



Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau

Betreuer: Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard

EINFLUSS DER PFLANZGUTART AUF ANWUCHS UND
ERTRAGSLEISTUNG IM ERSTEN UMTRIEB BEI PAPPEL FÜR
DIE KASKADISCHE NUTZUNG

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

an der Universität für Bodenkultur Wien

eingereicht von:

FERNER MAXIMILIAN ALEC CEDRIC THOMAS

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 10.04.2013

Kurzzusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Anwuchs- und Ertragsleistung ausgewählter Pappelklone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart auf einer Versuchsfläche mit Grenzertragsboden in Oberösterreich beurteilt.

Acht Pappelklone, AF 2, AF 8, Monviso, Kornik, Pannonia, Max 4, Max 5 und NE 42 wurden im Pflanzgut als Steckholz- bzw. Steckruten in einem zweijährigen Bestand vergleichend beurteilt. Um Unterschiede im Anwuchsverhalten der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart zu untersuchen, wurden χ^2 -Tests durchgeführt. Die Anwuchsrate, das entscheidendste Kriterium für jede Nutzungsrichtung, wurde berechnet. Die Einzelrutenerträge wurden mit Hilfe der klonspezifischen Biomassefunktion nach HOCHBICHLER et al. (2011) geschätzt. Auf Basis der Einzelrutenerträge wurde mittels ANOVA geprüft, ob die Ertragsmenge (z-standardisiert) der eingesetzten Klone Unterschiede in Abhängigkeit von der Pflanzgutart aufweist. Außerdem wurden die Biomasseerträge in kg TM_{atro} / ha nach zwei Vegetationsperioden sowie die mittleren jährlichen Zuwachsleistungen in kg TM_{atro} / ha/ Jahr in den Klonbeständen ermittelt.

Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der Anwuchsrate der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart nachgewiesen werden. Die durchschnittliche Anwuchsrate der Steckhölzer lag bei 87,5%, die der Steckruten lag bei 97%. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Ertrag der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart nachgewiesen werden.

Nach derzeit vorliegenden Ergebnissen sind im Trend die italienischen Klone AF 2, AF 8 und Monviso bezüglich Anwuchsrate und mittlerer jährlicher Zuwachsleistung für den Extremstandort als besser zu bewerten.

Abstract

In the following study the growth rate and biological yield of selected poplar clones depending on the type of seed stock was investigated on an experimental site with marginally productive land in Upper Austria.

Eight poplar clones, these being AF 2, AF 8, Monviso, Kornik, Pannonia, Max 4, Max 5 and NE 42 have been evaluated comparatively as cuttings and rods over a 2-year-period. χ^2 -tests were conducted in order to investigate differences in growth behaviour of the clones depending on the seed stock type. The growth rate, the major factor for every type of production, was calculated. The yield of each individual sapling was estimated using the clone-specific biomassfunction according to HOCHBICHLER et al. (2011). Using ANOVA, it was tested if the amount of yield (using the z-transform) of the used clones showed differences depending on the type of seed stock, based on the yield of every single sapling. Furthermore, the biological yield in kg absolute dry mass per ha after two vegetation periods and the mean annual increase of biomass in kg absolute dry mass per ha and year in the cloning stands was assessed.

No significant differences were found in the growth rate of the clones depending on the type of seed stock. The average growth rate of the cuttings was found to be 87, 5%, that of the rods was 97%. There were no significant differences detected between the yield of the clone and the type of seed stock.

Currently available results show a general tendency to value the Italian clones AF 2, AF 8 and Monviso as being the better regarding growth rate and mean annual increase of biomass for this extreme location.

Danksagung

Meinem Betreuer, Herrn Ao.Univ.Prof. Dr. Peter Liebhard danke ich für die Bereitstellung des Feldversuchs und die kompetente Betreuung meiner Masterarbeit.

Frau Dipl.-Ing. Claudia Zeitlhofer danke ich für ihr Engagement und ihre stetige Hilfsbereitschaft bei der Datenerfassung am Versuchsfeld.

Herrn Ao.Univ.Prof. Dr. Eduard Hochbichler danke ich für die fachliche Beratung bei der Ertragsdatenschätzung.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Ao.Univ.Prof. Dr. Herbert Weingartmann und Herrn Dipl.-Ing. Josef Schweinberger, Probstdorfer Saatzucht GmbH & CoKG, für die Bereitstellung von Informationen.

Herrn Ökonomierat Friedrich Leonhartsberger und seiner Frau Anna, sowie Klaus und Hermine Leonhartsberger, Grundeigentümer und mustergültige Betreuer der Feldversuchsanlage in Sattlgai-Waldhausen, danke ich im Besonderen für die freundliche Aufnahme und vielfache Datenbereitstellung.

Dank gebührt auch der Oberösterreichischen Landwirtschaftskammer, Fachabteilung Forst und Bioenergie, als Versuchsansteller.

Meinen StudienkollegInnen danke ich für die Freundschaft während meiner Studienzeit in Wien und danach.

Meine Eltern, Sibylle u. Michael, und Großeltern, Lotte u. Karl, vermittelten mir seit meiner frühesten Kindheit Werte, die das tägliche Denken und Handeln weit übersteigen. Sie förderten meinen beruflichen Werdegang und ließen mir die Freiheit, Erfahrungen zu sammeln und einen eigenständigen Weg zu gehen.

Ein herzliches Danke Dir Paulina, meiner Frau, für Deine Unterstützung und Dein Verständnis für meine Arbeit und für meinen Weg. Unser Sohn Ermanno gab mir zusätzlich Ansporn und Energie für meine Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	8
1.1	Einleitung	8
1.2	Problemstellung	10
1.3	Zielsetzung	11
1.4	Abgrenzung der Fragestellung	12
2	AUSGEWÄHLTE LITERATUR	13
2.1	Begriffsbestimmungen und Definitionen	13
2.1.1	Nachwachsende Rohstoffe	13
2.1.2	Biomasse und landwirtschaftliche Biomasseproduktion	13
2.1.3	Bewirtschaftungsstrategie der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb	16
2.1.4	Definition und Entwicklung der Feldholzproduktion	17
2.1.5	Kaskadennutzung	19
2.1.6	Rechtliche Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten mit öffentlichen Mitteln für Feldholzanlagen im Kurzumtrieb für Oberösterreich	20
2.1.7	Abgrenzung zu Agroforstsystemen	22
2.2	Produktionstechnische Maßnahmen der Pappel-Feldholzproduktion	22
2.2.1	Planung einer Anlage zur Pappel-Feldholzproduktion	22
2.2.2	Begründung einer Anlage zur Feldholzproduktion	26
2.2.3	Bestandsführung und -pflege während der Etablierungsphase und in den Folgerotationen	43
2.2.4	Ernte	57
2.2.5	Bereitstellung des biogenen Rohstoffes Holz	61
2.2.6	Verwertungsmöglichkeiten von Erntegut aus Anlagen zur Feldholzproduktion	63
2.2.7	Rekultivierung	66
2.3	Pflanzmaterial der Gattung Populus	67
2.3.1	Systematische Gliederung	67
2.3.2	Züchtung und Vermehrung	68
2.3.3	Sorten- und Hybrideigenschaften der Sektionen Aigeiros, Tacamahaca und Populus	71
2.3.4	Pflanzgutarten	72
2.3.5	Ertragsschätzung, Ertragsverhalten und Qualitätskriterien der Gattung Populus	75
3	MATERIAL UND METHODEN	83
3.1	Versuchsstandort	83
3.1.1	Geographische Lage	83
3.1.2	Topographie	83

3.1.3	Klima.....	85
3.1.4	Geologie, Boden und Geländewasserhaushalt	90
3.2	Versuchsanlage.....	93
3.2.1	Klone und Pflanzgutarten.....	93
3.2.2	Produktionstechnische Maßnahmen, Pflanzverband u. Pflanzdichte	94
3.3	Methoden.....	98
3.3.1	Erfassung Ertragsparameter	98
3.3.2	Datenverarbeitung sowie mathematisch-statistische Methoden.....	98
3.3.3	Anwuchsverhalten und Ertragsverhalten	98
3.3.4	Analyse der übrigen erhobenen Parameter	100
4	ERGEBNISSE.....	102
4.1	Anwuchsverhalten	102
4.2	Ertragsverhalten.....	104
5	DISKUSSION	110
5.1	Anwuchsverhalten	110
5.2	Ertragsverhalten.....	113
6	CONCLUSIO	117
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	119
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	122
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	137
10	TABELLENVERZEICHNIS.....	138
11	ANHANG.....	140

1 EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

1.1 Einleitung

Hinsichtlich der begrenzten und stetig abnehmenden fossilen Ressourcen erlangt der Einsatz natürlicher, erneuerbarer Rohstoffe zunehmend an Bedeutung. Der Wert nachwachsender Biomasse liegt in der energetischen und stofflichen Nutzung (WINDSPERGER, 2006, s. p.).

Gewichtige Argumente für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, sind:

- die Endlichkeit fossiler Energieträger und Rohstoffe sowie deren negative Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt.
- Die stoffliche und energetische Verwendung von nachwachsender Biomasse erhält die flächendeckende Landnutzung und sichert unter anderem Arbeitsplätze und Investitionen im ländlichen Raum.
- Die hohen und tendenziell steigenden Preise für fossile Energieträger und Rohstoffe sorgen zusammen mit verbesserten wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen für ein günstiges Investitionsklima
- das öffentliche Interesse für erneuerbare Ressourcen und damit verbunden die gesellschaftliche und politische Akzeptanz der Biomasseproduktion (WENKEL u. KERSEBAUM, 2009, 326).

Die Arbeit befasst sich mit dem Thema der Pappel-Feldholzproduktion im Kurzumtrieb. Nachfolgende Ausführungen beziehen sich grundsätzlich auf diese Art der Biomasseproduktion. Ergänzend ist anzumerken, dass in dieser Arbeit eine kaskadische und damit ressourceneffiziente Holzverarbeitung und -verwertung angestrebt wird und daher die energetische Holznutzung die letzte Stufe der kaskadischen Verwertung darstellt.

Bei der Beurteilung der Klimarelevanz in der kaskadischen Holznutzung und Holzverwertung können vier Bereiche betrachtet werden, die sowohl die Speicher- als auch die Substitutionswirkung umfassen. Als erstes sind die CO₂- Speicher Holz und Boden zu nennen. Zweitens ist der Speicher „Holzprodukte“ inklusive Deponien zu nennen. Drittens greift die Materialsubstitution durch Holzprodukte und viertens auch die Energiesubstitution durch Holzprodukte (SCHADAUER, 2012, 3-4). Ökologisch bedeutend ist die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb, weil sie im Gegensatz zur konventionellen Landwirtschaft ein weites Input/ Output- Verhältnis aufweist. Zudem zeichnet sie sich durch eine längere Bodenruhe und Bodenbedeckung aus. Gewöhnlich besitzt sie auch eine höhere Artenvielfalt in der Begleitvegetation und kann so einen Beitrag zu ausgeräumten Agrarlandschaften leisten (RUHM und SCHUSTER, 2012, 15-16). Anzumerken ist, dass die Nährstoffentzugsmenge im Kurzumtrieb pro Zeiteinheit eher landwirtschaftlicher als konventioneller forstlicher Nutzung ähnelt (ENGLISCH et al., 2009,15-17).

In der Vergangenheit kam es in einigen Bereichen der „Pflanzlichen Produktion“ durch einen hohen Fremdenergieeinsatz zu Überschussproduktionen. Die Folge waren verordnete Flächenstilllegungen, gekoppelt mit Subventionszahlungen und somit ungenutzte Ressourcen, die Kosten Verursachten. Die Feldholzproduktion ist für viele Betriebe ein noch unbekannter Betriebszweig. Die Produktion nachwachsender Rohstoffe stellt allgemein und speziell in der Feldholzproduktion ein hohes Potential dar, das erst zum Teil genutzt wird (LIEBHARD, 2010a, 10-11). Der Einstieg in die Biomasseproduktion erhöht die Diversifizierung eines landwirtschaftlichen Betriebs, wodurch das einzelbetriebliche Gesamtrisiko vermindert, die Nutzungsflexibilität vergrößert und die Attraktivität des Berufstandes verbessert wird. Erfolgt zusätzlich die Verarbeitung von Bioenergiepflanzen zu den Endprodukten (Biodiesel, Gas, Strom, Wärme) im ländlichen Raum selbst, kann die Wirksamkeit eben genannter Faktoren erhöht und zusätzlich das Auseinanderklaffen von Betriebsmittelpreisen und landwirtschaftlichen Erlösen vermindert werden (WENKEL u. KERSEBAUM, 2009, 326 – 327). Außerdem lässt sich der erforderliche Arbeitszeitbedarf speziell für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb günstig in den landwirtschaftlichen Arbeitsrhythmus einflechten (LIEBHARD, 2010a, 11).

„Energie und Rohstoffe sind die Träger des Wirtschaftssystems, sie sind die Säulen der Produktivität und des Wohlstandes“ (LIEBHARD, 2010a, 10). Das Wirtschaftssystem steht derzeit zum Großteil noch auf dem Fundament der fossilen Energie- und Rohstoffquellen (LIEBHARD, 2010a, 10). „Die intensivere Forschung in Bereichen der Alternativressourcenproduktion ist immer dann zu beobachten, wenn endliche Rohstoffquellen wie Erdöl, Erdgas, Kohle u.a. zu versiegen drohen. Diese Auswirkungen sind vor allem an den Preis je Barrel Erdöl geknüpft, denn je höher die Kosten für den Erhalt der Infrastruktur, die Herstellung von Waren aller Art oder das Heizen der eigenen vier Wände werden, desto eher sind Biotreibstoffe, Ökoenergieanlagen oder Hackgutheizungen konkurrenzfähig“ (DEIM, 2011, 1).

Global gesehen trägt Holz zu etwa 70% zum Gesamtaufkommen an erneuerbarer Energie bei, in der EU 27 hat Holz im Portfolio der Erneuerbaren einen Anteil von 50%, und auch in Österreich steht Holz mit einem Anteil von etwa 45% noch deutlich vor Wasserkraft an der Spitze erneuerbarer Energie. Die Nationalen Aktionspläne für erneuerbare Energie (NREAPs) der 27 EU-Mitgliedstaaten lassen erkennen, dass Holz in Europa auch zukünftig der bedeutendste erneuerbare Energieträger bleiben wird (NEMESTOTHY, 2012, 5-8).

Nach HOCHBICHLER (2007) in LIEBHARD et al. (2011) beträgt der Waldanteil an der Gesamtfläche Österreichs derzeit etwa 47%. Bei einer weiter steigenden Nachfrage nach Hackgut und Industrieholz kann es dennoch zunehmend problematisch werden, diesen steigenden Bedarf alleine aus der Forstwirtschaft zu bedienen. Der steigende Bedarf an Hackgut und Industrieholz könnte nach LIEBHARD et al. (2011) zukünftig überwiegend durch Kurzumtriebsbestände gedeckt werden, sofern zunehmend Flächen in Kurzumtrieb-Bestände überführt

werden (Vervielfachung der derzeitigen Anbaufläche) und eine ausreichende Ertrags- und Bestandssicherung gewährleistet wäre (LIEBHARD et al., 2011, 37-38).

Der landwirtschaftliche Anbau nachwachsender Rohstoffe in Form von Biomasse wie Holz kann als wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung bzw. Ressourcensubstitution gesehen werden (WENKEL u. KERSEBAUM, 2009, 326). Wenngleich derzeit der Rohstoff und die Verwertung von nachwachsender Biomasse im Vergleich zu fossilen Vorräten meist noch arbeits- und zeitaufwändiger und somit teurer ist, muss zukunftsorientiert an den Alternativen, wie beispielsweise der Feldholzproduktion, gearbeitet werden (LIEBHARD, 2010a, 10-11).

Mit dem Ziel, die Feldholzproduktion wirtschaftlicher zu gestalten, soll auch diese Arbeit dazu beitragen, praxisrelevante Fragestellungen speziell für die Feldholzproduktion von Pappel im Kurzumtrieb auf Grenzertragsböden zu beantworten.

1.2 Problemstellung

Ein wesentliches Ziel der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb ist eine überwiegend handarbeitsfreie und nachhaltige Produktion mit möglichst viel verwertbarer Biomasse bei geringen Kosten. Ferner soll eine maximale Nutzung der einstrahlenden Sonnenenergie pro Zeiteinheit erfolgen (LIEBHARD, 2010a, 10-11). Um die genannten Ziele in die Praxis umsetzen zu können, werden für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb Baumarten eingesetzt, die den jeweiligen standörtlichen Produktionsbedingungen angepasst sind. In gemäßigten Klimagebieten werden für den Kurzumtrieb neben Erle, Birke, Robinie u.a. überwiegend Weide und Pappel verwendet. Gefordert wird von den Baumarten und Klonen bzw. von der Pflanzgutart (Rute, Stecklinge u.a.) unter anderem ein sicheres Anwuchs- und Aufwuchsverhalten, eine rasche Jugendwüchsigkeit mit hoher Biomassebildung in den ersten Jahren, eine hohe vegetative Regenerationsfähigkeit, eine lange Vegetationszeit (später Laubfall), Konkurrenzverträglichkeit, geringe Krankheitsanfälligkeit und eine starke Toleranz gegenüber Schadinsekten. Für eine optimale Ertragsleistung bzw. Ertragszuwachsleistung und Ertragssicherheit ist neben dem Pflanzgut der Standort, d.h. die Bonität des Bodens von großer Bedeutung (LIEBHARD, 2010a, 17).

Anlagen der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb konkurrieren ökonomisch gesehen mit den erzielbaren Deckungsbeiträgen traditioneller landwirtschaftlicher Fruchtarten auf demselben Standort. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es von großer Bedeutung, Informationen über die Ertragsleistung verschiedener Baumarten und Klone auf Standorten unterschiedlicher Güte und Verfahren zur raschen Ermittlung der Biomasseleistung (vor Ort) von Feldholz- Kurzumtriebsanlagen zu generieren (RÖHLE et al., 2009, 41). Anzustreben ist ferner eine systematische Vergleichsprüfung des gesamten in der EU verfügbaren Spektrums an Klonen (SCHILDBACH et al., 2009, 61). Bei einem gegebenen Standort ist im Wesentlichen die Auswahl des Pflanzgutes respektive der Pflanzgutart entscheidend über Erfolg

oder Misserfolg der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb (DEIM, 2011, 47). Auf EU- und auch nationaler Ebene steht mangels einer Nachfrage in der Vergangenheit nur eine begrenzte Anzahl von Pappelklonen für die Feldholzproduktion zur Verfügung. Hinzuzufügen ist, dass viele der derzeit erhältlichen Klone speziell für die Stammholzproduktion im Wald gezüchtet wurden. Überdies lassen sich Erfahrungen mit dem Feldholzanbau einer Region nicht ohne weiteres auf eine andere Region oder auf ein anderes Land übertragen. Aussagen über die Leistung des verfügbaren Klonpektrums für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb sind vorerst nur bedingt möglich (SCHILDBACH et al., 2009, 60-61).

1.3 Zielsetzung

Ausgangslage der vorliegenden Masterarbeit ist ein speziell angelegter Langzeitversuch (Feldholzanlage) in Oberösterreich, bei dem geprüft wird, welche praxistauglichen Pappel-Pflanzgutarten und verfügbaren Pappel-Klone für eine Industrieholzproduktion bei einer Umtriebszeit von fünf bis acht Jahren geeignet sind.

Ziel der Untersuchung ist, die Anwuchs- u. Ertragsleistung ausgewählter Pappelklone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart auf einer Versuchsfläche mit Grenzertragsboden in Oberösterreich zu beurteilen (Momentaufnahme vor dem Ersten Umtrieb).

In dieser Arbeit wird folgenden Hypothesen nachgegangen:

- Wie unterscheiden sich verschiedene Pappel-Pflanzgutarten bzw. - Klone vor dem ersten Umtrieb auf einer Fläche mit Grenzertragsboden hinsichtlich ihres Anwuchserfolges?
- Wie unterscheiden sich diese verschiedenen Pappel-Pflanzgutarten bzw. Klone bezüglich ihrer Ertragsleistung und Zuwachsleistung bis zum Zeitpunkt vor dem ersten Umtrieb?

Die Null-Hypothesen lauten:

- H_{01} : Es gibt keine Unterschiede in der Anwuchsrate der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart
- H_{02} : Es gibt keine Unterschiede im Ertrag der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart

Es wird jeweils gegen die Belastbarkeit von H_0 getestet.

Subziele dieser Arbeit sind eine umfassende Literaturrecherche und die Erfassung der klimatischen und bodenkundlichen Bedingungen der Versuchsfläche am Standort Sattlgai.

