatt elektrisch

kWh: siehe Kilowattstunde

kW_{th}: Kilowatt thermisch

KWK: Kraft-Wärme-Kopplung ist die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie, die in der Regel unmittelbar in elektrischen Strom umgewandelt wird, und nutzbarer Wärme für Heizzwecke (Fernwärme oder Nahwärme) oder für Produktionsprozesse (Prozesswärme) in einem gemeinsamen thermodynamischen Prozess, üblicherweise in einem Heizkraftwerk.

KUP: Kurzumtriebsplantage

m³: Ein Kubikmeter ist das Volumen von 1x1x1 m. Ein Kubikmeter entspricht ca. 1t Wasser.

Organic Rankine Cycle: Der Organic Rankine Cycle (ORC) ist ein thermodynamischer Prozess mit einer Dampfturbine mit einem anderen Arbeitsmedium als Wasserdampf. Der Name des Verfahrens geht auf William John Macquorn Rankine zurück, einen schottisch-britischen Physiker und Ingenieur. Als Arbeitsmedium werden organische Flüssigkeiten mit einer niedrigen Verdampfungstemperatur verwendet.

pH: Wert, der den Grad von Basen und Säuren von Lösungen oder Böden angibt. Böden mit einem pH < 7 sind sauer und Böden mit einem pH > 7 sind basisch oder alkalisch. Reines Wasser hat einen pH von 7.

Phytosanierung: Phytosanierung oder Phytoremediation ist ein Teilgebiet der biologischen Sanierungstechniken und bezeichnet allgemein die Sanierung von verunreinigten und kontaminierten Böden oder des Grundwassers mit Hilfe von Pflanzen.

Ruten: geerntete KUP-Stämme mit einer Länge von bis zu 8 m

Schössling (Trieb): In der Botanik bezeichnet ein Schössling einen Stamm inklusive seiner Fortsätze, Blätter und Blüten. Der aufwärtsgerichtete Wuchs aus Samenkeimung ist ein blätterentwickelnder Schössling. Im Frühling sind Triebe von mehrjährigen Pflanzen der Wuchs, der bei krautartigen Pflanzen vom Boden ausgeht oder aber der neue Ast eines Holzgewächses.

SI: Internationales System der Einheiten (abgekürzt aus dem Französischen: Système international d'unités) ist die moderne Form des metrischen Systems und wird generell für die Messung von Einheiten auf der Grundlage von sieben Basiseinheiten und der Zahl 10 verwendet.

Stecklinge: Stecklinge sind ca. 25 cm lange Stücke von einjährigen KUP-Ruten, die zur Anpflanzung verwendet werden.

Stockausschlag: Stockausschlag ist die Bezeichnung für eine Pflanzung von Bäumen, die nach dem Zurückschneiden einen erneuten Stockausschlag aus den Stümpfen hervorbringen können.

Treibhausgase: Treibhausgase speichern die Hitze der Sonne in der Erdatmosphäre und tragen so zum Treibhauseffekt bei. Die beiden Haupttreibhausgase sind Wasserdampf und Kohlendioxid. Andere Treibhausgase sind z.B. Methan, Ozon, Fluorchlorkohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide.

Umtrieb: (Umtriebszeit, Umtriebsperiode) Zeit zwischen zwei KUP-Ernten. Oft wird unterschieden: kurzer Umtrieb 1-6 Jahre, mittlerer Umtrieb 7-15 Jahre, langer Umtrieb >16 Jahre

Vorgewende: Fläche am Beginn und Ende einer Pflanzung, die für das Wenden der Maschinen dient, die Ernte zu lagern etc. Während der Zeiträume ohne aktive Bewirtschaftung, können die Vorgewende mit einjährigen Pflanzen, Gras oder einheimischen Pflanzen bewachsen sein.

Wassergehalt: Verhältnis der Masse des Wassergehaltes eines Materials (Biomasse) und der Masse des feuchten Materials selbst.

Watt: Das Watt ist die im internationalen Einheitensystem für die Leistung (Energieumsatz pro Zeitspanne) verwendete Maßeinheit. Es ist außerdem die Standardeinheit für die Messung elektrischer Kraft. Die Bezeichnung „kW“ steht für Kilowatt oder 1.000 Watt. MW bezeichnet Megawatt oder 1.000.000 Watt.

Lateinische und deutsche Pflanzennamen

Zu Beachten: Generell werden hier Arten gelistet, die entweder direkt auf KUPs zum Einsatz kommen, zur Kreuzung von neuen Klonen verwendet werden oder als geeignet für KUPs betrachtet werden. Für einige Arten sind die Erfahrungen bezüglich ihrer Eignung für KUPs noch gering. Deutschen Namen sind zwar verbreitet, aber manchmal nicht ganz präzise.

Die Namen der Klone werden überdies in Kapitel 3 beschrieben.

<u>Botanischer Name</u>	<u>Deutscher Name</u>
<i>Alnus spp.</i>	Erle
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarz-Erle, Europäische Erle
<i>Alnus incana</i>	Grau-Erle, Weiß-Erle
<i>Amorpha fruticosa</i>	Scheinindigo
<i>Acacia melanoxylon</i>	Australische Akazie
<i>Acacia saligna</i>	Weidenblatt-Akazie
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn
<i>Betula spp.</i>	Birke
<i>Broussonetia papyrifera</i>	Papiermaulbeerbaum (gleiche Art wie <i>Morus papyrifera</i>)
<i>Corylus avellana</i>	Gemeine Hasel, Haselstrauch
<i>Eucalyptus spp.</i>	Eukalyptus
<i>Eucalyptus globulus</i>	Blauer Eukalyptus, Tasmanischer Blaugummibaum
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Roter Eukalyptus
<i>Eucalyptus gunnii</i>	Mostgummi-Eukalyptus
<i>Eucalyptus nitens</i>	k.a.
<i>Fraxinus excelsior</i>	Gemeine Esche
<i>Morus papyrifera</i>	Papiermaulbeerbaum (gleiche Art wie <i>Broussonetia papyrifera</i>)
<i>Nothofagus</i>	Scheinbuche, Südbuche
<i>Paulownia</i>	Paulownie
<i>Platanus occidentalis</i>	Amerikanische Platane
<i>Populus spp.</i>	Gemeine Pappel
<i>Populus deltoides</i>	Kanadische Schwarz-Pappel
<i>Populus koreana</i>	Koreanische Pappel
<i>Populus maximowiczii</i>	Balsam-Pappel, Japanische Pappel
<i>Populus nigra</i>	Schwarz-Pappel
<i>Populus tremula</i>	Espe, Aspe, Zitterpappel

<i>Populus tremuloides</i>	Amerikanische Zitterpappel
<i>Populus trichocarpa</i>	Westliche Balsam-Pappel
<i>Robinia pseudoaccacia</i>	Gewöhnliche Robinie, Scheinakazie, Silberregen
<i>Salix spp.</i>	Gewöhnliche Weide
<i>Salix aegyptiaca</i>	<i>Persische Weide</i>
<i>Salix caprea</i>	<i>Sal-Weide</i>
<i>Salix dasyclados</i>	Filzast-Weide
<i>Salix discolor</i>	Amerikanische Weide
<i>Salix rehderiana</i>	k.a.
<i>Salix schwerinii</i>	k.a.
<i>Salix triandra</i>	Mandel-Weide
<i>Salix udensis</i>	Amur-Weide
<i>Salix viminalis</i>	Korb-Weide
<i>Ulmus spp.</i>	Ulme, Rüter, Effe

Generelle Umrechnungseinheiten

Tabelle 24: Präfixe für Energieeinheiten

Präfix	Abkürzung	Faktor	Menge
Deka	Da	10	Zehn
Hekto	H	10 ²	Hundert
Kilo	K	10 ³	Tausend
Mega	M	10 ⁶	Million
Giga	G	10 ⁹	Billion
Tera	T	10 ¹²	Trillion
Peta	P	10 ¹⁵	Quadrillion
Exa	E	10 ¹⁸	Quintillion

Tabelle 25: Terminologie der Volumina von unterschiedlichen Arten von Holzbiomasse in verschiedenen Sprachen