1.4 Abgrenzung der Fragestellung

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einfluss der Pflanzgutqualität auf das Anwuchsverhalten nicht beurteilt. Ebenso werden wirtschaftliche Aspekte bei der Auspflanzung und Kulturführung nicht beachtet.

2 AUSGEWÄHLTE LITERATUR

2.1 Begriffsbestimmungen und Definitionen

2.1.1 Nachwachsende Rohstoffe

Eine Definition des Begriffs „Nachwachsende Rohstoffe“ des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses im Amtsblatt der Europäischen Union (C 110/51) unter Punkt 2.2 lautet:

„Nachwachsende Rohstoffe werden definiert als land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Erzeugnisse, die einer Verwertung im Nichtnahrungs- bzw. Nichtfütterungsbereich zugeführt werden. Zu diesem Themenbereich gehört damit alles, was aus der Fotosynthese und den nachfolgenden Lebensprozessen entstanden ist. Sie sind gespeicherte Sonnenenergie.

Die Nutzung der Biomasse kann dabei stofflich wie energetisch erfolgen“ (EUROPÄISCHER WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS, 2006, 51).

2.1.2 Biomasse und landwirtschaftliche Biomasseproduktion

KALTSCHMITT et al. (2009) subsumieren unter dem Begriff „Biomasse“ sämtliche Stoffe organischer Herkunft. Umfasst sind damit die in der Natur lebende Phyto- und Zoomasse, deren Rückstände bzw. Ausscheidungen (z. B. tierische Exkrementen, pflanzliche Exudate), abgestorbene aber noch nicht fossile Phyto- und Zoomasse und im weiteren Sinn alle Stoffe, die durch eine technische Umwandlung und/ oder eine stoffliche Nutzung entstanden sind bzw. anfallen. Torf als fossiles Sekundärprodukt der Verrottung zählt im strengerem Sinn nicht mehr zur Biomasse und bildet die strittige Grenze. In Ländern wie Schweden und Finnland zählt beispielsweise Torf als Biomasse (KALTSCHMITT et al., 2009, 2).

Primärprodukte, d.h. Phyto- oder Pflanzenmasse, werden hauptsächlich von Organismen gebildet, deren Energiebedarf durch die Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie, im Prozess der Photosynthese, gedeckt wird. Die Zoomasse hingegen nutzt bereits gebildete Biomasse als Energielieferant (KALTSCHMITT et al., 2009, 41).

In dieser Arbeit bezieht sich der Begriff der Biomasseproduktion, in Form der Primärproduktion durch Pflanzen (Photosynthese), im engeren Sinn auf die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen genutzten Flächen.

„Unter Primärproduktion wird die Assimilation organischer Substanz durch autotrophe Organismen, die aus einfachen Substanzen komplexe organische Substanzen synthetisieren können, verstanden“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 46).

Der Wirkungsgrad (Nutzeffekt) der Photosynthese gibt Auskunft darüber, welcher Anteil der absorbierten (PAR) Strahlungsenergie in Form von chemisch gebundener

Energie fixiert wird. Da lediglich etwa 50% der Globalstrahlung den Pflanzen als nutzbare photosynthetisch aktive Strahlung (PAR, 400-700 nm) zur Verfügung steht und zudem erhebliche Teile der Energie aus der absorbierten Strahlung verloren gehen (Reflexion, Transmission), können in der Bruttoprimärproduktion maximal 15% der einstrahlenden Energie (Globalstrahlung) je Flächeneinheit gebunden werden. Die tatsächlich in chemische Energie gebundene Strahlung ist durch die Nettoprimärproduktion definiert und errechnet sich aus der Bruttoprimärproduktion abzüglich der Atmung. Nach KALTSCHMITT et al. (2009) zeigten Versuche mit landwirtschaftlich genutzten C4 Pflanzen Wirkungsgrade von 3% (Mais) - 6% (Hirse), bei landwirtschaftlich genutzten C3 Kulturen Nutzeneffekte zwischen 1,5 bis 4% (Gräser, Getreide, Zuckerrüben). Der Wirkungsgrad der Einzelpflanze ist neben der Verteilung, Struktur und Arbeitsweise der Chloroplasten (C3-, C4- Pflanzen) wesentlich von äußeren Faktoren (CO₂- Gehalt, Temperatur, Wasser, Licht) beeinflusst (KALTSCHMITT et al, 2009, 52-53).

Die äußerlich einwirkenden Effekte auf den Wirkungsgrad der Photosynthese können nach KALTSCHMITT et al. (2009) in zwei Faktorbündel klassifiziert werden. Einerseits sind das die natürlichen Standortfaktoren wie Einstrahlung bzw. Strahlungsintensität, Temperatur, Wasser, Boden, Nährstoffe und Humusreproduktion. Andererseits wirken anthropogene acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen auf das Pflanzenwachstum ein.

Steigt die Strahlungsintensität, nimmt nach KALTSCHMITT et al. (2009) die Nettoprimärproduktion bis zu einem Sättigungspunkt zu. Bei zu geringer Strahlung überwiegt die Atmung und es folgt ein Biomasseabbau. Entsprechend wichtig ist dabei auch die Form und Stellung der Blätter und der sich daraus ergebende Blattflächenindex (Blattfläche pro Bodenfläche). Eine weitere Kenngröße, die Lichtnutzungseffizienz, ist der Quotient aus der pro Zeiteinheit gebildeten Trockenmasse und der dabei von der Pflanze aufgenommenen PAR. C4 Pflanzen erreichen Werte von 1,4 bis 3g TM/MJ Strahlung. C3 Pflanzen bewegen sich zwischen 1 bis 1,4g TM/MJ. Die Lichtnutzungseffizienz verringert sich bei suboptimalen Wachstumsbedingungen wie Wasserstress, Krankheit oder Nährstoffmangel.

Der Faktor Temperatur beeinflusst Nach KALTSCHMITT et al. (2009) alle Lebensvorgänge. Mit dem Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur steigt, bis maximal 30 °C, bei einer ausreichenden Wasserversorgung, auch das Biomasseertragspotential. Das Temperaturminimum der Photosyntheseaktivität liegt bei Pflanzen des kühlen und gemäßigten Klimas bei wenigen Grad unter null.

Wasser fungiert in der Pflanze als Transportmedium, es hält die Pflanze turgeszent, es schützt die Pflanze vor Überhitzung durch Verdunstung, es dient als Reagenz und Ausgangsstoff für unzählige Stoffwechselvorgänge und es steht fast allen biochemischen Reaktionen als Lösungsmedium zur Verfügung. Die während der Vegetationszeit zur Verfügung stehende Menge an Wasser bestimmt wesentlich die

Ertragshöhe und -sicherheit. Die Kenntnis des artspezifischen Wasserbedarfs ist somit eine unabdingbare Voraussetzung für die Biomasseproduktion. Der Transpirationskoeffizient beschreibt das Verhältnis von Wasserverbrauch je Trockenmasseertrag und dient der Beurteilung der Wasserverwertungseffizienz. Der Evapotranspirationskoeffizient berücksichtigt neben der Transpiration der Pflanze auch noch die Bodenevaporation. Grundsätzlich ist der Evapotranspirationskoeffizient bei C4 Pflanzen geringer d.h. diese Pflanzen weisen eine bessere Wassernutzung auf. Der Gesamtwasserverbrauch im Jahresverlauf variiert aufgrund der unterschiedlichen Vegetationszeiten und kann nicht ohne weiteres vom Transpirationskoeffizienten abgeleitet werden. Große Bedeutung kommt dem Boden in Bezug auf dessen Wasserspeicherfähigkeit und Transformationsvermögen zu. Die Wasserspeicherfähigkeit, also die nutzbare Feldkapazität (nFK), resultiert aus der Feldkapazität (FK) abzüglich dem permanenten Welkepunkt (PK od. PWP). Die nFK ist standortabhängig und somit eine Kennzahl der Standortgüte. Sie wird prozentual oder absolut in Liter/ dm Bodentiefe angegeben ($5\% \text{ nFK} = 5 \text{ L Wasser/ dm Bodenschicht}$). Neben der nFK spielt der effektive Wurzelraum eine wichtige Rolle. Dieser Parameter gibt die Tiefe an, aus der Pflanzen ertragswirksam Wasser und Nährstoffe mobilisieren und aufnehmen können. Das pflanzenverfügbare Bodenwasserspeichervermögen ergibt sich aus der Multiplikation der nFK und dem effektiven Wurzelraum. Ergänzend zu der standortabhängigen Bodenart und der pflanzennutzbaren Mächtigkeit des Bodens ist eine vorausschauende, bodenschonende Bodenbearbeitung und damit verbunden die Erhaltung einer guten Bodenstruktur notwendig, um einerseits Bodenerosion vorzubeugen und andererseits hohe Biomasseerträge einfahren zu können (KALTSCHMITT et al., 2009, 54-58).

Der Boden als Pflanzenstandort birgt eine Reihe weiterer physikalischer und chemischer Größen, die für ein optimales Pflanzenwachstum wichtig sind. Bedeutende physikalische Eigenschaften sind die Textur, die Lagerungsdichte und damit verbunden die Feststoffdichte und das Porenvolumen bzw. der Anteil an Luft- bzw. wasserführenden Poren sowie die Porengrößenverteilung. Wichtige chemische Bodenparameter sind der Nährstoffgehalt und der pH-Wert. Ergänzend werden biologische Eigenschaften des Bodens durch das Vorkommen und die Aktivität von im Boden vorherrschenden Mikroorganismen bestimmt. Durch mikrobielle Aktivität werden Nährstoffe in Abhängigkeit vom aW-Wert, der Temperatur sowie der O₂-Versorgung des Bodens mineralisiert und pflanzenverfügbar gemacht (KALTSCHMITT et al., 2009, 59-60).

Die Fruchtbarkeit eines Bodens wird festgelegt durch dessen Genese bzw. dem Ausgangsgestein und dem vorherrschenden Humusgehalt. Unabhängig von der Verwertung der Biomasse (Nahrungsmittel, Bioenergieerohstoff) sollte immer eine ausgeglichene Humusbilanz angestrebt werden d.h. Humusdefizite, im Zuge der Mineralisierung, müssen durch die Zufuhr organischen Materials im Laufe der Zeit ersetzt werden (KALTSCHMITT et al., 2009, 60).

Zu den anthropogenen acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zählen u.a. das Anbausystem (standortangepasste Sorten), eine, wenn möglich, bodenschonende Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutzmaßnahmen, Beregnung und Erntemaßnahmen. Wesentliche Gesichtspunkte für eine erfolgreiche standortabhängige Biomasseproduktion sind folglich die Wahl von klima- und standortangepassten Pflanzenarten unter Berücksichtigung ihrer Ansprüche an die Bodenbeschaffenheit, die Niederschlagsmenge, der Temperaturverlauf u.a. Faktoren. Abhängig vom Bodenzustand bzw. vom Vegetationszeitpunkt und den Ansprüchen der Kulturen müssen Bodenbearbeitungsmaßnahmen durchgeführt werden. „Düngen“ schließt alle Maßnahmen ein, die unmittelbar zur Verbesserung des Bodens und/ oder zur verbesserten Nährstoffversorgung der Kultur führen. In diesem Zusammenhang bewirkt Stickstoff (N) die stärkste Ertragsbeeinflussung, da es das Massenzunahme fördert und meist nur beschränkt d.h. als hemmender Minimumfaktor im Boden pflanzenverfügbar ist. Pflanzenschutzmaßnahmen dienen der Prävention oder Bekämpfung von Beikräutern Schädlingen und Krankheiten. Kulturpflanzenkonkurrierende Beikräuter, Schädlinge und Krankheiten mindern die Qualität und Quantität der produzierten Biomasse. Eine Beregnung bzw. Bewässerung kann, in Abhängigkeit von der Kultur, nach KALTSCHMITT et al. (2009), wesentlich zur Ertragssicherheit und Ertragssteigerung führen (KALTSCHMITT et al., 2009, 61-71).

Vom Ernteverfahren hängt es ab, welcher Anteil und mit welcher Qualität der Biomasseaufwuchs für welche Nutzung verfügbar gemacht werden kann. Bei der Ernte ist auf den richtigen Erntezeitpunkt und auf die richtige Erntetechnik zu achten (KALTSCHMITT et al., 2009, 72).

2.1.3 Bewirtschaftungsstrategie der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb

GEROLD et al. (2009) differenzieren zwischen der Nutzungsstrategie und der Anbaustrategie. Die Bewirtschaftungsstrategie ergibt sich aus der Nutzungs- und Anbaustrategie. Die stoffliche und die energetische Nutzung stellen die zwei fundamentalen Nutzungsstrategien der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb dar. Streng genommen kann eine bereits bestehende Anlage, zumindest teilweise, für beide Nutzungspräferenzen herangezogen werden. Für den Anlagenbetreiber ist das insofern von Bedeutung, weil er in seiner Entscheidungsfindung flexibel und marktorientiert agieren kann. Mögliche Anbaustrategien sind, neben der Feldholzproduktion auf Ackerflächen, die Feldholzproduktion auf Grenzertragsböden, schnellwachsende Bäume/ Gehölze als Landschaftselement oder der Anbau geringerer Baumzahlen auf Grünlandflächen. Die Anbaustrategie ist grundsätzlich von den zur Verfügung stehenden Flächen abhängig (GEROLD et al., 2009, 73-80). Die Nutzungsstrategie ist wiederum u. a. von der Marktnachfrage abhängig. Generell gilt: ohne (langfristig) gesicherte Vermarktungsmöglichkeit sollte keine Feldholzproduktion im Kurzumtrieb durch den Landwirt erfolgen (BEMMANN et al., 2010, 251- 252; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 57). In erster Linie sind bei der Vermarktung möglichst kurze Transportstrecken anzustreben. Die

Transportkosten können neben den Erntekosten (ca. 50 % der Gesamtkosten einer Kurzumtrieb-Anlage) einen zentralen Kostenfaktor darstellen (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 44 u.57).

Für eine optimale und dauerhafte Versorgung des Abnehmers bzw. Nutzers mit bestimmten jährlichen Mengen an Feldwertholz oder Hackschnitzel sind grundsätzlich auf eine vorhandene Mindestfläche, auf die Realisierung eines bestimmten Ertragsvermögens je Flächeneinheit (Zuwachs) und auf eine nachhaltige Anlagestruktur bei gegebener Umtriebszeit zu achten. Ein Beispiel dafür wäre eine insgesamt 5 ha große Anlage zur Hackschnitzelproduktion mit einer 5-jährigen Umtriebszeit und einer fünfteiligen (Block-) Struktur. So verteilen sich die Anlagekosten auf fünf Jahre. Die Blockbestände liegen jeweils ein Jahr auseinander, sodass ab den fünften Jahr beginnend jedes Jahr geerntet werden kann (GEROLD et al., 2009, 73).

2.1.4 Definition und Entwicklung der Feldholzproduktion

Die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb oder die Hackgut- bzw. Holzproduktion im Kurzumtrieb, kurz „Feldholzproduktion“, „Baum-Feld-System“, „Kurzumtriebsplantage“, „Energieholzplantage“, „Produktion schnellwachsender Bäume“, häufig auch „Energie forestry“, „Short rotation intensive culture“, „Short rotation coppice“, „Alley Cropping System“ oder „Energy plantation“, definiert einen speziellen Betriebszweig in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion und eine Weiterentwicklung der Niederwald-Bewirtschaftungsform, mit eigens für diesen Zweck gezüchteten Lichtbaumarten (LIEBHARD, 2010a, 14).

Ein wesentliches Ziel der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb ist eine überwiegend handarbeitsfreie und nachhaltige Produktion mit möglichst viel verwertbarer Biomasse bei geringen Kosten. Ferner soll eine maximale Nutzung der einstrahlenden Sonnenenergie pro Zeiteinheit erfolgen (LIEBHARD, 2010a, 10-11). Als Low-Input-Kurzumtriebssystem soll die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb ökologisch verträglich sowie nachhaltig und wirtschaftlich Hackgut und Holz für die stoffliche und energetische Verwertung bereitstellen (LIEBHARD, 2010a, 12). Für die Feldholzproduktion eignen sich vor allem Baumarten, die über ein rasches (Jugend-) Wachstum, eine leichte Vermehrbarkeit und ein sehr gutes Stockausschlagevermögen verfügen (WOLF et al., 2010, 30). Baumarten mit derartigem Wachstums- und Ertragsverhalten, die überdies über eine hohe Dichtstandverträglichkeit verfügen, weisen Lichtbaumarten wie Pappel, Weide, Robinie, Erle, Birke aber auch Esche und Eiche auf. In gemäßigten Klimazonen werden für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb überwiegend Weide und Pappel verwendet (LIEBHARD, 2010a, 14-16). Diese Baumarten werden mit dem Ziel der Steigerung des Biomasseertrags und der Resistenz gegenüber diversen Schadfaktoren züchterisch bearbeitet (KNUST, 2009, 5). Von der Gattung Pappel (*Populus* spp.) eignen sich besonders die Sektionen *Tacamahaca* (Balsampappel), *Aigeiros* (Schwarzpappel) und *Leuce* (Aspe/ Zitterpappel) für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb (LIEBHARD, 2010a, 23). Weide eignet sich fast nur zur Gewinnung

von Holzhackschnitzeln, während Pappel, in Abhängigkeit vom Design der Anlage, sowohl für die Energieholz- als auch für die Industrieholzproduktion geeignet ist. Die Nutzungsstrategie und die standörtlichen Bedingungen bestimmen daher die Wahl der Baumart (KNUST, 2009). Für den Anbau schnellwachsender Bäume im Kurzumtrieb eignen sich neben Acker-, Grünland- und Stilllegungsflächen auch Sonderstandorte mit Grenzertagsböden und/ oder Rekultivierungsflächen (LIEBHARD, 2010a, 14-15). Die Ernte bzw. die Erntetechnik ist abhängig von der Nutzungsrichtung, der damit verbundenen Umtriebszeit (Stammdurchmesser) und den Pflanzabständen (HANDLER, 2011, Folie 3). Aus Kostengründen lassen sich die konventionellen Erntetechniken aus der Forstwirtschaft meist nicht auf die Feldholzproduktion übertragen. Es liegt mehr eine Anlehnung an die Verfahrenstechnik der konventionellen landwirtschaftlichen Prozesstechnik vor. Die heute zur Verfügung stehenden Erntetechniken basieren auf modifizierten landwirtschaftlichen Erntemaschinen (KALTSCHMITT et al., 2009, 226).

Nach DICKMAN (2006) in KNUST (2009) stellt die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb, wie sie heute existiert, keine grundsätzliche Neuerung dar, sondern eher eine Weiterentwicklung jahrhundertealter Waldbewirtschaftungsstrategien bzw. Niederwaldsystemen (KNUST, 2009, 4). Historische Niederwaldsysteme zeichnen sich nach HOFMANN (1999) in KNUST (2009) dadurch aus, dass diese aus züchterisch unveränderten Baumarten wie Hasel, Hainbuche und Linde bestehen und lediglich alle 15-30 Jahre geerntet werden (KNUST, 2009, 4). Im Gegensatz dazu sind moderne Anlagen zur Feldholzproduktion durch geometrisch angelegte Pflanzverbände, die Verwendung meist nur eines Klons je Teilfläche sowie gegebenenfalls Verwendung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln gekennzeichnet und qualifizieren sich daher eher als landwirtschaftliches System (KNUST, 2009, 5).

Das Ertragspotential ist stark standortabhängig. Die Menge an verfügbarem Wasser beeinflusst das Ertragspotential u.a. beträchtlich. Grundsätzlich werden beim ersten Schnitt geringe Erträge erzielt im Vergleich zu(r) folgenden Ernte(n) (KALTSCHMITT et al., 2009, 91). Nach GEROLD et al. (2009) sind mit Feldholzanlagen zur stofflichen Nutzung durchschnittliche Erträge von bis zu $9 \text{ t}_{\text{atro}}/(\text{ha a})$ zu erzielen. Bei einer energetischen Nutzung können als mittlerer Ertrag 8 bis $12 \text{ t}_{\text{atro}}/(\text{ha a})$ angenommen werden (GEROLD et al., 2009, 74-76). Jedoch muss aufgrund des häufig noch nicht gesicherten Wissensstandes und der geringen praktischen Erfahrung bei der Feldholzproduktion im Kurzumtrieb im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen mit nicht erwarteten geringen Ertragsleistungen, mit Problemen in der Krankheits- und Schädlingsbekämpfung und mit unerwarteten Ausfällen in Kurzumtrieb-Beständen gerechnet werden (LIEBHARD et al., 2011, 37).