Sprache		Terminologie	
Englisch	Solid cubic meter Solid m³	Bulk cubic meter Bulk m³	Stacked cubic meter Stacked m³
Kroatisch	Puni kubni metar m³	Nasipni metar Nasipni m³	Prostorni metar Prostorni m³
Tschechisch	Plnometr-pevný metr (plm) [m3]	Sypný metr (prms) [m3]	Prostorový metr-rovnaný (prm) [m3]
Französisch	Mètre cube de bois plein m³	Mètre cube apparent plaquette MAP	Stère stère
Deutsch	Festmeter Fm	Schüttraummeter Srm	Schichtraum. (ster) rm
Griechisch	Συμπαγές κυβικό μέτρο κ.μ. ή m³	Χωρικό κυβικό μέτρο χύδην χ.κ.μ. χύδην	Χωρικό κυβικό μέτρο στοιβαχτού χ.κ.μ. στοιβαχτού
Italienisch	Metro cubo m³	Metro stero riversato msr	Metro stero accastato msa
Lettisch	Kubikmetrs (cieškubikmetrs) m³	Berkubikmetrs m³_{ber}	Kraujmetrs vai sters m³_{kr}
Mazedonisch	poln kuben metar	nasipen kuben metar	prostoren kuben meatr
Polnisch	metr sześcienny m³	metr nasypowy mn	metr przestrzenny mp
Slovenisch	Kubični meter m³	Prostrni meter prm	Nasut kubični meter Nm³

Tabelle 26: Umrechnung von Energieeinheiten (Kilo Joule, Kilo Kalorie, Kilowattstunde, Steinkohleeinheit (SKE), Kubikmeter Erdgas, Öleinheit (ÖE), Barrel, Britische Wärmeinheit (BTU))

	kJ	kcal	kWh	SKE	m³ CH₄	ÖE	barrel
1 kJ	1	0,2388	0,000278	$3,4 \cdot 10^{-8}$	0,000032	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$1,76 \cdot 10^{-7}$
1 kcal	4,1868	1	0,001163	$14,3 \cdot 10^{-8}$	0,00013	$1 \cdot 10^{-7}$	$7,35 \cdot 10^{-7}$
1 kWh	3,600	860	1	0,000123	0,113	0,000086	0,000063
1 SKE	29.308.000	7.000.000	8.140	1	924	0,70	52
1 m³ CH₄	31.736	7.580	8,816	0,001082	1	0,000758	0,0056
1 ÖE	41.868.000	10.000.000	11.630	1,428	1.319	1	7,4
1 Barrel	5.694,048	1.360,000	1.582	0,19421	179,42	0,136	1
1 BTU	1,055						

Tabelle 27: Umrechnung von Leistungseinheiten (Kilokalorie pro Sekunde, Kilowatt, horse power, Pferdestärke)

	kcal/s	kW	hp	PS
1 kcal/s	1	4,1868	5,614	5,692
1 kW	0,238846	1	1,34102	1,35962
1 hp	0,17811	0,745700	1	1,01387
1 PS	0,1757	0,735499	0,98632	1

Tabelle 28: Umrechnung von Temperatureinheiten

	Einheit	Celsius	Kelvin	Fahrenheit
Celsius	°C	-	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 1,8$
Kelvin	K	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$	-	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459,67) \times 1,8$
Fahrenheit	°F	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1,8 + 32$	$^{\circ}\text{F} = \text{K} \times 1,8 - 459,67$	-