2.1.5 Kaskadennutzung

Aufgrund der zunehmenden Nutzungskonkurrenz begrenzt nachwachsender Biomasse (im engeren Sinne Holz), muss eine Verwertung zunehmend effizient gestaltet werden. Ein Lösungsansatz stellt dabei die Kaskadennutzung nachwachsender Biomasse dar. Realisieren lässt sich dieses Konzept durch eine Hintereinanderschaltung stofflicher und energetischer Verarbeitungsstufen desselben Rohstoffes, was eine Koppelung des Material- und Energiesektors darstellt (ARNOLD et al., 2009, s.p.).

Die Kaskadennutzung ist eine sequenzielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe (NAWARO's) verbunden mit einer energetischen Verwertung am Ende des Lebenszyklus (siehe Abb.2.1-1) (ARNOLD et al., 2009, 17).

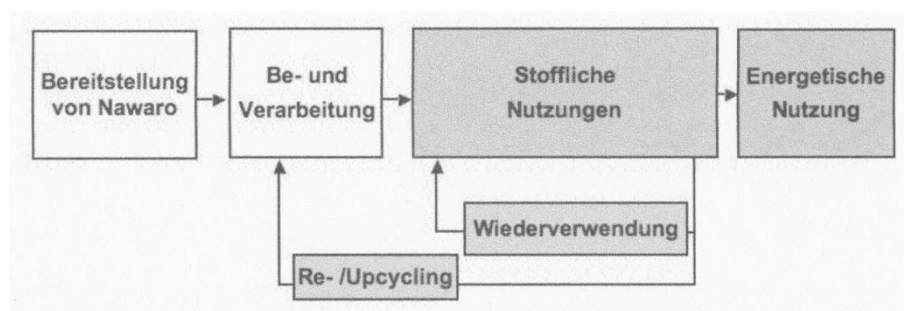


Abbildung 2.1-1 Schematische Darstellung des Prinzips der Kaskadennutzung (Übernommen aus ARNOLD et al, 2009, 18)

Eine Kaskadennutzung führt grundsätzlich zu einer verbesserten Ausnutzung der Flächen und Rohstoffe. Durch eine Mehrfachnutzung desselben Rohstoffs wird einerseits eine effizientere Nutzung des Rohstoffs als Material und Energieträger erzielt, andererseits ergibt sich zudem ein insgesamt geringerer Bedarf an Rohstoffen und ist so mit einer Reihe ökonomischer und ökologischer Vorteile verbunden. Hervorzuheben ist, dass durch eine dezentrale Produktion und Weiterverarbeitung bzw. Verwertung nachwachsender Rohstoffe hohe Beschäftigungs- und Wertschöpfungspotentiale und somit Arbeitsplätze entstehen, welche einer ländlichen Entwicklung dienen (ARNOLD et al., 2009, 19-21).

2.1.6 Rechtliche Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten mit öffentlichen Mitteln für Feldholzanlagen im Kurzumtrieb für Oberösterreich

Rechtliche Rahmenbedingungen

Landesgesetze

Neuaufforstungen in Oberösterreich regelt das Landesgesetz über den Schutz und die Entwicklung der Almen und der landwirtschaftlichen Kulturflächen in Oberösterreich, LGBI.Nr. 79/1999 mit Änderung LGBI. Nr. 108/2011, wobei Abschnitt 2 dieses Gesetzes spezielle Bestimmungen für Almen enthält, allgemeine Bestimmungen zu Neuaufforstungen sind im 3. Abschnitt dieses Gesetzes geregelt, insbesondere in den §§ 10 und 11. Danach sind ab einer bestockten Grundfläche von 1000 qm und einer durchschnittlichen Breite von 10 m Aufforstungen nur auf im Flächenwidmungsplan entsprechend ausgewiesenen Flächen und nach Anzeige der geplanten Maßnahme an den zuständigen Bürgermeister zulässig, wenn dieser nicht innerhalb von 8 Wochen mit schriftlichem Bescheid untersagt. Die Mindestabstände der Bäume oder Sträucher zu fremden Grundstücken (außer Waldflächen und anderen Neuaufforstungen) betragen 5 Meter (OÖ. ALM- UND KULTURFLÄCHENSCHUTZGESETZ, 2011, 5-6).

Abstände zu öffentlichen Straßen (gilt nicht für Bundesstraßen) regelt das Landesgesetz vom 24. Mai 1991 über die öffentlichen Straßen mit Ausnahme der Bundesstraßen in seiner aktuellen Fassung LGBI.Nr.61/2008: außerhalb von Ortsgebieten ist ein Abstand von 3 Metern zum Straßenrand erforderlich, für eine Unterschreitung dieses Abstands ist die Zustimmung der Straßenverwaltung erforderlich (OÖ. STRASSENGESETZ, 1991, 11).

Befindet sich die zur Aufforstung vorgesehene Fläche innerhalb eines ausgewiesenen Landschaftsschutzgebietes, ist zu prüfen, ob die jeweilige Verordnung nach § 11 Abs. 1 des oberösterreichischen Natur- und Landschaftsschutzgesetzes 2001 einer solchen Anlage entgegensteht oder Bewilligungs- oder Anzeigepflichten auslöst (OÖ. NATUR- UND LANDSCHAFTSSCHUTZGESETZ, 2001, 10).

Bei der Planung von Einfriedungen der Kurzumtrieb-Anlage ergeben sich die rechtlichen Rahmenbedingungen aus der oberösterreichischen Bauordnung 1994 (OÖ. BAUORDNUNG, 1994, 1-42).

Eingriffsrechte von Betreibern elektrischer Leitungsanlagen, die die Bewirtschaftung von Kurzumtriebsanlagen erschweren können, regelt das oberösterreichische Starkstromwegegesetz (OÖ. STARKSTROMWEGEGESETZ, 1970, 5-6).

Wegen Schutzmaßnahmen vor Wildschäden und Haftungsansprüchen gegenüber Jagdausübungsberechtigten ist das oberösterreichische Landesjagdgesetz anzuwenden (§§ 64 ff.) (OÖ. JAGDGESETZ, 1964, 28 ff.).

Bundesgesetze

Kurzumtrieb- Flächen sind kein Wald im Sinne vom § 1a Abs. 5 Forstgesetz, dennoch erklärt §1 Abs. 6 die §§ 43- 45 Forstgesetz auf Kurzumtriebsflächen für anwendbar. Das heißt, es besteht Anzeigepflicht bei gefahrdrohender Vermehrung von Forstschädlingen und es sind Maßnahmen zur Vorbeugung und Bekämpfung von Forstschädlingen zu ergreifen (FORSTGESETZ, 1975, 2-3 u. 25-26).

Das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) wird in Österreich durch das Pflanzenschutzmittelgesetz 2011 geregelt. Gemäß § 4 Abs. 2 Pflanzenschutzmittelgesetz 2011 werden zugelassene PSM im amtlichen Pflanzenschutzmittelregister eingetragen. Aktuell sind für Pappelanlagen drei PSM zur Beikrautregulierung angeführt. (PFLANZENSCHUTZMITTELGESETZ, 2011, 2-3). Darüber hinaus können alle Produkte mit Laubholzregistrierung in der Forstwirtschaft oder mit Ziergehölzregistrierung angewendet werden (KLUG, 2011, 58).

Auf das Pflanzgut für die Anlage zur Feldholzproduktion auf landwirtschaftlichen Nutzflächen finden § 22 und der 5. Abschnitt des Forstlichen Vermehrungsgutgesetzes 2002 Anwendung. Geregelt werden die Kennzeichnungspflicht von für nicht-forstliche Zwecke zu verwendendes Pflanzgut und die Aufzeichnungspflicht (§ 22) und die Ein- und Ausfuhr von Vermehrungsgut aus Drittländern. Die Einfuhr von nicht forstwirtschaftlich genutztem Vermehrungsgut unterliegt der Bewilligung des Bundesamtes für Wald (BfW), wenn pro Tag mehr als 100 Pflanzen oder Pflanzenteile importiert werden sollen (FORSTLICHES VERMEHRUNGSGUTGESETZ, 2002, 12-15).

Fördermöglichkeiten

Im Jahr 2009 wurde letztmals die flächenbezogene Energiepflanzenprämie aufgrund der VO EG 1782/2003/ ausbezahlt. Derzeit ist eine Förderung durch die Einheitliche Betriebsprämie (EBP) für Kurzumtrieb-Anlagen nach EGVO 73/2009 möglich (RAT DER EU, 2009, L 30/ 31). Die Antragstellung für die beihilfefähigen Hektarflächen, landwirtschaftliche Flächen mit landwirtschaftlicher Produktion, hat jährlich bis 15. Mai zu erfolgen (RAT DER EU, 2009, L30/ 37).

Förderfähig sind in Österreich nur Kulturen mit einer Umtriebszeit von maximal 20 Jahren gemäß § 3 Abs. 4 INVEKOS-CC-V 2010. Die EU-Vorschriften schränken außerdem die Beihilfefähigkeit auf bestimmte, vom Mitgliedsstaat zu bestimmende Baumarten ein. In Österreich sind dies Weide, Pappel, Robinie, Grauerle, Schwarzerle, Esche und Birke (INVEKOS-CC-V, 2010, 3).

Die Sonderrichtlinie (SRL) des BMLFUW für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (Ö P U L 2007) zählt Energieholzflächen nicht zu den förderfähigen landwirtschaftlichen Nutzflächen (LN). Diese sind somit grundsätzlich nicht förderfähig (BMLFUW-LE.1.1.8/0014-II, 2010, 10).

2.1.7 Abgrenzung zu Agroforstsystemen

Bei dieser Form der Landnutzung wird der Anbau von Dauerkulturen mit annuellen Kulturen auf derselben Fläche kombiniert (GRÜNEWALD u. REEG, 2009, 233). Nach KALTSCHMITT et al. sind zwei Systeme zu unterscheiden:

- Das Silvopastorale System ist die Kombination von „Baum/ Strauch“ und „Tier/ Futterpflanze“.
- Das Silvoarable System ist die Kombination von „Baum/ Strauch“ und annuellen Kulturen (KALTSCHMITT et al., 2009, 66).

Ergänzend unterscheiden GRÜNEWALD und REEG (2009) Agroforstsysteme in Abhängigkeit von den gewünschten Holzprodukten wie Energieholz oder Wertholz, was für die Anlage von Agroforstsystemen von grundlegender Bedeutung ist (GRÜNEWALD und REEG, 2009, 234).

Aufgrund ihrer Multifunktionalität bieten Agroforstsysteme ökologische und ökonomische Vorteile und besitzen zudem das Potential, heutigen und zukünftigen Landnutzungsansprüchen gerecht zu werden (GRÜNEWALD und REEG, 2009, 233). Der wesentliche Unterschied zu Kurzumtrieb-Anlagen zur Feldholzproduktion liegt nach DEIM (2011) in den weiteren Abständen der Baum- bzw. Strauch- und Acker- bzw. Weidestreifen, was zugleich die Gewichtung von Holzproduktion zu Acker- und/ oder Weidenutzung definiert. Jedoch ist die Grenze zwischen einem silvopastoralen Agroforstsystem (Streuobstwiese) und einer Kurzumtrieb-Anlage, welche auch beweidet werden kann, nicht eindeutig zu ziehen. Eine Möglichkeit der Abgrenzung stellt nach DEIM (2011) eine Gegenüberstellung des jeweiligen Deckungsbeitrages (DB) aus Holzproduktion versus DB Futter bzw. Lebensmittelproduktion, dar (DEIM, 2011, 24). Darüber hinaus existieren bei Agroforstsystemen relativ lange Umtriebszeiten von bis zu 50 oder auch 70 Jahren, wenn eine Wertholzproduktion zur Erzeugung hochwertiger Holzsortimente mit verschiedenen Laubbaumarten angestrebt wird (GRÜNEWALD u. REEG, 2009, 234).

2.2 Produktionstechnische Maßnahmen der Pappel-Feldholzproduktion

2.2.1 Planung einer Anlage zur Pappel-Feldholzproduktion

Die Planung einer künftigen Feldholzanlage setzt neben rechtlichen und allgemeinen standörtlichen Bedingungen die Kenntnis der Nutzungsstrategie voraus. Planungsinhalt der Nutzungsstrategie ist das Zielprodukt, gekoppelt mit der Produktverwendung. Das Produktionsziel bestimmt die Wahl der zu verwendenden Klone, den Pflanzverband, die Umtriebszeit und das Ernteverfahren. (HOFMANN, 2007, 188). SCHILDBACH et al. (2009) identifizieren die Wahl des Pflanzverbandes als eine der wichtigsten Entscheidungen bei der Planung. Mit dem Pflanzverband wird einerseits die spätere Nutzungsmöglichkeit und andererseits eine bestimmte Erntetechnik des Feldholzes festgelegt (SCHILDBACH et al., 2009, 65). Darüber hinaus setzt eine erfolgreiche Feldholzproduktion ein mit den betrieblichen Verhältnissen abgestimmtes Gesamtkonzept bezüglich des zeitlichen Ablaufes der

Bodenvorbereitung über die Pflanzung und Bestandsführung bis zur späteren Ernte voraus (SCHILDBACH et al, 2010, 67).

2.2.1.1 Allgemeine Standortansprüche

Für das Erreichen von wirtschaftlich ausreichenden Biomassezuwächsen schnellwachsender Baumarten in Kurzumtrieb-Anlagen sind geeignete Standortbedingungen Voraussetzung. Wenn auch viele der verwendeten Baumarten, Sorten und Klone potentiell ein großflächiges Spektrum an Standorten besiedeln können, müssen gewisse klimatische und pedologische Mindestanforderungen für Kurzumtrieb-Standorte erfüllt sein (PETZOLD et al., 2010, 44). Durch eine entsprechende Standortwahl können zum Beispiel nicht unerhebliche abiotische Schadfaktoren, zumindest teilweise, vermieden werden (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74).

Von den zwei bedeutenden Baumarten für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb stellt die Pappel im Vergleich zur Weide allgemein höhere Standortansprüche (LIEBHARD, 2010a, 27).

2.2.1.1.1 Klima

Nach LIEBHARD (2010a) sind Standorte über 600 m (700 m) für die Balsampappel (Sektion Tacamahaca) und deren Hybride nicht mehr geeignet. Die Feldholzproduktion mit der wärmebedürftigeren Schwarzpappel (Sektion Aigeiros) ist nur bis 300 m (400 m) erfolgreich (LIEBHARD, 2010a, 27). SCHOLZ (2006) nennt eine mögliche Anbauhöhe für Pappel von weniger als 400 bis 800 m NHN in Abhängigkeit von der Region (SCHOLZ, 2006, 291). Nach KALTSCHMITT et al. (2009) haben Pappeln relativ hohe Temperaturansprüche, sodass diese über 600 m nicht mehr anbauwürdig sind (KALTSCHMITT et al., 2009, 89). Allgemein gilt für das Waldwachstum und folglich auch für den Bestand (Pappel) einer Kurzumtrieb-Anlage, dass mit zunehmender Höhenlage einerseits die Niederschlagsmenge steigt, parallel dazu aber die Jahresdurchschnittstemperatur sinkt und so die Vegetationszeit verkürzt wird (KALTSCHMITT et al., 2009, 77-78).

Im Zusammenhang mit der Höhenlage sind die Jahrestemperatur und der Temperaturverlauf ein wesentlicher Standortfaktor. LIEBHARD (2010a) spricht bei der wärmebedürftigen Schwarzpappel von einer Mitteltemperatur von über 14,5 °C während der Vegetationszeit (Mai- September) was eine Jahresmitteltemperatur von > 8,5 °C voraussetzt (LIEBHARD, 2010a, 23-24). Bei der robusteren Balsampappel sind nach LIEBHARD (2010a) > 7,6 °C durchschnittliche Jahrestemperatur nötig (LIEBHARD, 2010a, 27). Nach PETZOLD et al. (2010) benötigt die Balsampappel eine mittlere Jahrestemperatur der Luft von > 6,5 °C. Bei der Schwarzpappel und deren Hybride spricht er von > 8 °C mittlerer Jahrestemperatur (PETZOLD et al., 2010, 46). SCHILDBACH et al. (2010) beziffern die nötigen mittleren Jahrestemperaturen für die Sektion Aigeiros (Schwarzpappel) mit > 8 °C, für die Sektion Tacamahaca (Balsampappel) mit > 6,5 °C und für die Sektion Leuce (Aspe/ Zitterpappel) ebenfalls mit > 6,5 °C (SCHILDBACH et al., 2010, 58). Das Risiko

von Früh- und Spätfrösten ist zudem besonders bei Pflanzgut aus wärmeren Regionen zu berücksichtigen (LIEBHARD, 2010a, 27). Ergänzend empfehlen SCHOLZ (2006) und SCHILDBACH et al. (2010) keine windexponierten Lagen, zumindest bei Balsampappel (SCHOLZ, 2006, 291; SCHILDBACH et al., 2010, 58).

Aufgrund der hohen Biomasseproduktion der Feldholzkulturen im Kurzumtrieb ist oft das Wasserangebot der begrenzende Wachstumsfaktor (LIEBHARD, 2010a, 47). Die Wasserversorgung muss nach SCHOLZ (2006) entweder durch ausreichende Niederschläge und ein gutes Bodenwasserspeichervermögen oder durch eine gute Grundwasserversorgung gewährleistet sein. SCHOLZ (2006) beziffert die nötige Niederschlagsmenge mit > 500 mm pro Jahr bzw. > 300 mm in der Vegetationsperiode (Mai- September) (SCHOLZ, 2006, 290-291). LIEBHARD (2010a) erachtet mehr als 800 mm Niederschlag pro Jahr als notwendig, um das Leistungspotential von Pappel voll ausschöpfen zu können (LIEBHARD, 2010a, 47). PETZOLD et al. (2010) sprechen auch von mind. 300 mm Niederschlag (Ns) während der Vegetationsphase (Mai- September) auf Standorten mit terrestrischen Böden für das Erreichen wirtschaftlich interessanter Ertragszuwächse (PETZOLD et al., 2010, 46).

Nutzbar ist Grundwasser dann, wenn es sich im Durchwurzelungsbereich befindet. In Abhängigkeit vom Bodentyp darf das Grundwasser nicht unter 0,7 -1,5 m (2,5 m) liegen (LIEBHARD, 2010a, 47). Auch PETZOLD et al. (2010) weisen auf die Bedeutung einer guten Wasserspeicherfähigkeit hin und beziffern eine nötige nFK im Durchwurzelungsraum von > 150 mm (PETZOLD et al., 2010, 46). SCHILDBACH et al. (2009) halten Niederschläge von 300 mm während der Vegetationsphase und 600 mm Jahresniederschlag für notwendig, wenn kein Anschluss zum Grundwasser vorliegt. Die NS-Menge ist nach SCHILDBACH et al. (2009) bei erreichtem bzw. vorhandenem Grundwasseranschluss kaum relevant (SCHILDBACH et al., 2009, 58). Grundsätzlich ist eine ausreichende Wasserversorgung besonders im ersten und zweiten (Anwuchs-) Jahr von Bedeutung, da erst mit einer ausreichenden Bewurzelung des Pflanzgutes das Grundwasser bzw. der Bodenwasserspeicher voll erschlossen ist (PETZOLD et al., 2010, 47). Auf Extremstandorten kann daher bei der Bestandsetablierung eine Bewässerung wirtschaftlich sein (LIEBHARD, 2010a, 47).

Schnellwachsende Baumarten wie die Pappeln sind Lichtbaumarten und benötigen zur Ausschöpfung ihres Ertragszuwachspotentials grundsätzlich ein hohes Strahlungsangebot. Die Menge der Strahlung (Globalstrahlung bzw. PAR), der Einfallswinkel der Strahlung und die Dauer der Strahlung (Tageslänge) sind standortabhängig und nur marginal beeinflussbar. Bei der Planung und Errichtung von Kurzumtrieb-Anlagen muss neben dem natürlichen standortbedingten Strahlungsangebot die Beschattung von Nachbarbeständen, die Selbstbeschattung und die Ausrichtung von Pflanzreihen beachten werden (PETZOLD et al., 2010, 44).

2.2.1.1.2 Boden

LIEBHARD (2010a) regt an, im Zuge der Planung vor der Flächenauswahl das Ergebnis einer gründlichen Bodenuntersuchung, getrennt nach Ober- (0-20 cm) und Unterboden (20-40 cm Bodentiefe) zu berücksichtigen. Untersucht werden dabei der Humusgehalt, die Durchwurzelungstiefe, der geringste und maximale pH- Wert, der Ca-, P-, und K-Gehalt, sowie bei salzigen Böden der Mg- und Na- Gehalt und ggf. Herbizidrückstände der jeweiligen Tiefenstufe (LIEBHARD, 2010a, 16).

Grundsätzlich wachsen Pappelklone auf schweren bis leichten Böden. Optimal sind nach LIEBHARD (2010a) neutrale bis schwach alkalische Böden. Wechselfeuchte bis fast nasse Böden reichen noch für hohe Zuwächse. Jedoch scheiden Böden mit permanenter Staunässe (Gleyböden) aus (LIEBHARD, 2010a, 27). SCHOLZ (2006) beziffert den optimalen pH-Bereich zwischen 5,5 bis 6,5 (schwach sauer bis neutral). Zudem sollte eine gute Durchwurzelbarkeit des Bodens und eine gute Befahrbarkeit im Winter gegeben sein. Auch SCHOLZ (2006) hält Böden mit Staunässe und so genannte „Minutenböden“ für Pappelklone ungeeignet (SCHOLZ, 2006, 291). PETZOLD et al. (2010) sprechen von einem optimalen pH-Bereich zwischen 5,5 bis 7 (schwach sauer bis alkalisch) (PETZOLD et al., 2010, 46).

KALTSCHMITT et al. (2009) setzen eine tiefe Durchwurzelbarkeit (mind. 60 cm) des Bodens für hohe Biomasseerträge voraus (KALTSCHMITT et al., 2009, 89). SCHILDBACH et al. (2009) sprechen in diesem Zusammenhang bei der Gattung *Populus* von mindestens 40 cm benötigter Durchwurzelungstiefe. Sie setzen zudem wie LIEBHARD (2010a) und KALTSCHMITT et al. (2009) für die Feldholzproduktion im Kurzumtrieb Ackerwertzahlen (Bodenpunktzahl) von mindestens 30 voraus, allerdings für grundwasserferne Standorte (SCHILDBACH et al., 2009, 58; LIEBHARD, 2010a, 16; KALTSCHMITT et al., 2009, 89). Die Eigenschaften des Bodens betreffend, nennen PETZOLD et al. (2010) die bedeutende Fähigkeit des Bodens, sich im Frühjahr rasch zu erwärmen zu können, da erst ab 10 °C Bodentemperatur die Wurzelentwicklung bei Schwarzpappel und bei vielen Schwarz- und Balsampappelhybriden ab 14 °C Bodentemperatur überdurchschnittliches Wurzelwachstum zu verzeichnen ist (PETZOLD et al., 2010, 46).

2.2.1.2 Flächenauswahl

Bei der Flächenauswahl müssen die Inklinatation (Hangneigung) und Exposition berücksichtigt werden. Die mechanische Ernte ist durch eine Hangneigung bis 30 Grad limitiert. Die Pflanzreihen sollten für eine bessere Nutzung der Strahlung von Nord nach Süd ausgerichtet sein. Aus wirtschaftlichen Gründen sind Flächen > 2,0 (1,0) ha anzustreben (LIEBHARD, 2010a, 35). Aufgrund des in Österreich einzuhaltenden Mindestabstands zu Nachbarflächen bei der Anlage von Feldholzbeständen und den ohnehin benötigten Wendeflächen bedeutet das für einen 1 ha großen Schlag, dass lediglich 0,8 ha bepflanzt werden können. Demnach wird das Verhältnis von Schlaggröße und nutzbarer Fläche bei steigender Gesamtfläche besser (BLUMAUER, 2011a, 71). SCHILDBACH et al. (2009) sprechen von

maximal möglichen 5 % Neigung bei hangparallelen Reihen und maximal 15 % bei hangsenkrechten Pflanzreihen, wenn mit Vollerntemaschinen gearbeitet wird. Bei der Ernte mit forstlichen Erntemaschinen sind jedoch größere Hangneigungen möglich. Bei größeren Schlägen mit ausschließlich maschineller Ernte muss eine gute Befahrbarkeit zwischen den Vegetationszeiten gewährleistet sein (trocken, gefroren). Des Weiteren muss die Infrastruktur eine Anfahrt der Erntemaschinen im Winter erlauben. Ausreichend dimensionierte und befestigte Zufahrts- und Wendemöglichkeiten für Transportfahrzeuge müssen eingeplant werden. In Abhängigkeit von der Holzverwertung sind ebenfalls Lagerplätze für Ganzbäume, Stammholz oder Industrieholz zumindest zeitweise vorzusehen. Hackschnitzel werden aus wirtschaftlichen Gründen, mit Ausnahme der Trocknung, nicht zwischengelagert (SCHILDBACH et al., 2009, 64-65). SCHILDBACH et al. sind der Ansicht, dass die Ausrichtung der Reihen auf ebener Fläche nur eine marginale Rolle spielt. Bei vornehmlich maschinellem Einsatz (Anlage, Bestandspflege, Ernte) sind die Reihen in Hangrichtung zu legen, damit die Maschinen die Spur besser halten können. Dient die Anlage eher auch dem Erosionsschutz, empfiehlt sich eine hangparallele Auspflanzung. Auch BECKER u. WOLF (2009) raten, in SCHILDBACH et al. (2009), in Abhängigkeit von der Erntetechnik ausreichend dimensionierte Fahrgassen, Wendepunkte, Zu- und Abfahrtswege im Rahmen der Planung und Anlage zu berücksichtigen (SCHILDBACH et al., 2009, 67). Weiter schlagen SCHILDBACH et al. (2010) vor, im Zuge des Flächen- und Pflanzplanes, die Fläche in Bewirtschaftungsblöcke einzuteilen, welche durch Fahrgassen und/oder Wendepunkte gegliedert sind. Werden unterschiedliche Klone zwecks Risikominimierung eingesetzt, können diese in sortenreinen Blöcken ausgepflanzt, und bei einem Ausfall einzelner Klone problemlos beerntet und ersetzt werden (SCHILDBACH et al., 2010, 67). Laut BLUMAUER (2011a) ist das Vorgewände ausreichend breit, wenn die Transportgespanne wenden können, ohne reversieren zu müssen. Dabei gilt es, Stockschäden, längere Wartezeiten oder teure Reifenschäden zu vermeiden. Derartige wirtschaftliche Schäden können nach BLUMAUER auch durch einen eventuellen Mehrertrag nicht kompensiert werden (BLUMAUER, 2011a, 77).

2.2.2 Begründung einer Anlage zur Feldholzproduktion

2.2.2.1 Bodenvorbereitung

Ziele der Bodenvorbereitung sind neben einer einfacher werdenden Bepflanzung und allgemein guten Startbedingungen für das Pflanzmaterial (Unkrautdruck gering etc.) (SCHILDBACH, 2010) das Erreichen hoher Anwuchs- und Aufwuchsraten (LIEBHARD, 2010a) (SCHILDBACH et al., 2010, 67; LIEBHARD, 2010a, 35). Insbesondere die intensive Wurzelatmung der Pappel verlangt einen lockeren, gut durchlüfteten Durchwurzelungsbereich (LIEBHARD, 2010a, 36).

SCHILDBACH et al. (2009; 2010) gliedern die Bodenvorbereitung in vier Intensitätsstufen. Das gängigste Verfahren ist eine vollflächige Bodenbearbeitung. Eine weniger intensive Möglichkeit stellt das Fräsen lediglich schmaler

Pflanzstreifen dar. Es können auch Pflanzmaschinen eingesetzt werden, welche in einem Arbeitsgang Fräsen und das Pflanzgut einbringen. Die vierte Möglichkeit ist das Pflanzen von Pflanzgut (Setzstangen) ohne Bodenbearbeitung (SCHILDBACH et al., 2009, 67; SCHILDBACH et al., 2010, 67-68). Die Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Bearbeitungszeitpunkte richten sich grundsätzlich nach der Vorkultur und den bodenstandörtlichen Gegebenheiten (SCHOLZ, 2006, 293; HOFMANN, 2007, 189).

Bei einer **vollflächigen Bodenvorbereitung** soll im Herbst vor der Anlage eine tiefe Bodenbearbeitung mittels Pflug bis auf 30 cm erfolgen (LIEBHARD, 2010a, 35; SCHILDBACH et al., 2010, 67). Ergänzend empfehlen SCHOLZ (2006) und HOFMANN (2007) für mittlere bis leichte Böden lediglich eine Frühjahrsfurche. Für schwere bzw. bindige Böden sowie Grünland- und Brachflächen bedarf es jedenfalls einer Herbstfurche bis 30 cm. Von einer pfluglosen Bodenvorbereitung ist im Allgemeinen abzuraten (SCHOLZ, 2006, 293; HOFMANN, 2007, 189-190).

Auf Flächen mit starker Begleitvegetation kann der Einsatz von Totalherbiziden vor der Herbstfurche notwendig sein (HOFMANN, 2007, 189-190; SCHOLZ, 2006, 293; SCHILDBACH et al., 2009, 67; SCHILDBACH et al., 2010, 67).

Im Frühjahr findet die Pflanzbettbereitung statt. Die gepflügte Ackerkrume wird mittels einer Grubber-Eggen-Kombination, bzw. nur Feingrubber oder nur Egge, eingeebnet und feinkrümelig gestaltet (SCHOLZ, 2006, 293; SCHILDBACH et al., 2010, 67; SCHILDBACH et al., 2009, 67; HOFMANN, 2006, 190). LIEBHARD (2010a) schlägt für Ackerstandorte nach der Herbstfurche und einer anschließenden groben Einebnung den Anbau einer tiefwurzelnden, abfrostenden oder nicht abfrostenden Zwischenfrucht zur Stabilisierung des Bodengefüges vor. Im Frühjahr erfolgt nach der Entfernung der Pflanzendecke (chemisch, mechanisch) unmittelbar vor dem Ausbringen des Pflanzmaterials (Stecklinge) eine Pflanzbettbearbeitung mittels Grubber-Eggen-Kombination oder Kreiselegge zur Feinkrümelung und Lockerung des Bodens bis 22 cm Tiefe (LIEBHARD, 2010a, 36).

Das Applizieren eines Voraufmittels direkt nach dem Ausbringen des Pflanzmaterials kann den Begleitwuchs bis zu 6 Wochen unterdrücken. In diesen Zeitraum sind keine Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu empfehlen, da sonst die Wirkung des Vorlaufherbizids reduziert wird (SCHILDBACH et al., 2010, 67). Bodenverdichtungen wegen unsachgemäßer Bodenbearbeitung sind grundsätzlich zu vermeiden. Diese wirken sich nachteilig auf den Kulturerfolg aus (HOFMANN, 2007, 190; LIEBHARD, 2010a, 36).

Die **Bodenvorbereitung**, bei der im Herbst lediglich ein **Pflanzstreifen gefräst** wird, eignet sich für die manuelle Pflanzung, da sich das Pflanzmaterial durch die starke Bodenauflockerung relativ einfach und schnell in den Boden einbringen lässt (SCHILDBACH et al., 2010, 68). Vor der Auspflanzung der Stekhölzer und Stekruten ist eine Bodenlockerung und Krümelung im Frühjahr mittels Grubber-Eggen-Kombination bzw. Kreiselegge analog zur vollflächigen Bearbeitung

durchzuführen (LIBHARD, 2010a, 36). Auf Hangflächen kann eine Streifenbearbeitung mit der Fräse vorteilhaft sein, um das Erosionsrisiko zu vermindern (BLUMAUER, 2011a, 68).

Bei Grünland- und Stilllegungsflächen ist analog zu Ackerstandorten ein Umbruch (Herbstfurche bis 30 cm) und Einebnen im Herbst notwendig. Im Vergleich zu Ackerflächen sollte die Grasnarbe bereits vor der Herbstfurche mit einer langsam rotierenden Fräse zerkleinert werden. Wie auf Ackerstandorten kann, in Abhängigkeit der Pflanztechnik bzw. Pflanzmaschine, die volle Fläche oder nur Pflanzstreifen bearbeitet werden (LIEBHARD, 2010a, 36).

Die Ergebnisse eine Studie aus Deutschland, deren Ziel es war, Handlungsempfehlungen für die Anlage und Pflege von Energie-Feldholz-Anlagen zu geben, zeigten, dass das Aufkommen der Konkurrenzvegetation stärker von der Flächenvorbereitung als von der Begleitwuchsregulierung beeinflusst wurde. Anwuchs- und Zuwachsraten waren auf der flächig gepflügten Ackerfläche signifikant höher, unabhängig von der Begleitwuchsregulation. Bei der Kulturgründung mit Pflanzstreifen auf Grünland waren hohe Ausfälle der Pappelstecklinge zu verzeichnen, da die Pflanzstreifen relativ rasch wieder zuwuchsen. Zusammenfassend konnte dargestellt werden, dass der Konkurrenzdruck der natürlichen Begleitvegetation umso niedriger- und parallel dazu die Überlebensrate und Höhenzuwächse der Pappelhybriden im ersten Jahr nach der Pflanzung umso höher waren, je intensiver der Eingriff in das Bodengefüge war (STOLL, 2011, 119).

Eine intensive mechanische Bodenbearbeitung hat aus ökologischer und ökonomischer Sicht die Nachteile einer erhöhten Mineralisation und einem damit verbundenen Nitrataustrag. Die Bodenbearbeitung steigerte den Nitrataustrag in dieser Studie mit dem Sickerwasser schlagartig, welcher im Zuge der anhaltenden Bodenruhe der Anlage jedoch wieder absank und im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen in Folge konstant niedrig blieb (STOLL, 2011, 119-120).

2.2.2.2 Erntezyklen

Die optimale Umtriebszeit ist an die Standortverhältnisse, die in Frage kommende Erntetechnik, die Sorte (Klon) und die Nutzungsart des Erntegutes gebunden. Die Anzahl der aufeinander folgenden Vegetationsjahre beeinflusst die Ertragsleistung und damit verbunden den Energiegehalt. Zudem ändert sich das Mengenverhältnis von Holz, Rinde, Wassergehalt und dünnen Trieben. Nach ZEITLHOFER et al. in LIEBHARD et al. (2011) führt bei Pappel eine Verlängerung der Umtriebszeit zu einer auf jedes Wuchsjahr bezogenen Ertagserhöhung (LIEBHARD et al., 2011, 39). Die Regeneration der erhältlichen Baumarten und Klone ist nach der Ernte bei vollkommener Vegetationsruhe vom zweiten bis zum vierten Aufwuchs meist nahezu vollständig. GEROLT et al. (2009) sprechen an, dass der Wiederaustrieb aus den Wurzeln nach der Ernte im Allgemeinen bis zu (6) 7 mal vital und kräftig erfolgt (GEROLD et al., 2009, 75-76). Jedoch steigt mit zunehmender Nutzungsdauer die

Anfälligkeit für Krankheiten (Stockfäule). Kurze Umtriebszeiten liefern die nötige Holz- bzw. Hackschnitzelqualität, welche für eine energetische Nutzung des Erntegutes gefordert wird. Von Industrieholz für die stoffliche Nutzung werden meist Stammdurchmesser von über 8 cm (5 bis 12) gefordert. Bei Umtriebszeiten von mehr als 5 Jahren werden derartige Erntegutkriterien erfüllt (LIEBHARD, 2010a, 62-64).

Die Produktion von Holzsortimenten, die für eine stoffliche Verwertung und Verarbeitung geeignet sind, ist im Wesentlichen geprägt durch längere Umtriebszeiten, verbunden mit einem angepassten lockeren Pflanzverband bzw. mit einer adäquaten, geringen Pflanzdichte. Bei einer ausschließlich stofflichen Verwertung des Erntegutes spricht LIEBHARD (2010a) von mindestens 10 Jahren, KNUST (2009) von 10 bis 15 Jahren Umtriebszeit (LIEBHARD, 2010a, 14-16; KNUST, 2009, 5). GEROLD et al. (2009) sprechen von einer Holzernte nach 10 bis 20 Jahren bei einer stofflichen Nutzung des Erntegutes (GEROLD et al., 2009, 74). Der langen Umtriebszeit entsprechend werden relativ weite Pflanzverbände (z. B. 3 m*3 m) gewählt. Dadurch ergibt sich eine relativ geringe Pflanzdichte. In den Kapiteln „Pflanzdichte“ und „Pflanzverband“ sind mögliche Kombinationen von Umtriebszeit, Pflanzdichte und Pflanzenverband für Pappel-Anlagen in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie ausführlich beschrieben. Zur Orientierung ist eine mögliche Pflanzdichte von 1000 bis 2000 Pflanzen/ ha für normale Ackerböden zu nennen (GEROLD et al., 2009, 74). Bei geringer Pflanzdichte ist die Notwendigkeit einer hohen Anwuchsrates aufgrund der geringen Standraumkompensation der Nachbarpflanzen hervorzuheben. Um den Pflegeaufwand während der Etablierungsphase möglichst gering zu halten empfehlen GEROLD et al. (2009) Setzruten bzw. Setzstangen anstatt Steckhölzer einzusetzen. Diese Maßnahme resultiert in einem Größenvorteil des Pflanzmaterials zur Begleitvegetation. Die Ernte erfolgt mit forstlichen Erntemaschinen. Nach der Ernte ist eine Wertholzastung d.h. ein Vereinzeln der Schösslinge durchzuführen um den Dimensionszuwachs auf die stärksten Triebe zu beschränken (GEROLD et al., 2009, 74-75).

Ökonomische Nachteile einer Nutzungsstrategie zur stofflichen Verwertung des Erntegutes sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, eine relativ lange Kapitalbindung (im Vergleich zu annuellen Kulturen) und eine im Vergleich zur Biomasseproduktion für die energetische Nutzung geringere Biomasseleistung/ (ha a) aufgrund des späteren Bestandschlusses. Ökonomische Vorteile einer Nutzungsstrategie zur stofflichen Verwertung des Erntegutes sind die relativ niedrigen Anlagekosten aufgrund der relativ geringen Pflanzdichte und das Vorhandensein preiswerter und bewährter Holzerntetechnik und -logistik (GEROLD et al., 2009, 74-75).

Ein ökologischer Vorteil ist, bedingt durch die relativ lange Umtriebszeit, eine längere, nachhaltige und klimarelevante CO₂-Fixierung in der Pflanze und im Boden (ZIEGLER et al., 2010, 269). Weitere ökologische Vorteile bei zunehmender Umtriebszeit sind eine lange Bodenruhe, die sich positiv auf die Bodenfruchtbarkeit

auswirkt, da die Erosionsneigung verringert wird, eine minimale mechanische Belastung des Bodens, die Akkumulation organischer Substanz welche bodenbewohnende Lebewesen fördert und die Schutzmöglichkeit für Wildtiere bzw. Brutmöglichkeiten für Vögel aufgrund der späten und in großen Abständen stattfindenden Ernte(n) (KALTSCHMITT et al., 2009, 92).

Die Produktion von Holzsortimenten, welche überwiegend für eine energetische Verwertung geeignet sind, ist im Wesentlichen geprägt durch kürzere Umtriebszeiten verbunden mit einem angepassten kompakten Pflanzverband bzw. mit einer adäquaten, hohen bis sehr hohen Pflanzdichte. GEROLT et al. (2009) sprechen bei einer derartigen Nutzungsstrategie von Umtriebszeiten zwischen 2 bis 5 Jahren, wobei der Erntzeitpunkt anhand der Bestandssituation festgelegt werden sollte. Je nach (Baumart und) verfügbarer Erntetechnik werden Einzel- oder Doppelreihen angepflanzt. Die optimale Pflanzdichte muss im jeweiligen Einzelfall ermittelt werden. Diese beträgt nach GEROLD et al. (2009) jedoch mindestens 8.000 Pfl./ ha. Bei kürzeren Umtriebszeiten oder schlechteren Standorten kann die Pflanzdichte erhöht werden, sodass ein angepasster früher Bestandsschluss erreicht werden kann. Die Ernte erfolgt bei entsprechendem Standort (Inklination) und Pflanzverband, überwiegend durch Vollerntemaschinen (GEROLD et al., 2009, 75-76).

Ökonomische Vorteile einer kurzen Umtriebszeit und einer damit verbundenen hohen Pflanzdichte sind eine hohe Biomasseleistung pro Flächeneinheit und Zeit und damit einhergehend ein relativ früher Kapitalrückfluss. Zudem sind klassische Qualitätsmerkmale wie Geradschaftigkeit, Feinastigkeit etc. bei der Hackschnitzelproduktion nahezu unbedeutend. So richtet sich die Wahl der entsprechenden Klone primär nach einer möglichst hohen Biomassezuwachsleistung/ (ha a) (GEROLD et al., 2009, 75-76). Bei kurzen Umtriebszeiten verlieren zudem einzelne biotische und abiotische Schadursachen an Relevanz, was sich in einem geringen Pflanzenschutz- und Arbeitszeitaufwand niederschlagen kann (HELBIG u. MÜLLER, 2009, 83). In Tab. 2.2-1 sind mögliche Umtriebszeiten zusammengefasst dargestellt.

Wie bereits erwähnt, sind in den Kapiteln „Pflanzdichte“ und „Pflanzverband“ mögliche Kombinationen von Umtriebszeit, Pflanzdichte und Pflanzenverband für Pappel-Anlagen in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie ausführlich beschrieben.