Literaturverzeichnis

- Alakangas (2009) Fuel specification and classes, multipart standard. - http://p29596.typo3server.info/fileadmin/Files/Documents/05_Workshops_Training_Event_s/Taining_materials/english/D19_2_EN_Fuel_specification.pdf [Zugriff: 29.08.2014]
- Anderson Group (www.grpanderson.com/de/resources/photos) [Zugriff: 09.09.2014]
- Aronsson, P., Rosenqvist, H., Dimitriou, I., 2014. Impact of nitrogen fertilization to short-rotation willow coppice plantations grown in Sweden on yield and economy. *Bioenergy Research*, 7: 993-1001.
- Bärwolff M., Hansen H., Hofmann M., Setzer F. (2012) *Energieholz aus der Landwirtschaft*. – FNR, Gülzow-Prüzen, Germany
- Burger F. (2011) Energiebilanz klar positive: Kurzumtriebsplantagen. - 13/2011 AFZ-DerWald; http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/afz_der_wald_nr_13.pdf [Zugriff: 18.05.2015]
- Biomasseverband OÖ (no date) >Masse und Energiegehalt von Hackgut in Abhängigkeit vom Wassergehalt. - Biomasseverband OÖ, Austria, http://www.biomasseverband-ooe.at/uploads/media/Downloads/Publikationen/Umrechnungstabellen_Brennstoff_Holz-BMV-OOe.pdf [Zugriff: 09.09.2014]
- CARMEN (2014) Heizwert , Wassergehalt und Gewicht. <http://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/brennstoffe/hackschnitzel/579-heizwert-wassergehalt-und-gewicht> [Zugriff: 09.09.2014]
- Caslin B, Finnan J, Mc Cracken A (eds) (2012) *Willow Varietal Identification Guide*. ISBN: 10 1-84170-590-X.
- Caslin B., J. Finnan, Mc Cracken A. (eds.) (2010) *Short Rotation Coppice; Willow Best Practice Guidelines*. - http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Willow_Best_Practice_Guide_2010.pdf [Zugriff: 21.07.2014]
- Dallemand J. F., Petersen J.E., Karp A. (eds.) (2007) *Short Rotation Forestry, Short Rotation Coppice and perennial grasses in the European Union: Agro-environmental aspects, present use and perspectives*. - JRC; Proceedings of the Expert Consultation; 17 and 18 October 2007, Harpenden, United Kingdom
- DEFRA (2004) *Growing Short Rotation Coppice; Best Practice Guidelines For Applicants to Defra's Energy Crops Scheme*. - http://www.naturalengland.org.uk/Images/short-rotation-coppice_tcm6-4262.pdf [Zugriff: 21.07.2014]
- Dimitriou I., Rutz D. (2014) *Nachhaltigkeitskriterien und Empfehlungen für Kurzumtriebsplantagen*. – WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Report elaborated in the framework of the IEE project SRCplus (Contract No. IEE/13/574)
- Dimitriou I., Fištrek Z., Mergner R., Rutz D., Scrimgeour L., Eleftheriadis I., Dzebne I., Perutka T., Lazdina D., Toskovska G., Hinterreiter S. (2014a) *Optimising the Environmental Sustainability of Short Rotation Coppice Biomass Production for Energy*. – Proceedings Natural Resources, Green Technology & Sustainable Development; 26-28 November 2014, Zagreb, Croatia; Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Croatia; ISBN 978 953 6893 04 1; pp. 117-123
- Dimitriou I., Fištrek Z. (2014) *Optimising the Environmental Sustainability of Short Rotation Coppice Biomass Production for Energy*. *South-east Eur for* 5 (2): 81-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.15177/see-for.14-15>

- Dimitriou I., Mergner R., Rutz D. (2014b). Best practice examples on sustainable local supply chains of SRC. WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Report elaborated in the framework of the IEE project SRCplus (Contract No. IEE/13/574)
- Dimitriou, I., Baum, C., Baum, S., Busch, G., Schulz, U., Köhn, J., Lamersdorf, N., Walter-Schmidt, P., Leinweber, P., Aronsson, P., Weih, M., Berndes, G., Englund, O., Bolte, A. 2012a. RATING-SRC Final Report. ERA-NET Bioenergy Internal Report.
- Dimitriou, I., Mola-Yudego, B., Aronsson, P., Eriksson, J., 2012b. Changes in organic carbon and trace elements in the soil of willow short-rotation coppice plantations. *Bioenergy Research* 5(3) 563-572.
- Dimitriou, I., Mola-Yudego, B., Aronsson, P., 2012c. Impact of willow Short Rotation Coppice on water quality. *Bioenergy Research* 5(3) 537-545.
- Dimitriou, I., Eriksson, J., Adler, A., Aronsson, P., Verwijst, T., 2006. Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. *Environmental Pollution* 142 (1), 160-169.
- Dimitriou, I., Aronsson, P., 2005. Willows for energy and phytoremediation in Sweden. *Unasylva* 221 (56); 46-50.
- Ehlert, D.; Pecenka, R.; Wiehe, J.(2012): Harvesters for Short Rotation Coppices: Current Status and New Solutions. In: Proceedings. International Conference of Agricultural Engineering CIGR-Ageng 2012. Valencia, p. 1-6. Online: http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C0365.pdf
- ETA Heiztechnik GmbH n.d.Brennstoffdaten – Scheitholz, Hackgut, Pellets. - http://www.bad-klein.de/pdf/Broschuere_Brennstoffdaten_dt_01.pdf [Zugriff: 09.09.2014]
- FNR (2012) Bioenergy in Germany: Facts and Figures. – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR); Gülzow, Germany; http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_484-basisdaten_engl_web_neu.pdf [Zugriff :10.07.2012]
- Grosse W., Landgraf D., Scholz V., Brummack J. (2008) Ernte und Aufbereitung von Plantagenholz. - *Schweiz Z Forstwes* 159 (2008) 6: 114–119
- Gustafsson, J., Larsson, S. & Nordh, N. (2007). Manual för salixodlare. Available from: <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/406.pdf>
- von Harling H.M., Viessmann F. (2009) Die Holzfelder der Fa. Viessmann – 3 Jahre KUP-Praxis. Proceeding of „The Institute for Applied Material Flow Management (IfaS)“, http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/bilder/Veranstaltungen/Biomasse/Harling_KUP_Praxis_Biom-Tag_Birkenfeld_5-11-09-1.pdf.
- Hiegl W., Rutz D., Janssen R. (2011) Information Material Module Biomass. - Training material of the Install+RES Project, Updated Version 2011; WIP Renewable Energies; <http://www.resinstaller.eu/en/training-material>
- ISO (2014): ISO 17225-4:2014(en) Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 4: Graded woodchips <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17225:-4:ed-1:v1:en> [Zugriff: 29.08.2014]
- JTI (2014) Inför plantering av energiskog Lokalisering, samråd och investeringsstöd JTI:s skriftserie 2014:1 (in Swedish).
- Kofman P.D. (2012) Harvesting short rotation coppice willow. – CONFORD; Harvesting / Transport No. 2; Dublin, Ireland; http://www.woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/HAR29_LR.PDF [Zugriff: 21.07.2014]
- Kaufmann F., Lamond G., Lange M., Schaub J., Siebert C., Sprenger T. (no date) Benwood – Short Rotation Forestry in CDM Countries and Europe. -