Tabelle 2.2-1 Umtriebszeiten (Modifiziert übernommen aus:
http://bfw.ac.at/050/pdf/Folien_Nebenfuehr.pdf, LIEBHARD, 2010a, 64; KALTENSCHMITT et al., 2009, 91)

Literaturquelle:	MINI-Rotation	MIDI-Rotation	MAXI-Rotation
	3 bis 4 Rotationen	2 bis 3 Rotationen	1 (bis 2) Rotationen
NEBENFÜHR, s.a., 5	2 bis 3 Jahre	4 bis 6 (10) Jahre	Über 10 Jahre
LIEBHARD, 2010a, 64	2 (1) bis 4 Jahre	4 bis 7 (10) Jahre	7 bis 15 (20) Jahre
KALTSCHMITT et al., 2009, 90-91	3 (2) bis 4 (3) Jahre	5 (3) bis 6 (5) Jahre	8 bis 10 Jahre

2.2.2.3 Pflanzdichte

Angaben über optimale Pflanzdichten stellen lediglich Orientierungswerte dar. Die Pflanzenzahl/ ha variiert in Abhängigkeit vom (Baumart) Standort und der Umtriebszeit (SCHILDBACH et al., 2009, 65-66). Zu berücksichtigen ist ferner die klonspezifische Anwuchs- und Aufwuchsleistung auf dem jeweiligen Standort, sofern dafür Daten vorliegen und ein evtl. zu kalkulierendes Ausfallrisiko (SCHILDBACH et al., 2010, 68-69). LIEBHARD (2010a) erklärt, dass eine genaue Angabe bezüglich der erforderlichen Pflanzen (Stecklingen)/ ha selbst dann nicht möglich ist, wenn die Baumart und der Pflanzverband vorgegeben sind, weil die tatsächliche Anzahl an Pflanzreihen einerseits von der Feldform bzw. Feldbreite und andererseits von den einzuhaltenden Mindestabständen zu den Nachbargrundstücken und einzuplanenden Wende- Ab- und Aufladeflächen, bestimmt werden (LIEBHARD, 2010a, 40-41).

Für die Bestandsgründung von Kurzumtrieb-Anlagen zur Hackgut- und Holzproduktion sind in der Praxis aus arbeitswirtschaftlichen Gründen hauptsächlich Stekhölzer (bewurzelt oder unbewurzelt), ferner auch Setzruten, Setzstangen und selten auch mehrjährig verschulte Großpflanzen (Überschwemmungsgebiete) relevant (LIEBHARD, 2010a, 32-33; SCHOLZ, 2006, 294). In Folge ist, wenn nichts anderes erwähnt, bei Pflanzmaterial hauptsächlich von Stecklingen die Rede. In Tab. 2.2-2 sind mögliche Pflanzzahlen nach LIEBHARD (2010a) angeführt.

LIEBHARD (2010a) sieht nötige Pflanzenzahlen/ ha je nach Pflanzabstand für die Hackgut- und Holzproduktion im Kurzumtrieb zwischen 4.000 bis manchmal 18.000 (Weide) Stecklinge/ ha vor. Für Pflanzverbände unter 6.000 Stekhölzer/ ha zieht er den Einsatz von Setzpflanzen, Steckruten oder Setzstangen zumindest für spezielle Klone in Betracht (LIEBHARD, 2010a, 41). HOFMANN (2007) empfiehlt in Abhängigkeit von der Rotationszeit bzw. dem angestrebten Erntegut (Hackschnitzel, Stammholz) bei einem 2 bis 4-jährigen Ernteturnus beim Anbau von Pappelhybriden 10.000 bis 13.000 Pflanzen/ ha, bei einem 10 bis 20-jährigen Ernteturnus Auspflanzungszahlen von unter 1.000 Pflanzen/ ha (HOFMANN, 2007, 188-189). Als Richtlinie für die energetische Nutzung nennen SCHILDBACH et al. (2010) Pflanzenzahlen von wenigstens 8.000/ ha für Pappel. Für eine stoffliche Nutzung erwägen sie Pflanzenzahlen zwischen 1.000 bis 2.000/ ha. Sie merken an, dass bei einer Umtriebszeit von mehr als zehn Jahren die Anzahl an Pflanzen noch weiter verringert werden kann (SCHILDBACH et al., 2010, 69). KALTSCMITT et al. (2009) sprechen von einer möglichen Pflanzdichte für Pappel von 18.000 bis 12.000 Pflanzen/ ha bei einer Umtriebszeit von 2 bis 3 Jahren (MINI-Rotation). Dabei sind Stammdurchmesser von 3 bis 7 cm zu erwarten. Für eine 3 bis 5 jährige Umtriebszeit (MIDI-Rotation) werden 11.100 bis 8.300 Pflanzen/ ha vorgesehen. Der zu erwartende Stammdurchmesser liegt zwischen 3 bis 8 (12) cm. Bei einer Umtriebszeit von über 8 Jahren (MIDI-MAXI-Rotation) nennen KALTSCMITT et al. (2009) 2.100 bis 3.300 Pflanzen/ ha. Dabei sind Stammdurchmesser von über 12 cm zu erreichen (KALTSCMITT et al., 2009, 90).

Tabelle 2.2-2 Pappel- Steckholzanzahl in Abhängigkeit von Umtriebszeit und Pflanzverband (Modifiziert übernommen aus LIEBHARD, 2010a, 43)

Rotationsdauer (Jahre)	Pflanzenverband				Stück / ha
	Fahrgasse	Pflanzreihe		Pflanzabstand in der Reihe	
		Einzelreihe	Doppelreihe ¹		
2 (1 bis 2)	2,50		+	0,50	12.600 (12.400)
			+	0,75	8.500 (8.308)
3 (3 bis 4)	2,50	+		0,50	8.100 (8000)
		+		0,75	5.500 (5.360)
	3,00	+		0,50	6.700 (6.600)
		+		0,75	4.600 (4.422)
5 (4 bis 6)	2,50	+		0,50	8.100 (8.000)
		+		0,75	5.500 (5.360)
	3,00	+		0,50	6.700 (6.600)
		+		0,75	4.600 (4.422)
		+		1,00	3.400 (3.300)
10 (8 bis 15)	2,50	+		0,75	8.100 (8.000)
		+		1,50	5.500 (5.360)
		+		2,50	1.700 (1.600)
	3,00	+		0,75	4.600 (4.422)
		+		1,50	2.300 (2.211)
		+		3,00	1.200 (1.122)

¹Doppelreihenabstand: 0,75 m

2.2.2.4 Pflanzverband

Der Pflanzverband, die Anlageart oder Anlageform, ist sehr von der Pflanzdichte und der Umtriebszeit und daher auch von den Standortverhältnissen, dem Produktionsziel und der zu erwartenden Erntetechnik bzw. dem Ernteverfahren abhängig. Wesentliche strukturelle Elemente des Pflanzverbandes sind die Einzel- und die Doppelreihe, die Fahrgasse, der Reihenabstand in der Doppelreihe und der Pflanzabstand in der Reihe (LIEBHARD 2010a, 40.) Zu empfehlen ist eine den Pflanzverband betreffende blockweise Klon- (bzw. Pflanzmaterial) Mischung, um das Betriebsrisiko zu vermindern. So können bei einem möglichen Totalausfall einzelner Klone die betroffenen Blöcke geerntet und durch andere Klone ersetzt werden. In diesem Zusammenhang ist eine genaue Planung von entsprechend dimensionierten Fahrgassen, Wendepätzen sowie Auf- und Abladeflächen bzw. Zu- und Abfahrtswegen von grundlegender Bedeutung (SCHILDBACH et al., 2010, 67).

Grundsätzlich ist eine gleichmäßige Verteilung von Einzelpflanzen anzustreben, was zu einer optimalen Ausnutzung der Ressourcen (Wasser, Nährstoffe, Licht) führt. Minimale Abweichungen wirken sich jedoch nur marginal aus (SCHILDBACH et al., 2010,69). Eine zu dichte Bepflanzung bzw. zu geringe Abstände zwischen den Einzelpflanzen führen aber nach LIEBHARD (2010a) zu einer natürlichen Selbstausdünnung (LIEBHARD, 2010a, 41). Bei (größeren) Lücken oder Fehlstellen erreichen einzelne Baumstämme wiederum deutlich höhere Durchmesser, mit der Folge, dass unter Umständen bei der Ernte mit dem Feldhäcksler ein Jahr früher geerntet werden muss, was zu steigenden Erntekosten/ t TM und zu einer insgesamt geringeren Biomasse führt, wenn das Entfernen einzelner zu starker Stämme nicht möglich (wirtschaftlich) ist (BLUMAUER, 2011a, 68).

Generell eignet sich für alle Baumarten und bei mittellanger bis langer Umtriebszeit sowie für Klone mit extremer Leistungsfähigkeit in den ersten drei Vegetationsjahren der **Einzelreihen-Pflanzverband** (LIEBHARD, 2010a, 40). Der mögliche Reihenabstand bzw. Fahrgassenabstand für Pappel liegt zwischen 2,5 und 3 m. Der Pflanzabstand in der Reihe variiert dabei von 0,5 bis (2) 3 m (LIEBHARD, 2010a, 43). Begründen lassen sich die relativ großen Abstände zwischen den Reihen (Fahrgassen) nach DEIM (2011) durch eine bessere Mechanisierbarkeit. Eingesetzte Traktoren mit Gesamtbreiten von bis zu (2,2 m) 2,55 m benötigen für eine problemlose Anlage, Bestandspflege (BB, PS-Maßnahmen) und Ernte Reihenabstände von 3 m, damit Beschädigungen an Ganzpflanzen und Wurzelstöcken ausgeschlossen werden können. Der Abstand in der Reihe ist an die Umtriebszeit und die damit verbundene Nutzung des Erntegutes gekoppelt. Bei einer Mini-Rotation (2-3 Jahre) zur Produktion von Hackschnitzel für die energetisch-thermische-Verwertung eignen sich Pflanzabstände von 0,5 m. Bei Umtriebszeiten von bis zu 15 Jahren (Midi- bis Maxi-Rotation) sind Pflanzabstände von bis zu (2) 3 m einzuhalten (DEIM, 2011, 49-50; LIEBHARD, 2010a, 43).

BLUMAUER (2011a) empfiehlt bei einer Umtriebszeit von 2 bis 4 Jahren (Mini-Rotation) den Einzelreihen-Verband (Pappel) mit 3 m Fahrgassenabstand und einem Pflanzabstand von 0,50 m bis 0,75 m, was 5.800 bis 6.600 Stecklinge/ ha ergibt (BLUMAUER, 2011a, 68) (siehe Tab. 2.2-3).

Tabelle 2.2-3 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach BLUMAUER (2011a, 68) für Pappel:

Pflanzverband	Einreihen-Pflanzverband
Umtriebszeit (in Jahren)	2 bis 4
Fahrgassenabstand (in m)	3
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,50 bis 0,75
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	-
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	6.600 bis 5.800
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	k. A.
Erntetechnik	k. A.
Nutzung	k. A.

SCHOLZ (2006) beschreibt einen möglichen Einreihen-Pflanzverband bei 1- bis 3-jähriger Umtriebszeit (Mini-Rotation) mit Pflanzabständen in der Reihe von 0,5 bis 1,0 m und einem Reihenabstand von 0,9 m, was 11.111 bis 22.222 Pflanzen/ ha ergibt, die mit einem Anbau-Mähacker geerntet werden sollen (Tab. 2.2-4) (SCHOLZ, 2006, 294).

Tabelle 2.2-4 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2006, 294) für Pappel:

Pflanzverband	Einreihen-Pflanzverband
Umtriebszeit (in Jahren)	1 bis 3
Fahrgassenabstand (in m)	0,9
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,5 bis 1,0
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	-
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	22.222 bis 11.111
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	k. A.
Erntetechnik	Anbau-Mähacker
Nutzung	k. A.

Für eine 3- bis 5-jährige Umtriebszeit (Midi-Rotation) für Pappel nennt er einen möglichen Einreihen-Pflanzverband mit 1,50 m bis 2,0 m Fahrgasse und 0.5 m bis 1,0 m Pflanzabstand in der Reihe, was 5.000 bis 13.334 Individuen/ ha ergibt. Für die Ernte vorgesehen ist ein Anbau-Mähacker oder Feldhäcksler-Schneidewerk (Durchmesser < 7 cm) (siehe Tab. 2.2-5) (SCHOLZ, 2006, 294).

Tabelle 2.2-5 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2006, 294) für Pappel:

Pflanzverband	Einreihen-Pflanzverband
Umtriebszeit (in Jahren)	3 bis 5
Fahrgassenabstand (in m)	1,5 bis 2,0
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,5 bis 1,0
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	-
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	13.334 bis 5.000
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	k. A.
Erntetechnik	Anbau-Mähacker
Nutzung	k. a

Für Umtriebszeiten von 5 bis 10 Jahren bzw. über zehn Jahre (Maxi-Rotation) beziffert SCHOLZ (2006) zwei mögliche Einreihen-Pflanzverbände mit einerseits 1,5 m bis 2,0 m Reihenabstand und 1,0 bis 2,0 m Pflanzenabstand in der Reihe, was 2.500 bis 6.667 Pflanzen/ ha ergibt und mittels Fällbündler geerntet werden soll, andererseits einen Einzelreihenabstand von mindestens 3 m mit einem Pflanzenabstand in der Reihe von mindestens 2,0 m, was maximal 1.667 Pflanzen/ ha ergibt und mittels Fällbündler oder motormanuell geerntet werden kann (siehe Tab. 2.2-6) (SCHOLZ, 2006, 294).

Tabelle 2.2-6 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2009, 294) für Pappel:

Pflanzverband	Einreihen-Pflanzverband	
Umtriebszeit (in Jahren)	5 bis 10 (>10)	
Fahrgassenabstand (in m)	1,5 bis 2,0	3,0
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	1,0 bis 2,0	2,0
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	-	-
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	6.667 bis 2.500	max. 1.667
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	k. A.	k. A.
Erntetechnik	Fällbündler	Fällbündler (motormanuell)
Nutzung	k. A.	k. A.

Vergleichbar mit LIEBHARD (2010a) sprechen SCHILDBACH et al. (2010) bei einem Einreihen-Pflanzverband mit einer zehnjährigen Umtriebszeit (Midi-Maxi-Rotation) auf einem mittleren bis guten Standort von einem 3 m * 2 m bzw. 3 m * 3 m Pflanzverband. Darüber hinaus raten SCHILDBACH et al. (2010) bei längeren Umtriebszeiten und/ oder sehr guten Standorten zu größeren Pflanzabständen (3 m*4 m oder auch 4 m* 5 m) (SCHILDBACH et al., 2010, 69). Zudem geben sie zu bedenken, dass beim Einzelreihenverband der Reihenabstand größer als die halbe Spurbreite der Erntemaschine sein muss.

KALTSCHMITT et al. (2009) nennen als mögliche Abstände für den Einreihen-Pflanzverband (Steckholz) für eine MIDI-Rotation bei einer Umtriebszeit von 3 bis 5 Jahren einen Reihenabstand von 1,8 bis 2,0 m. Der Abstand in der Reihe beträgt hierbei 0,5 bis 0,6 m. Das ergibt zwischen 11.100 bis 8.300 Pflanzen/ ha mit einem zu erwartenden Stammdurchmesser von 3 cm bis 8 cm (max. 12 cm). Die Ernte erfolgt dabei mit einem Mäh Hacker (siehe Tab. 2.2-7). Für eine MAXI-Rotation mit einer Umtriebszeit von über 8 Jahren im Einreihen-Pflanzverband schlagen KALTSCHMITT et al. (2009) einen Reihenabstand von 3,0 bis 3,2 m vor. Der Abstand in der Reihe liegt dabei zwischen 1,0 m und 1,5 m. Das ergibt zwischen 3.300 bis 2.100 Pflanzen/ ha mit einem zu erwartenden Stammdurchmesser von über 12 cm. Die Ernte erfolgt mit konventioneller Forsttechnik (Harvester, motormanuell) (siehe Tab. 2.2-7) (KALTSCHMITT et al., 2009, 90).

Tabelle 2.2-7 Mögliche Einreihen-Pflanzverbände nach KALTSCHMITT et al. (2009, 90) für Pappel:

Pflanzverband	Einreihen-Pflanzverband	
Umtriebszeit (in Jahren)	3 bis 5	>8
Fahrgassenabstand (in m)	1,8 bis 2,0	3,0 bis 3,2
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,5 bis 0,6	1,0 bis 1,5
Abstand zwischen den Reihen (in m)	-	-
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	11.100 bis 8.300	3.300 bis 2.100
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	3 bis 8 (max. 12)	>12
Erntetechnik	Mäh Hacker	Harvester motormanuell
Nutzung	k. A.	k. A.

Bei sehr kurzen Umtriebszeiten empfiehlt LIEBHARD (2010a) das Pflanzen in **Doppelreihen** (LIEBHARD, 2010a, 40). LANDGRAF u. SETZER hingegen ziehen einen Doppelreihenpflanzverband, wenn überhaupt, nur für Weiden in Betracht (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 14). Der mögliche Fahrgassenabstand zwischen den Doppelreihen misst dabei zwischen 1,5 bis (2,5) 3 m. Der Abstand in der Doppelreihe misst für Pappelanlagen zwischen 0,5 bis (0,75) 1,00 m. Der Pflanzabstand beläuft sich dabei auf 0,5 bis 0,75 (1,00) m, jedoch maximal 2 m bei versetzter Pflanzung (Tab. 2.2-2) (LIEBHARD, 2010a, 43). Ein Vorteil der Doppelreihe gegenüber der Einzelreihe ist die größere Pflanzdichte je Flächeneinheit bei vergleichbarer Bearbeitbarkeit der Fahrgasse. Gleichzeitig wird die mechanische Bearbeitbarkeit des Abstandes in den Doppelreihen erschwert. Die Doppelreihen sollten möglichst versetzt angelegt werden, um das Licht- Wasser- und Nährstoffangebot für die Einzelpflanze, durch einen möglichst großen Standraum zu optimieren (DEIM, 2011, 51).

Vergleichbar mit LIEBHARD (2010a) erwähnen SCHILDBACH et al. (2010) für einen möglichen Doppelreihen-Pflanzverband einen Reihenabstand zwischen den Doppelreihen von 0,75 m und einen Fahrgassenabstand von 1,6 m (bis 2,5 m). In Abhängigkeit von der gewünschten Pflanzdichte (10.000/ ha) ergibt das einen Pflanzabstand in der Reihe von 0,85 m (siehe Tab. 2.2-8) (Mini-Rotation) (SCHILDBACH et al., 2010, 70).

Tabelle 2.2-8 Möglicher Doppelreihen-Pflanzverband nach SCHILDBACH et al. (2010, 70) für Pappel:

Pflanzverband	Doppelreihen-Pflanzverband
Umtriebszeit (in Jahren)	k. A.
Fahrgassenabstand (in m)	1,6 (bis 2,5)
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,85
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	0,75
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	10.000
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	k. A.
Erntetechnik	k. A.
Nutzung	k. A.

SCHOLZ (2006) empfiehlt in diesem Zusammenhang für einen Pappel-Doppelreihen-Pflanzverband im 1- bis 3-jährigen Umtrieb (Mini-Rotation) Pflanzabstände zwischen der Doppelreihe von 0,75 m, Fahrgassenabstände zwischen 1,50 m und 2,0 m und einen Pflanzabstand in der Reihe von 0,5 bis 1,0 m, was 7.273 bis 17.778 Pflanzen/ ha ergibt und mit einem Feldhäcksler-Schneidewerk (Durchmesse < 7 cm) oder unzweckmäßiger mit einem Anbau-Mähacker bzw. Mähbündler geerntet werden kann (siehe Tab. 2.2-9). Für eine 3- bis 5-jährige Umtriebszeit (Midi-Rotation) für Pappel nennt er einen möglichen Doppelreihen-Pflanzverband von 0,75 m Reihenabstand in der Doppelreihe, einem Fahrgassenabstand von 1,5 m bis 2,0 m und einem Pflanzabstand in der Reihe von

0,5 bis 1,0 m. Für die Ernte vorgesehen ist ein Feldhäcksler-Schneidewerk (< 7 cm) oder ein Anbau-Mäh Hacker (siehe Tab. 2.2-9) (SCHOLZ, 2006, 294).

Tabelle 2.2-9 Möglicher Doppelreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2006, 294) für Pappel:

Pflanzverband	Doppelreihen-Pflanzverband	
Umtriebszeit (in Jahren)	1 bis 3	3 bis 5
Fahrgassenabstand (in m)	1,5 bis 2,0	1,5 bis 2,0
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,5 bis 1,0	0,5 bis 1,0
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	0,75	0,75
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	17.778 bis 7.273	17.778 bis 7.273
Zu erwartender D ₁₀ (in cm)	k. A.	k. A.
Erntetechnik	Feldhäcksler (Mäh Hacker-od. Bündler)	Feldhäcksler od Mäh Hacker
Nutzung	k. A.	k. A.

KALTSCHMITT et al. (2009) sprechen von einem möglichen Doppelreihen-Pflanzverband (Steckholz) mit einer Umtriebszeit von 2 bis 3 Jahren (MINI-Rotation) und einem Fahrgassenabstand von 1,50 m. Der Abstand zwischen den Doppelreihen beträgt 0,75 m. Der Pflanzabstand in der Reihe 0,50 bis 0,75 m. Das ergibt 18.000 bis 12.000 Pflanzen/ ha mit einem zu erwartenden Stammdurchmesser von 3 bis 7 cm. Die Ernte erfolgt mit einem Vollernter (siehe Tab. 2.2-10) (KALTSCHMITT et al., 2009, 90).

Tabelle 2.2-10 Möglicher Doppelreihen-Pflanzverband nach KALTSCHMITT et al. (2009, 90) für Pappel:

Pflanzverband	Doppelreihen-Pflanzverband
Umtriebszeit (in Jahren)	2 bis 3
Fahrgassenabstand (in m)	1,50
Pflanzabstand in der Reihe (in m)	0,50 bis 0,75
Abstand zwischen den Doppelreihen (in m)	0,75
Pflanzdichte (Anzahl Pflanzen/ ha)	12.000 bis 18.000
Zu erwartender d ₁₀ (in cm)	3 bis 7
Erntetechnik	Vollernter
Nutzung	k. A.

Bei einer ausschließlich stofflichen Verwertung des Erntegutes oder schwer zugänglichen Flächen erfolgt die Ernte üblicherweise mit Harvestern und/ oder auf kleinen Flächen motormanuell. Beide Ernteverfahren benötigen keinen besonderen Pflanzenverband (SCHILDBACH et al., 2010, 69).

2.2.2.5 Auspflanzen

Die Auspflanzung erfolgt in Abhängigkeit von Standort und Witterungsbedingungen baldmöglichst im Frühjahr, zwischen (Mitte) März bis spätestens (Mitte/ Ende April) Mitte Mai (LIEBHARD, 2010a, 38; SCHILDBACH et al., 2009, 67; SCHILDBACH et al., 2010, 68; SCHOLZ, 2006, 294; SCHWEINBERGER, 2011, 35; BLUMAUER, 2011a, 68). Nach SCHOLZ (2006) ist eine Bodentemperatur von über 5 °C für den Pflanztermin ausschlaggebend (SCHOLZ, 2006, 294). In diesem Zusammenhang sprechen PETZOLD et al. (2010) von einer günstig zu bewertenden, nötigen raschen Erwärmung des Bodens, da die Wurzelentwicklung bei Schwarzpappel erst ab + 10 °C Bodentemperatur beginnt und nach LYR (1996) und Zalesny et al. (2005) in PETZOLD et al. (2010) ein überdurchschnittliches Wurzelwachstum vieler Schwarz- und Balsampappelhybride erst ab + 14 °C Bodentemperatur zu verzeichnen ist (PETZOLD et al., 2010, 46). Das Pflanzmaterial schlägt nach dem Auspflanzen nach ca. zwei bis vier Wochen aus. Anschließend folgt eine Phase des relativ schnellen Wachstums von bis zu 10 cm Höhe, die aus vorhandenen Nährstoffvorräten des Pflanzmaterials (Stecklings) hervorgeht. Erst im Anschluss daran entwickeln sich die Wurzeln in bedeutendem Maß, was insbesondere bei Pappeln mit einem stockenden Höhenwachstum verbunden ist (SCHOLZ, 2006, 295). Im zeitigen Frühjahr kann von den eingebrachten Pflanzen, bei bereits frostfreiem Wetter, die winterliche Bodenfeuchte genutzt und so eine mögliche Frühjahrestrockenheit besser überstanden werden. Von einem frühen Ausbringen profitieren die Pflanzen auch durch das Ausschöpfen der gesamten ersten und bedeutenden Vegetationsperiode. Gleichzeitig sind die zeitigen jungen Triebe konkurrenzfähiger gegenüber der Begleitvegetation (SCHILDBACH et al., 2010, 68; SCHILDBACH et al., 2009, 67). Nach SCHOLZ (2006) ist das Auspflanzen grundsätzlich auch im Herbst möglich, begründet zum Beispiel durch eine zu erwartende starke Frühjahrestrockenheit. Allerdings kann das zu Problemen mit der Begleitvegetation und der Verfügbarkeit von Pflanzgut (Stecklingen) führen (SCHOLZ, 2006, 294). Auch SCHILDBACH et al. erwähnen die Möglichkeit einer Pflanzung im Herbst für bewurzelte Steckhölzer bzw. für wurzelnackte Pflanzen (SCHILDBACH et al., 2010, 68; SCHILDBACH et al., 2009, 67).

Pappeln können in unterschiedlicher Stellung und Form gepflanzt werden. **Vertikal** (und schräg) als Steckholz, Steckrute oder Setzstange und **horizontal** als (Lege-Steckholz) Legeruten (SCHOLZ, 2006, 293). Für die Bestandsgründung von Kurzumtrieb-Anlagen zur Hackgut- und/ oder Wertholzproduktion sind in der Praxis aus arbeitswirtschaftlichen Gründen hauptsächlich Steckhölzer (bewurzelt oder unbewurzelt), oder auch Setzruten und Setzstangen, selten auch mehrjährig verschulte Großpflanzen (Überschwemmungsgebiete), relevant (LIEBHARD, 2010a, 32-33; SCHOLZ, 2006, 294).

Das Pflanzverfahren und die eingesetzte Technik bzw. die zu verwendende Pflanzgutart richten sich nach LANDGRAF u. SETZTER (2012) primär nach dem Produktionsziel (Energieholz, Industrieholz). Demnach werden für die

Hackgutproduktion aus ökonomischen Gründen überwiegend Steckhölzer verwendet. Für das Produktionsziel Industrieholz kann, bei geringeren Pflanzdichten, höherwertiges (teureres) Pflanzmaterial eingesetzt werden. Dafür kommen Steckruten, Setzstangen und einjährig bewurzeltes Vermehrungsgut in Betracht mit dem Ziel, das Risiko von Ausfällen zu reduzieren und den Zuwachs von Beginn an zu optimieren. Beim Einsatz dieser Pflanzgutarten muss dem Wildmanagement jedoch besondere Bedeutung beigemessen werden (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 13-25). Ebenso sind nach SCHOLZ (2006) Steckruten und Setzstangen besonders für geringe Pflanzdichten und extensive Bewirtschaftungsformen mit langen Umtriebszeiten geeignet (SCHOLZ, 2006, 294). Das Spektrum einsetzbarer Pflanzgutarten sowie deren Eignung und Qualitätsmerkmale werden in Kapitel „2.3.4 Pflanzgutarten“ ausführlich beschrieben.

Für die Pflanzung selbst sind unterschiedliche **Techniken und Verfahren** praktikabel. Prinzipiell sind die manuelle und die maschinelle Technik gegeneinander abzugrenzen.

Ein **manuelles Pflanzen** bietet sich auf Kleinst-, Kleinflächen und/ oder auf schwer befahrbaren Feldstücken an (LIEBHARD, 2010a, 39; SCHOLZ, 2006, 294; SCHILDBACH et al., 2010, 70; DEIM, 2011, 52; BLUMAER, 2011a, 69; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 20). SCHILDBACH et al. (2010) definieren in diesem Zusammenhang kleinere Flächen mit 2 bis 3 ha (SCHILDBACH et al., 2010, 70). LANDGRAF u. SETZTER sprechen in diesem Zusammenhang ebenfalls bei Flächengrößen von bis zu 2 ha von klein-parzelligen Flächen, die manuell bepflanzt werden können (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 20). Das manuelle Pflanzen ist auch besonders für höherwertige Pflanzgutarten (Stangen, bewurzeltes Pflanzmaterial) zu empfehlen (Industrieholzproduktion) (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 25). Grundsätzlich ist die manuelle Pflanzung für alle Pflanzgutarten (Pflanzmaterialtypen) geeignet (SCHILDBACH et al., 2009, 68). Bei der manuellen Pflanzung können bei allen Verfahren zur Einhaltung der Reihenabstände entweder Pflanzschnüre eingesetzt werden oder es wird mit dem Traktor eine Pflanzfurche gezogen bzw. ein Streifen gefräst (SCHILDBACH et al., 2009, 68). Manuelle Verfahren sind im Wesentlichen:

- **Händische Pflanzung** mit Pflanzschnur oder Marker und Steckeisen ist grundsätzlich für kleine Flächen bzw. für klein-parzellige Anbaustrukturen sowie für schwer oder nicht befahrbare Feldstücke (LIEBHARD, 2010a) geeignet (SCHOLZ, 2007, 294; LIEBHARD, 2010a, 39; BLUMAUER, 2011a, 69; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 20; SCHILDBACH et al., 2010, 70; SCHILDBACH et al., 2009, 68). Neben dem Steckeisen (für die Steckholzpflanzung) können auch Spaten, Hohlspaten oder ähnliche Werkzeuge wie Pflanzenhauen (Schlaglochpflanzung) oder Schaufeln eingesetzt werden (SCHILDBACH et al., 2009, 68; BAUER et al., 2009, 26-29).

- **Bohrlochpflanzung** (motormanuell) mit handgeführtem (traktorbetriebenen) Bodenbohrgerät werden Löcher mit unterschiedlichen Radien und Tiefen erzeugt. Dieses Verfahren eignet sich grundsätzlich für größeres Pflanzgut wie Setzstangen und Setzruten, aber auch für bewurzeltes Material. In der Literatur wird der Pflanzfuchs PF 400 mit Spezial-Pflanzlochbohrer, ausgestattet mit einem Zusatzmesser zum Aufreißen des Bohrlochrandes, empfohlen (BAUER, 2009, 27; SCHILDBACH et al., 2009, 68.)
- **Pflanzung mit Tiefenlockerer bzw. Dränagepflug** (motormanuell). Diese Techniken eignen sich für Setzstangen und Setzruten (SCHILDBACH et al., 2009, 68; HOFMANN u. DOHRENBUSCH, 2007, 36).
- **Pflanzung mit Anbaudorn** (motormanuell) für Setzstangen und Setzruten. Mit einem (Traktor- oder Bagger-) Anbaudorn werden Pflanzlöcher in den Boden gedrückt. Die Pflanzen werden dabei bis zu einem Meter (90 cm), analog zur Bohrlochpflanzung, in den Boden gebracht (SCHILDBACH et al., 2010, 70; HOFMANN u. DOHRENBUSCH, 2007, 36).
- **Pflanzung mit Bagger** oder anderen (modifizierten) Bau- oder Landmaschinen (motormanuell). Diese Techniken eignen sich ebenfalls für höherwertiges Pflanzmaterial wie Setzruten, Setzstangen und bewurzeltes Material (eigene Ergänzung).
- **Pflanzung mittels Wasserlanze**. Diese Technik eignet sich für Setzruten (BLUMAUER, 2011b, 14).

Bei allen manuellen bzw. motormanuellen Verfahren ist die Pflanzung Handarbeit. Bei der Bohrlochpflanzung ist jedoch ein erheblicher Aufwand für das Füllen der Pflanzlöcher nötig. Bei den übrigen Techniken wird ein Bodenschluss durch Antreten bzw. Andrücken des Bodens erreicht (HOFMANN u. DOHRENBUSCH, 2007, 36).

In Österreich wird das Auspflanzen überwiegend mittels spezieller Pflanzmaschinen im Lohnverfahren realisiert. Grund dafür sind die hohen Anschaffungskosten dieser Geräte, gekoppelt mit nur wenigen Einsatzzeiten (DEIM, 2011, 52). Für die **maschinelle Pflanzung** eignen sich, evtl. mit kleinen Umbauten versehene, verschiedene forst- und landwirtschaftliche Pflanzmaschinen (SCHILDBACH et al., 2010, 70). Hervorzuheben sind einige Neuentwicklungen wie zum Beispiel der Populus-Planter für Stechhölzer (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 20-21). Bei diesen Verfahren wird im Prinzip der Boden geöffnet (gelockert), das Pflanzmaterial (Stechholz) mechanisch oder pneumatisch in die Furche bzw. in das vorbereitete Saatbett gebracht bzw. gestempelt und der Boden anschließend seitlich wieder

angedrückt und geschlossen (SCHILDBACH et al., 2010, 70; BLUMAUER, 2011a, 69 u. 76). Grundsätzlich steht derzeit für die Etablierung einer Feldholzanlage eine ausgereifte und praxiserprobte Pflanztechnik zur Verfügung. Auch für das Setzen von Ruten und Heistern (bewurzelte Jungpflanzen) gibt es eine praxiserprobte Setztechnik. Aus Kostengründen entscheidet sich die Mehrzahl der Landwirte für eine maschinelle Bestandsbegründung mit Stecklingen (BLUMAUER, 2011a, 76). Die benötigte Pflanztechnik wird mittlerweile von Stecklingshändlern im Paket mit Steckhölzern angeboten (BLUMAUER, 2011a, 76; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 20).

Nachfolgend wird die verfügbare und praxisrelevante Pflanztechnik für Pappeln nach BLUMAUER (2011a, 2011b) vorgestellt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

Pflanzgerät für Steckhölzer:

- **Setzgerät für Christbäume**
Der Boden wird mittels Scheibensech und Schar geöffnet. Der Pflanzabstand wird über ein akustisches Signal bestimmt. Bei einem Signal steckt die Bedienperson ein Steckholz in die geöffnete Bodenrinne. Nachlaufende Druckrollen schließen die Furche. Pappel kann damit nur einreihig gepflanzt werden (BLUMAUER, 2011a, 69).
- **Setzgerät mit rotierendem Magazin**
Die Bedienperson stellt die Steckhölzer einzeln in ein horizontales Magazin. Die Steckhölzer rutschen in einem senkrechten Kanal nach unten und werden mit einem Stempel in den Boden gedrückt. Der Pflanzabstand ist einstellbar. Pappel kann damit nur einreihig gepflanzt werden (BLUMAUER, 2011a, 69).
- **Setzgerät mit Zangen**
Der Pflanzvorgang erfolgt dabei durch Zangensetzelemente. Die Stecklinge werden von der Bedienperson in die Zangenelemente gesteckt. Die Elemente befinden sich strahlenförmig und in gleichem Abstand auf einer Scheibe (127 cm Durchmesser), welche horizontal zum Boden in Fahrtrichtung abrollt. Der jeweilige, senkrecht über dem Boden stehende Steckling wird mittels Hydraulikzylinder in den Boden gedrückt. Der Reihenabstand kann eingestellt werden. Auch der Pflanzabstand kann durch die Anzahl der Pflanzelemente geregelt werden (BLUMAUER, 2011a, 70).
- **Setzgerät mit Kettenlaufband**
Die Bedienperson versorgt das Pflanzelement durch eine Öffnung in der Laufkette mit Steckhölzern. Der Pflanzzylinder dreht sich mit der Laufkette senkrecht nach unten. Anschließend wird das Steckholz durch einen Kolben des Pflanzelements in den Boden gedrückt. Der Pflanzabstand beträgt mindestens 50 cm oder ein Vielfaches davon. Je nach Pflanzzylinder können

Steckhölzer mit 10 -25 mm oder zwischen 18 – 40 mm Durchmesser gepflanzt werden (BLUMAUER, 2011a, 69-70).

Pflanzgerät für Steckruten:

➤ Messerschneidesystem

Die Bedienperson steckt die Rute in einen Zuführkanal. Zuführbänder transportieren die Rute nach unten und schneiden sie mittels Messer-Schneide-System in Steckhölzer. Ein Stempel drückt die Steckhölzer in den Boden. Ein vorgelagerter Scheibensech erleichtert das Eindrücken des Stecklings in den Boden. Dieses Gerät wurde ursprünglich für Weiden konzipiert (BLUMAUER, 2011a, 70).

➤ Trommelschneidesystem

Die Bedienperson steckt Ruten in den senkrechten Zuführkanal. Die Ruten werden mittels Trommel-Schneide-System geschnitten. Das Steckholz wird durch zwei parallel laufende Gummibänder zum Setzschar transportiert. Die Steckhölzer gelangen durch den Schar (Nut) in die Bodenrinne und werden anschließend durch Druckrollen im Boden verankert. Ein vorgelagerter Scheibensech erleichtert das Eindrücken des Stecklings in den Boden. Dieses Gerät wurde ursprünglich für Weiden konzipiert (BLUMAUER, 2011a, 70).

Pflanzgerät für bewurzelte Pflanzen (Heister):

➤ Setzpflug mit kontinuierlichem Pflanzspalt mit/ ohne vorgeschalteter Fräse. (BLUMAUER, 2011b, 15).

➤ Lasergesteuerte Pflanzmaschine. Dieses Gerät eignet sich zum Pflanzen von Reben bis Obstbäumen (bis 4 m Länge) (BLUMAUER, 2011b, 15).

Außerdem sind zusätzlich noch eine große Anzahl umgebauter Gemüse- oder Tabakpflanzmaschinen, welche von Maschinenbesitzern, Erzeugergemeinschaften ö. Ä. gemietet werden können, einsetzbar (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 22).

2.2.3 Bestandsführung und -pflege während der Etablierungsphase und in den Folgerotationen

2.2.3.1 Wildmanagement

Für den Wildschaden verantwortlich sind Hasen (Kaninchen), Reh- und Hochwild, aber auch Schafe und Ziegen. Wildschäden äußern sich durch Verbiss junger Triebe bzw. Triebspitzen und/ oder Fegeschäden (LIEBHARD, 2010a, 60-61). Auch wenn der Verbiss nach SCHOLZ (2006) in der Regel nicht zu einem Totalausfall der betroffenen Pflanzen führt, sind Zuwachsverluste und/ oder unerwünschter Besenwuchs die Folge (SCHOLZ, 2006, 296).

Es gilt, Wildschäden sowohl in der Etablierungsphase (erstes Jahr nach der Anlage) als auch in Folgerotationen zu verhindern (SCHILDBACH et al., 2009, 69). Nach HELBIG u. MÜLLER sind Wildschäden besonders in den ersten beiden Standjahren und den Jahren nach einer Ernte zu verzeichnen (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 79).

Als Maßnahmen gegen Verbiss werden in der Literatur das regelmäßige Auftragen eines Verbißschutzmittels und/ oder das Errichten von Zäunen (Gattern) empfohlen (LIEBHARD, 2010a, 60-61; SCHOLZ, 2006, 296). Außerdem sind neben dem Standort der Anlage (Waldrand) und der damit verbundenen vorherrschenden Wilddichte die Flächengröße der Anlage für das Ausmaß von Wildschäden ausschlaggebend (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 79; SCHILDBACH et al., 2009, 69). In der Literatur wird daher zur Regulierung der Wilddichte geraten (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 79; SCHILDBACH et al., 2009, 69). Bei größeren, nicht eingezäunten Flächen ist die Pflanzung einer oder mehrerer „Opfer-Reihen“ vom Wild bevorzugter Baumarten (Weide) oder Pappel-Klonen rund um die Anlage eine Maßnahme gegen Verbiss, jedoch weniger geeignet gegen Fegeschäden (DEIM, 2011, 56; ZEITLHOFER et al., 2009, 75).

2.2.3.2 Nährstoffentzug und Düngung

Grundsätzlich ist eine regelmäßige Bodenuntersuchung auf Humusgehalt und Makronährstoffe des Ober- u. Unterbodens sinnvoll. Zumindest sollten Bodenuntersuchungen vor der Auspflanzung bzw. im Zuge der Planung, nach der jeweiligen Ernte und vor einer Rückführung in landwirtschaftliche Flächen durchgeführt werden. Das Vorkommen bzw. die Höhe von Nährstoffdefiziten durch die Erntegutentnahmen ist abhängig vom Standort und dessen Vornutzung, der Umtriebsdauer und der Ertragsleistung (LIEBHARD, 2010a, 45).