- Landgraf D., Setzer F. (2012) Kurzumtriebsplantagen: Holz vom Acker - So geht's. – DLG Verlag, Frankfurt am Main, Germany
- Liebhard P. (2007) Energieholz im Kurzumtrieb: Rohstoff der Zukunft. - Leopold Stocker Verlag, Graz, Austria
- Lindegaard K. (2013) 10 ways to maximise yield from your short rotation coppice (SRC) crop
- LWF (2012) Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. – Merkblatt 10 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising, Germany
- LWF (2011a) Anbau von Energiewäldern. – Merkblatt 19 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising, Germany
- LWF (2011b) Der Energieinhalt von Holz. – Merkblatt 12 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Freising, Germany
- Rutz D., Janssen R., Letsch H. (2006) Installateurs-Handbuch Biomasseheizanlagen. - EU-IEE EARTH Project; 241p; WIP Renewable Energies, Munich, Germany; http://www.wip-munich.de/images/stories/6_publications/books/installateurs_handbuch.pdf
- Rutz D., Mergner R., Janssen R. (2012) Sustainable Heat Use of Biogas Plants – A Handbook. WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Handbook elaborated in the framework of the BiogasHeat Project; ISBN 978-3-936338-29-4; translated in 9 languages; www.biogasheat.org
- Rutz D., Janssen R., Hofer A., Helm P., Rogat J., Hodes G., Borch K., Mittelbach M., Schober S., Vos J., Frederiks B., Ballesteros M., Manzanares P., St James C., Coelho S.T., Guardabassi P., Aroca G., Riegelhaupt E., Masera O., Junquera M., Nadal G., Bouille D. (2008) Biofuels Assessment on Technical Opportunities and Research Needs for Latin America. - Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition; pp. 2661-2669; ISBN 978-88-89407-58-1
- Sailer Baumschulen GmbH (no date) Ratgeber Energiewald. - <http://www.sailer-baumschulen.de/RatgeberEnergiewald.pdf> [Zugriff: 13.05.2015]
- SLL (no date) Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten. – Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; http://www.schnepf-pro-lignum.de/uploads/pdf/Anbauempfehlungen_f%C3%BCr_schnellwachsende_Baumarten.pdf [Zugriff: 09.09.2014]
- Wald21 (2015) <http://www.wald21.com/energiewald/anbaupraxis.html> [Zugriff: 30.03.2015]
- Wickham J., Rice B., Finnan J., McConnon R. (2010) A review of past and current research on short rotation coppice in Ireland and abroad. - COFORD, National Council for Forest Research and Development; <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/SRC.pdf> [Zugriff: 21.07.2014]
- Verscheure (1998) Energiegehalt von Hackschnitzeln – Überblick und Anleitung zur Bestimmung. - FVA, <http://192.168.0.121:9091/servlet/com.trend.iwss.user.servlet.sendFile?downloadfile=IRES-648385774-E63F29C8-4677-4647-7> [Zugriff: 09.09.2014]