In der Literatur wird der Nährstoffversorgungsbedarf bzw. Düngerbedarf von Beständen zur Feldholzproduktion generell als gering angeführt (SCHILDBACH et al., 2009, 70; PETZOLD et al., 2010, 46; SCHOLZ, 2006, 293; LIEBHARD, 2010a, 45; KALTSCHMITT et al., 2009, 90). Nach PETZOLD et al. (2010) zeigten bisherige Untersuchungen, dass sich bei Pappel-Kurzumtrieb-Anlagen auf vormals landwirtschaftlich, ausdrücklich ackerbaulich genutzten Flächen, selbst nach mehreren Jahren noch keine oder nur marginale Nährstoffversorgungsdefizite dokumentieren ließen. So sind nach PETZOLD et al. (2010) lediglich auf Flächen

mit ungünstiger Nährstoffversorgung sowie auf Rekultivierungsflächen (BUNGART u. HÜTTL, 2004 in PETZOLD et al., 2010) aber auch auf Grenzertragsböden oder nach mehreren Rotationsfolgen Düngergaben in Erwägung zu ziehen (PETZOLD et al., 2010, 46).

Bedingt durch die Feldholzernte im laublosen Zustand werden die Blattorgane, welche den relativ höchsten Nährstoffanteil der Ganzpflanze besitzen, dem Boden wieder zur Verfügung gestellt (SCHILDBACH et al., 2009, 70). Bei einer vollständigen Mineralisierung im Folgejahr sind, bei einer ausreichenden Wasserversorgung, eine ausreichende biologische Aktivität und Nährstofffreisetzung im Oberboden gewährleistet (LIEBHARD, 2010a, 45).

In Tab. 2.2-11 sind Referenz-Elementgehalte von Pappelblättern nach LIEBHARD (2010a) und PETZOLD et al. (2010) dargestellt. Die Nährstoffgehalte sind anhand einer Blattdiagnose zu ermitteln. Die Blattprobenentnahme erfolgt während der Hauptwachstumsphase am jeweils vierten voll ausgebildeten Blatt (Kronenraum) der höchsten Schösslinge einer Pflanze (LIEBHARD, 2010a, 46; PETZOLD et al., 2010, 46-47).

Tabelle 2.2-11 Blattelementgehalte (Referenzwerte) zur Beurteilung des Ernährungszustandes bei Pappel:

Nährstoff in mg/ g TM	LIEBHARD (a)	PETZOLD et al. (b)
Stickstoff (N)	18 – 25	17 - 25
Phosphor (P)	1,8 – 3,0	1,6 – 5,9
Kalium (K)	12 – 18	>8
Magnesium (Mg)	3 – 5	1,5 - 3,0
Kalzium (Ca)	2 - 3	6,0 – 15,1

(Modifiziert übernommen aus: (a) LIEBHARD, 2010a, 46: Grenzwerte zur Beurteilung des Ernährungszustandes bei Pappelblättern nach Blattanalysewerten (nach BERGMANN , 1988 und MAKESCHIN et al., 1994); (b) PETZOLD et al., 2010, 47: Wertbereich der Blattelementgehalte für die optimale Ernährung von Balsampapeln und intersektionellen Hybriden mit Schwarzpappeln im KU (nach JUG et al., 1999)

Der Nährstoffgehalt, welcher im Zuge der Ernte mit dem Erntegut abgeführt wird, variiert in Abhängigkeit von der Rotationsdauer (Tab. 2.2-13). Grundsätzlich nimmt der nährstoffarme Stammholzanteil mit zunehmender Umtriebszeit zu. Damit reduziert sich der Nettonährstoffentzug (N, P, K, Mg, Ca) mit einer Abnahme des Rinden- und Feinstanteils (LIEBHARD, 2010a, 46). Die Düngergaben sind entsprechend des Nettoentzugs durch das Erntegut in Abhängigkeit von der Umtriebszeit zu bemessen (siehe Tab. 2.2-12 u. 2.2-13). Eine Düngung erfolgt mit Wirtschaftsdünger oder Mineraldünger (LIEBHARD, 2010a, 46).

Tabelle 2.2-12 Jährliche Nährstoffentzugsgehalte (Referenzwerte) im Durchschnitt in kg/ (ha a) auf Flächen mit Kurzumtrieb-Anlagen in Abhängigkeit vom Ertragsniveau:

Nährstoff	SCHOLZ (a)			LIEBHARD (b)
	Ertragsniveau in t TM/ (ha a)			Ertragsniveau
	6	10	14	zw. 8,0 - 16 t TM/ ha a
	Nährstoffentzugsgehalte in kg/ (ha a)			
Stickstoff (N)	38	64	90	40 bis 70 (110)
Phosphor (P)	7	11	15	10 bis 20 (30)
Kalium (K)	20	33	46	40 bis 60 (90)
Magnesium (Mg)	5	8	11	5 bis 8 (12)
Kalzium (Ca)	32	53	74	40 bis 90 (130)

(Modifiziert und übernommen aus: (a) SCHOLZ, 2006, 293: Nährstoffentzüge von Pappel im Kurzumtrieb bei unterschiedlichen Erträgen; (b) LIEBHARD, 2010a, 46: Jährliche Entzugsmenge (Pappel und Weide) im KU bei Erträgen von 8,0 bis 16 t TM/ ha a (Mittelwert, weiter Streubereich)

Tabelle 2.2-13 Referenzwerte für Nährstoffentzugsmengen je t Erntegut (atro):

Nährstoff	DEIM (2011) (a)	LIEBHARD (2010) (b)	KALTSCHMITT et al. (2009) (c)
	Entzug in kg / t atro	Entzug in kg / t atro	Entzug in kg / t atro
	Pappel	Pappeln u. Weiden	Schnellwachsende Baumarten
Stickstoff (N)	2,00 – 6,00	0,75 – 5,50	4,0 – 7,0
Phosphor (P)	0,80 – 1,10	0,58 – 1,00	0,8 – 1,8
Kalium (k)	2,00 – 4,00	2,6 – 4,00	2,5 – 4,0
Magnesium (Mg)	0,20 – 0,80	0,50 – 0,75	k. a.
Kalzium (Ca)	4,00 – 6,00	5,00 – 5,50	k. a.

(Modifiziert und übernommen aus: (a) DEIM, 2011, 60: DIN Norm EN 14961-1 als typische Nährstoffwerte für holzartiges Material aus KU-Anlagen bezogen auf eine t TM Pappelerntegut; (b) LIEBHARD, 2010a, 46: Nährstoffwerte je Tonne Pappel- und Weideerntegut; (c) KALTSCHMITT et al., 2009, 90: Nährstoffentzug schnellwachsender Baumarten je Tonne geernteter TM)

2.2.3.3 Bewässerung

Auf Extremstandorten soll eine Bewässerung in der Etablierungsphase in Betracht gezogen werden. Wie bereits in Kapitel 2.2.1 „Planung der Anlage“ erwähnt, sind gewisse Standortvoraussetzungen für die Pappel-Feldholzproduktion im Kurzumtrieb zu berücksichtigen. Grundsätzlich wird für eine wirtschaftliche und optimale Feldholzproduktion am jeweiligen Standort eine gewisse Menge an pflanzenverfügbarem Wasser benötigt, entweder über den Niederschlag und/ oder über das Grundwasser in Abhängigkeit von der Bodenwasserspeicherkapazität (LIEBHARD, 2010a, 47). Auch PETZOLD et al. (2010) identifizieren eine Bewässerung von Pappel-Anlagen während der Anwuchsphase im 1. und 2. Standjahr zur Reduktion des Ausfallrisikos durch Trockenheit als eine sinnvolle Maßnahme, wenn die betrieblichen Voraussetzungen (Wirtschaftlichkeit) dafür gegeben sind. Eine Bewässerung der Kurzumtrieb-Anlage zur Ertragssteigerung, d.h. bei einer ausreichenden, aber nicht optimalen Wasserversorgung, (auch) nach der

Etablierungsphase, ist nach BUNGART u. HÜTTL (2004) in PETZOLD et al. (2010), aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen. Die Im Vergleich zu anderen Ackerkulturen ungünstige Wassernutzungseffizienz der Pappeln verschlechtert sich bei einem steigenden Wasserangebot zunehmend (PETZOLD et al., 2010, 47).

Bewässerungsmaßnahmen sind im Rahmen der Bestandsetablierung früh und bei Bedarf während der gesamten (ersten beiden) Hauptvegetationszeit(en) durchzuführen. Grund dafür ist ein relativ sensibles Verhalten der Pappel-Triebe auf Wasserstress. Symptome für Wasserstress sind ein vorzeitiges Beenden des Triebwachstums gekoppelt mit Blattvergilbungen (LIEBHARD, 2010a, 47). Bei einer dauerhaft kritischen Wasserversorgung sollten aus ökonomischen und ökologischen Gründen bereits bei der Planung alternative Flächen in Betracht gezogen werden.

Im Rahmen der Bestandsetablierung können ferner Bodenhilfsstoffe wie Mykorrhiza und Hydrogel eingesetzt werden. Der Einsatz von Mykorrhizapilzen zielt nach BLASCHKE (1989) in STOLL (2011) auf eine Verbesserung der mineralischen Ernährung sowie eine Verbesserung der Wasserversorgung ab. Hydrogel als wasserspeichernde Substanz kann nach STOLL (2011) eingesetzt werden, um eine bessere Wasserversorgung während der Anwuchsphase zu gewährleisten (STOLL, 2011, 21).

Die Ergebnisse einer Untersuchung von STOLL (2011) zeigten lediglich baumartenspezifische Effekte bei beiden Bodenhilfsstoffen, sodass keine generellen Aussagen über deren Wirkung im Rahmen des Versuchs gemacht werden konnten. Gleichwohl spricht STOLL von in der Vergangenheit erzielten positiven Effekten von Hydrogel auf Überlebens- und Zuwachsraten bei extremeren Klima- und Standortverhältnissen (STOLL, 2011, 117).

2.2.3.4 Nachpflanzen

Das Nachpflanzen (Nachbessern) von Steckhölzern, Ruten oder Großpflanzen im Folgejahr bzw. nach der ersten Ernte halten LIEBHARD (2010a) und SCHOLZ (2006) für erfolglos. Die etablierten Pflanzen unterdrücken die Jungpflanzen in dem Maß, dass diese wenig zur Ertragsleistung beisteuern und überwiegend spätestens nach dem zweiten oder dritten Umtrieb absterben (LIEBHARD, 2010a, 45; SCHOLZ, 2006, 295). SCHILDBACH et al. machen eine Nachbesserung von der Ausfallstärke- u. Verteilung abhängig. Demnach sind lediglich größere ausgefallene Bereiche nachzubessern. Vor der Nachbesserung wird zu einer erneuten Bodenlockerung und Begleitwuchsregulierung geraten. Zudem sollte zur Nachbesserung größeres Pflanzmaterial verwendet werden (SCHILDBACH et al., 2010, 71).

2.2.3.5 Rückschnitt

Der Rückschnitt im Winter nach der ersten Vegetationsperiode ist eine Maßnahme in der Etablierungsphase mit dem Ziel, das Spross-Wurzel-Verhältnis in Richtung

Wurzelwachstum zu optimieren und so die Nährstoff- und Wasserversorgung zu erhöhen (LIEBHARD, 2010a), um eine gleichmäßige und höhere Anzahl an Trieben (energetische Nutzung) im folgenden Jahr und damit verbunden eine gesteigerte Biomasseleistung zu erreichen (LIEBHARD, 2010a; SCHILDBACH et al., 2009 u. 2010), eine geringere Lichtkonkurrenz für nachgepflanzte Steckhölzer bei extrem ungleichen Beständen zu schaffen (LIEBHARD, 2010a) und gegebenenfalls das geschnittene Material als Pflanzgut (SCHILDBACH et al., 2009; LIEBHARD, 2010a) verwenden zu können (LIEBHARD, 2010a, 45; SCHILDBACH et al., 2010, 71; SCHILDBACH et al., 2009, 69).

Negativ zu bewertende Effekte des Rückschnittes sind der Biomasseverlust der ersten Vegetationsperiode (SCHILDBACH et al., 2010 u. 2009; LIEBHARD, 2010a) und ein möglicher Totalverlust einzelner Steckhölzer, wenn die Wurzeln zum Schnittzeitpunkt noch nicht entsprechend entwickelt sind (SCHILDBACH et al., 2010 u. 2009) (SCHILDBACH et al., 2010, 71; SCHILDBACH et al., 2009, 69; LIEBHARD, 2010a, 45). Generell ist dabei nur ein sauberes Abtrennen der Triebe akzeptabel. Mulchgeräte sind dafür absolut ungeeignet (SCHILDBACH et al., 2010, 71; SCHILDBACH, 2009, 69).

2.2.3.6 Vereinzeln der Triebe und Wertholzastung

Das arbeits- und zeitintensive Entfernen von (Seiten-) Ästen, (Seiten-) Trieben und unerwünschten Stockausschlägen zielt darauf ab, wenige aber starke Stämme in Abhängigkeit von der Umtriebszeit ernten zu können. Für die stofflich-industrielle Nutzung von (Pappel-) Feldholz werden oft Stämme mit 8 cm Durchmesser (Zopfstärke) in 4 m Höhe gefordert. Um bei der Stamm- (Wert-) Holzproduktion den Arbeitsaufwand möglichst gering zu halten, sollte im Rahmen der Anlageplanung dem klonspezifischen Wuchsverhalten (Apikaldominanz) ausreichend Bedeutung beigemessen werden. Diese Schnitt-Maßnahme hat den entgegengesetzten Effekt wie der „Rückschnitt“ in der Etablierungsphase (DEIM, 2011, 55).

2.2.3.7 Nutzungswechsel

Vor dem Errichten einer Anlage zur Feldholzproduktion sollte das Produktionsziel klar definiert sein, denn es entscheidet über die Wahl von Baumart und Sorte, Umtriebszeit, Pflanzverband und Pflanzdichte (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 13; SCHILDBACH et al., 2010, 71). Unter Umständen kann jedoch die Bewirtschaftungsform nach der Etablierung einer Anlage gewechselt werden (SCHILDBACH et al., 2010, 71).

Um eine energetisch genutzte in eine stofflich genutzte Feldholzanlage zu überführen, bedarf es nach SCHILDBACH et al. (2010) einer Reduktion der Triebe auf 1.000 bis 2.000/ ha. Dies erfolgt manuell mit einem Freischneider nach der ersten bzw. zweiten Vegetationsperiode (SCHILDBACH et al., 2010, 71).

Erschwerte Bedingungen sind bei der Überführung einer vormals stofflich genutzten in eine energetisch zu nutzende Anlage zu erwarten. Im konkreten Fall wird davon ausgegangen, dass der Nutzungswechsel nach der ersten Rotation stattfindet. Im

Vergleich zur energetisch genutzten Anlage sind die Wurzelstöcke nach der ersten Ernte relativ groß, verborkt und oft höher, was Probleme bei der Ernte bereiten kann. Die Überführung einer stofflich genutzten in eine energetisch genutzte Anlage ist nach Untersuchungen durch SCHILDBACH et al. (2010) mit gewissen Einschränkungen dennoch möglich. Im Rahmen eigens dafür durchgeführter Untersuchungen wurde eine beerntete Fläche mit 2.000 Pflanzen/ ha dem Wiederaustrieb überlassen. Die Ergebnisse zeigten, dass grundsätzlich auf schlechteren Standorten und/ oder geringeren Stammzahlen mit einer geringeren Biomassezuwachsleistung im Vergleich zu rein energetisch genutzten Anlagen gerechnet werden muss (SCHILDBACH et al., 2010, 71-72).

2.2.3.8 Pflanzenschutz

Schadfaktoren sind in der Lage, die Wirtschaftlichkeit und die Qualität des Ernteprodukts erheblich zu beeinflussen. Die Relevanz potentieller Schadfaktoren hängt unter anderem von der Umtriebszeit ab. So können beispielsweise bei langen Umtriebszeiten einmalige Schäden besser kompensiert werden. Unterscheiden lassen sich abiotische (Licht-, Wasser-, Wind-, und Temperatur-Extreme) und biotische Schadursachen (lebende Organismen). Anlagen zur Feldholzproduktion sind aufgrund einer hohen räumlichen Homogenität und einer geringen genetischen Diversität wie andere Monokulturen anfällig für biotische und abiotische Schäden. Besonders das kumulierte und kombinierte agieren diverser biotischer und abiotischer Schadfaktoren kann zum wirtschaftlichen Verlust einer Anlage führen (HELBIG u. MÜLLER, 2009, 83).

2.2.3.8.1 Abiotische Schadursachen

Grundsätzlich kann man abiotische Schadursachen durch eine entsprechende Standort- Baumarten- u. Sortenwahl reduzieren bzw. taxieren (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74; LIEBHARD, 2010a, 47-51). Allgemeine Standortvoraussetzungen, welche zumindest teilweise als Prävention gegen abiotische Schadursachen gesehen werden können, werden im Kapitel „Allgemeine Standortansprüche und Flächenauswahl für Pappel-KU-Anlagen“ ausführlich beschrieben. In Tab. 2.2-14 sind bedeutende abiotische Schadfaktoren zusammengefasst.

Tabelle 2.2-14 Zusammenfassung möglicher abiotischer Schadfaktoren und deren Ursachen, Symptome und Folgen (LIEBHARD, 2010a, 48- 51; Ergänzt durch HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74)

Abiotische Schäden	Schadursache	Symptomatik	Folgen
Spät –und Frühfrost	Extreme Witterungsbedingungen	(Winter-) Frostschäden	Ertragsminderung
Lichtschäden	Beschattung	- Vermindertes Höhenwachstum - Blattverkümmern - Etiolieren	Ertragsminderung
Dürreschäden	Langandauernde Trockenheit	- Wuchsstörungen - Vorzeitiger Blattfall - Wipfeldürre	Deutliche Zuwachs- und Ertragsminderung
Hitzeschäden	- Temperaturen > 40 °C - Unbedeckte, dunkle Böden (torfig-humos) - Überhitzen von Boden od. Pflanzenteilen	- Absterben von Blättern, Trieben u. Rindenteilen - Wassermangel	- Ertragsminderung - Folgeschäden (biotische Schadursachen)
Nässeschäden	- Hohe Niederschläge - Rasche Schneeschmelze - Dichte Böden - Staunässe - Überschwemmungen	- Wurzelsterben (O₂) - Wurzel- u. Stammfäule - Wuchsstockung - Blattwuchsstörungen - Blattvergilben	Je nach Alter der Pflanzen und Dauer der Nässeinwirkung: - Ertragsminderung - Totalausfall
Hagelschäden	Starker Hagelschlag	Schäden an: - jungen Blättern - Trieben - dünner Rinde	- Teilweises –oder gänzlich Absterben junger Pflanzenteile - Parasitischer Pilzbefall
Wind- u. Sturmschäden	Sturm (oft im Winterhalbjahr)	- Wipfelbruch - Astbruch - Stammbruch	Ertragsminderung
Schnees Schäden	- Frühe, große Weichschneemengen - Verzögerter Laubfall - Verunkrautung mit Waldrebe	Schief Lagerung und Bruch	Ertragsminderung
Raureif- u. Eisschäden	- Zustrom warmer Luft auf kalte Zweige - Schneefall auf bereifte Bäume	Sichtbarer Raureif	Keine Folgeschäden bei ausschließlich Raureif
Schäden durch Kulturmaßnahmen	- Bodenbearbeitung - Mechan. Beikrautregul. - Herbizidrückstände	- Wurzel- u. Rinden- Verletzungen - Blattverletzungen - Wuchsverminderung - Wuchsanomalien	Ertragsminderung
Nährstoffmangel od. überschuss	- Stark unharmonisches Nährstoffverhältnis (selten) - Kalküberschuss - Klärschlamm- ausbringung - Straßenbankettbestand	Verätzungen	Ertragsminderung
Wassermangel/ Wasserstress	- Standortbedingungen - Sortenwahl - Anlagezeitpunkt	- Welken der Blätter - Vergilben der Blätter	- Ertragsminderung - Totalausfall einzelner Pflanzen

Auch wenn Pflanzen in Kurzumtrieb-Anlagen durch ihr gut entwickeltes Wurzelsystem Trockenperioden besser überstehen können als beispielsweise annuelle Kulturen, hat der Wassermangel unter den abiotischen Schadursachen die größte Bedeutung. Das gilt insbesondere für die Etablierungsphase bzw. für das Anlagejahr. Allgemein kann das Ausfallrisiko während der Etablierungsphase durch

eine entsprechende Standort- u. Sortenwahl bzw. einem standortabhängigen Pflanzzeitpunkt (Herbst) reduziert werden. (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74). Nach SCHOLZ (2006) ist das Auspflanzen grundsätzlich auch im Herbst möglich, begründet zum Beispiel durch eine zu erwartende starke Frühjahrstrockenheit. Allerdings kann das zu Probleme mit der Begleitvegetation und der Verfügbarkeit von Pflanzgut (Stecklinge) führen (SCHOLZ, 2006, 294).

Im Allgemeinen weisen Pappel- aber auch Weide-Anlagen im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen höhere Gesamtverdunstungsraten während der Vegetationszeit auf. Bei einer optimalen Wasserverfügbarkeit bedeutet das einen hohen Gasaustausch von H_2O und CO_2 an der Blattoberfläche, was gleichbedeutend ist mit einer optimalen Photosyntheseleistung (Assimilation) und letztendlich eine „optimale“ Biomassezuwachsleistung bzw. Nettoprimärproduktion gewährleistet. Demnach sind nach PETZOLD et al. (2010) Standorte mit ausreichender Durchwurzelungstiefe (> 40 cm) und Grundwasseranschluss, unabhängig von Niederschlägen, besonders geeignet für die Feldholzproduktion. Um eine ausreichende Wasserleitfähigkeit in der Pflanze zu gewährleisten sprechen PETZOLD et al. (2010) von einer Wasserverfügbarkeit im durchwurzelten Raum von wenigstens 40 % der nFK (PETZOLD et al., 2010, 44).

Das Ergebnis einer Studie von GALLARDO et al. (2012), welche den durchschnittlichen Gesamtzuwachs (dGZ) in t_{atro} je ha und Jahr bei Pappel- und Weidehybriden in Abhängigkeit von ertragsbestimmenden Variablen untersuchte, zeigte für alle Standorte zusammengefasst, dass alle Variablen mit Ausnahme der nFK mit dem dGZ nur gering korrelierten. Als ertragsbestimmende Variablen bezüglich der Wasserversorgung für den dGZ wurden die Niederschlagssumme im Frühjahr, der Trockenheitsindex zwischen April und Juli sowie die nFK identifiziert. Es konnte gezeigt werden, dass die Bodenart einen großen Einfluss sowohl auf alle korrelierenden Variablen (u.a. pH-Wert, Bodenzahl) als auch auf die Straffheit der Korrelation hatte (GALLARDO et al., 2012, 99).

2.2.3.8.2 Biotische Schadursachen und deren Bekämpfung

Begleitvegetation

Grundsätzlich reagieren Lichtbaumarten sehr empfindlich auf eine Licht-, Wasser- und Nährstoffkonkurrenz durch die Begleitvegetation. Hervorzuheben ist die Beeinträchtigung junger Feldholzpflanzen (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74).

Die Regulierung der Begleitvegetation beginnt bereits mit der Flächenvorbereitung (LIEBHARD, 2010a, 52; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 28; HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74). Wie bereits im Kapitel „Bodenvorbereitung“ erwähnt, findet in der Regel im Herbst vor dem Auspflanzen eine mechanische Bodenbearbeitung statt (Vollfläche, Streifen) (LIEBHARD, 2010a, 35; SCHILDBACH et al., 2010, 67). Auf Flächen mit starker Begleitvegetation kann der Einsatz von Totalherbiziden vor der Herbstfurche notwendig sein (HOFMANN, 2007, 189-190; SCHOLZ, 2006, 293 u. 296; SCHILDBACH et al., 2009, 67; SCHILDBACH et al., 2010, 67).

LIEBHARD (2010a) schlägt für Ackerstandorte nach der Herbstfurche und einer anschließenden groben Einebnung den Anbau einer Zwischenfrucht (tiefwurzelnd, abfrostend oder nicht abfrostend) zur Stabilisierung des Bodengefüges vor. Im Frühjahr erfolgt nach der Entfernung der Pflanzendecke (chemisch, mechanisch) unmittelbar vor dem Ausbringen des Pflanzmaterials (Stecklinge) eine Bodenbearbeitung mittels Grubber-Eggen-Kombination oder Kreiselegge zur Feinkrümelung und Lockerung des Bodens bis zu einer Tiefe von 22 cm (LIEBHARD, 2010a, 36).

Das Applizieren eines Voraufmittels direkt nach dem Ausbringen des Pflanzmaterials kann den Begleitwuchs bis zu 6 Wochen unterdrücken (SCHILDBACH et al., 2010, 67; SCHOLZ, 2006, 296). In diesen Zeitraum sind nach SCHILDBACH et al. (2010) keine Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu empfehlen, da sonst die Wirkung des Vorlaufherbizids reduziert wird (SCHILDBACH et al., 2010, 67). SCHOLZ (2006) nennt als Alternative zur chemischen Bekämpfung in den ersten drei Monaten (Voraufmittel u. ggf. Nachaufmittel) nach der Pflanzung den Einsatz von Eggen, Striegeln, Roll- u. Scharhacken (2 bis 3-mal). Bei einer Spätverunkrautung ist auch der Einsatz von Mäh- u. Mulchmaschinen möglich (SCHOLZ, 2006, 295-296). LANDGRAF u. SETZER (2012) sprechen bei einer ordnungsgemäßen Anwendung des Bodenherbizids und entsprechender Witterung bzw. Temperatur von einer bis zu 9 Wochen anhaltenden Wirkung der Voraufmittel (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 28). Im Anlagejahr ist ab der 6. bis 9. Woche nach der Pflanzung zumindest noch eine Beikrautregulierung in der Reihe und wenigstens zwei Regulierungsmaßnahmen in der Fahrgasse erforderlich (chemisch oder mechanisch) (LIEBHARD, 2010a, 52). Der Einsatz chemischer Bekämpfungsmittel zu diesem Zeitpunkt beschränkt sich auf selektive Pflanzenschutzmittel gegen einkeimblättrige Pflanzen bzw. auf den Einsatz von Totalherbiziden, die mittels spezieller Technik ausgebracht werden. Das sind Spritzmaschinen, die mit einem Spritzschutz ausgestattet sind, oder Maschinen, die das Herbizid an der Begleitvegetation abstreifen. Für eine bodenverwundende (mechanische) Bodenbearbeitung verweisen LANDGRAF u. SETZER (2012) auf vorhandene Technik der landwirtschaftlichen Praxis. Grundsätzlich sind daher alle Maschinenkombinationen einsetzbar, die über eine entsprechende Arbeitsbreite verfügen. Dabei wird deutlich, dass der Pflanzverband einer Feldholzanlage neben der Erntetechnik auch von der zur Verfügung stehenden Pflorgetechnik beeinflusst wird. (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 29-32).

Alternativ dazu empfiehlt LIEBHARD (2010a) unmittelbar vor dem Pflanzen eine Einsaat, oder eine Untersaat in den bereits wachsenden Bestand mit langsam wachsenden und kurzbleibenden Fruchtarten mit dem Ziel, schnell- und hochwachsende Unkräuter zu unterdrücken. Denkbar sind Gräser und Leguminosen.

Jedoch darf es zu keiner Licht-, Wasser- und Nährstoffkonkurrenz kommen (LIEBHARD, 2010a, 36).

Nach der ersten Vegetationsphase soll bedarfsmäßig auf den Begleitwuchs reagiert werden. Im Wesentlichen muss im jeweiligen Erntejahr wiederholt auf eine verstärkte Begleitwuchsregulierung (mechanisch od. chemisch) geachtet werden (LIEBHARD, 2010a, 52). Nach dem Anlagejahr sind es überwiegend Gräser wie die gemeine Quecke (*Elymus repens*), welche es zu regulieren gilt (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74). Ebenso sollte die Waldrebe (*Clematis vitalba* L.), aber auch der weniger problematische Wilde Hopfen (*Humulus lupulus* L.) frühzeitig punktförmig bekämpft werden (LIEBHARD, 2010a, 52).

LANDGRAF u. SETZER erwähnen den Einsatz von Mulchgeräten als letzte Alternative nach chemischen und mechanischen Regulierungsmaßnahmen. Das Prinzip dieser Technik liegt im Abtrennen der oberirdischen Organe der Begleitvegetation. Das Wurzelwerk bleibt intakt und zieht fortlaufend Wasser und Nährstoffe aus dem Boden. Bei derartiger Technik ist daher mit einem erhöhten Einsatzintervall bei gleichzeitig begrenzter Wirkung zu rechnen (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 32).

Die Ergebnisse einer Studie von STOLL (2011) mit dem Ziel, Handlungsempfehlungen für die Anlage und Pflege von Energie-Feldholz-Anlagen zu geben, zeigen, dass das Aufkommen der Konkurrenzvegetation stärker von der Flächenvorbereitung als von der Begleitwuchsregulierung beeinflusst wurde. Anwuchs- und Zuwachsraten diverser Gehölze (u. a. Pappel) waren auf der flächig gepflügten Ackerfläche signifikant höher, unabhängig von der Begleitwuchsregulation. Bei der Kulturgründung mit Pflanzstreifen auf Grünland waren hohe Ausfälle der Pappelstecklinge zu verzeichnen, da die Pflanzstreifen relativ rasch wieder zuwuchsen. Zusammengefasst ist anzuführen, dass der Konkurrenzdruck der natürlichen Begleitvegetation umso niedriger und parallel dazu die Überlebensrate und Höhenzuwächse der Pappelhybriden im ersten Jahr nach der Pflanzung umso höher waren, je intensiver der Eingriff in das Bodengefüge war. Zudem konnte das Einsäen einer Hilfspflanzendecke aus Buchweizen und Klee nicht als geeignet angesehen werden. Die Nutzpflanzen konnten zwar Unkräuter unterdrücken, stellten aber selber eine zu große Konkurrenzkraft dar (STOLL, 2011, 119).

Krankheiten u. Infektionen

Pilze, Bakterien und Viren verursachen weltweit die verheerendsten und schädlichsten Erkrankungen in Pappel-Feldholzanlagen. Erreger können Schäden an der gesamten Pflanze bewirken (Tab. 2.2-15) (HELBIG u. MÜLLER, 2009, 88). Die Folgen von Infektionen mit derartigen Erregern reichten vom ertragsmindernden Krankheitsbefall (LIEBHARD, 2010a, 53) bis hin zum Absterben ganzer Feldholzpflanzen bzw. – Anlagen (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74-75). In dieser Arbeit wird auf einige bedeutende Erreger eingegangen.

Tabelle 2.2-15 Bedeutende pilzliche, bakterielle und virale Krankheitserreger an Pappel und Weide (Modifiziert übernommen aus HELBIG u. MÜLLER, 2009, 89. Ergänzt durch LANDGRAF u. SETZER, 2012, 40-42)

Erreger	MO-Gruppe	Wirtspflanze	Symptome
Melampsora spec. (Blattrrost)	Pilze	Pappel, Weide	○ Blattrflecken braun-schwarz, Blattoberseite ○ Blattunterseite gelb-orange Färbung ○ Später gelb-orange Pilzsporen (Staub)
Cryptodiaporthe populea (Pappelrindenbrand)		Pappel, besonders Schwarzpappel	○ Rindennekrosen ○ Absterben von Zweigen u. Ästen ○ Triebverkrümmung
Pollacia spec. (Triebspitzenkrankheit)		Pappel, Weide	○ Blattrflecken ○ Triebspitzendürre ○ Rindennekrosen
Marssonina spec. (Marssonina-Krankheit)		Pappel, Weide	○ Blattrflecken ○ Triebnekrosen ○ Rindennekrosen
Xanthomonas populi (Pappelkrebs)	Bakterien	Pappel	○ Rindenrisse ○ Rindennekrosen ○ Schleimfluss
Pappel-Mosaikvirus	Viren	Schwarzpappel u. -Hybriden	○ Chlorotische- u. nekrotische Blattrflecken ○ Blattdeformationen

Unter den Pflanzenkrankheiten sind die pilzinduzierten Erkrankungen, im Besonderen die Blatterkrankungen, die bedeutungsvollsten (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74, LIEBHARD, 2010a, 53; HELBIG u. MÜLLER, 2009, 88). Der **Blattrrost (Melampsora spec.)** kann durch eine typische gelb-orange Färbung der Blattunterseite (ab Frühsommer) identifiziert werden. In späteren Entwicklungsstadien können Pilzsporen vom Blatt geschüttelt werden. An der Blattoberseite ist der Pilzbefall ab Herbst an schwarz-braunen Verfärbungen (Sporenlager) zu erkennen (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 42; HELBIG u. MÜLLER, 2009, 89). Dies führt nach HUNTER et al. (1996) in HELBIG u. MÜLLER (2009) zu einem vorzeitigen Blattfall, einer Senkung der Frosthärte, bei starkem Befall sogar bis zu Zuwachsverlusten und Vitalitätsbeeinträchtigungen. Nach TUBBY (2005) in HELBIG u. MÜLLER (2009) kann ein Befall bis zum Absterben der ganzen Anlage führen. Die Rostanfälligkeit ist sortenabhängig (HELBIG u. MÜLLER, 2009, 88-89). Nach SINER (1996) in LIEBHARD (2010a) weisen asiatische Balsampappeln eine hohe Blattrrostresistenz auf (LIEBHARD, 2010a, 53).

Des Weiteren ist der **Pappelrindenbrand (Cryptodiaporthe populea)** unter den pilzinduzierten Erregern von großer Bedeutung. Er ist auf die Gattung Populus beschränkt. Die Anfälligkeit der einzelnen Pappelarten bzw. deren Sorten variiert

stark. Im Vergleich zur Balsampappel sind Schwarzpappeln und deren Hybride wesentlich stärker betroffen (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 40-42).

Auch die **Triebspitzenkrankheit der Pappel (*Pollacia spec.*)** wird in der Literatur als wichtiger pilzlicher Erreger genannt. Zu identifizieren ist die Krankheit durch die im Frühjahr auftretenden, unregelmäßig geformten, hellen bis dunkelbraunen Flecken, welche sich rasch ausbreiten. Anschließend verfärben sich Triebe und Blätter schwarz und krümmen sich hakenförmig nach unten (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 42).

Nach BUTIN (1996) in HELBIG u. MÜLLER (2009) gewinnt unter den bakteriellen Krankheiten der Erreger ***Xanthomonas populi*** für Pappeln in Kurzumtrieb-Anlagen zunehmend an Bedeutung. Das Bakterium gelangt über Blattnarben, Lentizellen, mechanische Verletzungen und Insekteneinstiche in das Pflanzengewebe. Die Folgen sind krebsartige Wucherungen an Stamm und Zweigen, die zu einer Holzentwertung führen können (HELBIG u. MÜLLER, 2009, 89-90).

Eine präventive Maßnahme gegen das Auftreten und gegen die Verbreitung pilzlicher, bakterieller und viraler Erreger ist vor allem der Einsatz verschiedener Pappelklone (Klonmix) (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 74-75; HELBIG u. MÜLLER, 2009, 88; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 42; LIEBHARD, 2010a, 53). Das gilt im Besonderen für den Rostpilz. Eine weitere Maßnahme, ebenfalls vorrangig bedeutend für den Rostpilz, ist eine Standortwahl, die mögliche Zwischenwirte berücksichtigt (Europäische u. Japanische Lärche bei Rostpilz) (HELBIG u. MÜLLER, 2009, 89). Ebenfalls primär pilzliche Erreger betreffend empfehlen LANDGRAF u. SETZER (2012) die Anlage der Reihen in Windrichtung, sodass eine gute Durchlüftung (rasche Trocknung) gewährleistet ist. Zudem erwähnen sie eher geringere Pflanzdichten, um hohe und anhaltende Werte an Luftfeuchtigkeit zu vermeiden (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 42). Nach HELBIG u. MÜLLER (2012) muss in Zukunft das Hauptaugenmerk auf Züchtungsprogramme zur Verbesserung von Resistenzen gelegt werden (HELBIG u. MÜLLER, 2012, 75). LEIDWEIN (2008) und DEIM et al. (2010) in LIEBHARD (2010a) empfehlen zur Sicherung einer hohen Qualität des Pflanzgutes und zum Schutz der Züchter, Pflanzmaterial nur über den offiziellen Handel zu erwerben. Ohnehin ist der „eigene Nachbau“ sortengeschützter Klone verboten (LIEBHARD, 2010a, 34). So wird auch verhindert, dass bereits infiziertes Pflanzgut weiterverbreitet wird.

Als kurative Maßnahmen stehen zumindest für pilzinduzierte Krankheiten Fungizide zur Verfügung. Jedoch wird derzeit aus ökologischen und ökonomischen Gründen davon abgeraten (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 42; HELBIG u. MÜLLER, 2009, 75).

Schädlinge

Insekten

Nach LANDGRAF u. SETZER (2012) sind mittlerweile eine größere Anzahl von Insekten als potenzielle Schädlinge für Kurzumtrieb-Anlagen identifiziert worden (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 38). Nach HELBIG u. MÜLLER (2010) gibt es derzeit nur wenige aktuelle Untersuchungen über das gesamte Schadinsektenspektrum (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 75). Zu erwarten ist grundsätzlich das Etablieren weiterer, nicht heimischer Schadinsekten (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 38; HELBIG u. MÜLLER, 2010, 75). Nach HELBIG u. MÜLLER (2010) ist ein umfassendes Wissen über die Schaderreger und deren Bionomie notwendig, sodass Gefährdungspotentiale taxiert und präventive bzw. kurative Maßnahmen entwickelt werden können (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 75).

Eine mögliche Grobeinteilung der Schadinsekten ist die Gliederung nach ihrer Schadwirkung. Im Wesentlichen unterscheidet man Blatt (phyllophag)-, Holz (xylophag)- und Wurzelschädlinge (rhizophag), aber auch blattrollende, gallenbildende und cambiophage Schadinsekten (LIEBHARD, 2010a, 56- 59; HELBIG u. MÜLLER, 2010,75-79; HELBIG u. MÜLLER, 2009, 90). Bedeutende Schadinsekten können allgemein den Phyllophagen und Xylophagen zugeordnet werden. Stark schädigend für Pappeln sind unter anderen Familien, Gattungen und Arten der Ordnungen Coleoptera, Lepidoptera und Hymenoptera (siehe Tab. 2.2-16). Bedeutende Familien der Ordnung Coleoptera sind u. a. die Blattkäfer, Rüsselkäfer, Bockkäfer, Blatthornkäfer und Schnellkäfer. Unter den Blattkäfern spielt die Gattung *Chrysomela* und im Speziellen die Art *Chrysomela populi* für Pappelanlagen eine sehr große Rolle. Bedeutende Familien der Ordnung Lepidoptera sind unter anderen Notodontidae, Sesiidae, Gracillariidae und Sphingidae (siehe Tab. 2.2-16). Bei der Ordnung der Hymenopteren ist die Familie der Echten Blattwespen hervorzuheben. Von eher untergeordneter Bedeutung sind Schädlinge der Ordnung Hemiptera (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 75-79; HELBIG u. MÜLLER, 2009, 90-92).

Tabelle 2.2-16 Bedeutende Schadinsekten für Pappel-Feldholzanlagen (Modifiziert und übernommen aus HELBIG u. MÜLLER, 2010, 76; Ergänzt durch (a) HELBIG u. MÜLLER, 2009, 90 und (b) LIEBHARD, 2010a, 56, 60; (c) WIKIPEDIA)

Ordnung	Familie/ Gattung/ Art	Schaden
Coleoptera	○ Chrysomelidae (Blattkäfer)/ <i>Chrysomela populi</i>	P ^a
	○ Chrysomelidae (Blattkäfer)/ <i>Chrysomela tremulae</i>	P ^a
	○ Chrysomelidae (Blattkäfer)/ <i>Phratora vitellinae</i>	P ^a
	○ Chrysomelidae (Blattkäfer)/ <i>Phratora (Phyllodecta) laticollis</i>	P ^a
	○ Chrysomelidae (Blattkäfer)/ <i>Phratora (Phyllodecta) vulgatissima</i>	P ^a
	○ Attelabidae (Blattroller) / <i>Byctiscus populi</i> ^{1, b}	B ^{a, c}
	○ Curculonidae (Rüsselkäfer)/ <i>Phyllobius spec.</i>	P ^a , R ^a
	○ Curculonidae (Rüsselkäfer)/ <i>Polydrusus sericeus</i>	P ^a , (R ^a)
	○ Cerambycidae (Bockkäfer)/ <i>Saperda populnea</i>	X ^b , (P) ^b
	○ Cerambycidae (Bockkäfer)/ <i>Saperda carcharias</i>	X ^b , P ^b
	○ Scarabaeidae (Blatthornkäfer)/ <i>Melolontha melolontha</i> ^b	B ^b , R ^b
	○ Scarabaeidae (Blatthornkäfer)/ <i>Melolontha hippocastani</i> ^b	B ^b , R ^b
Lepidoptera	○ Elateridae (Schnellkäfer)/ Gattung <i>Agriotes</i> (Larven) ^b	R ^b
	○ Notodontidae (Zahnspinner)/ <i>Cerura vinula</i>	P ^a
	○ Sesiidae (Glasflügler)/ <i>Paranthrene tabaniformis</i>	X ^a
	○ Sphingidae (Schwärmer)/ <i>Laethoe populi</i>	P ^a
	○ Sphingidae (Schwärmer)/ <i>Smerinthus ocellata</i>	P ^a
Hymenoptera	○ Gracillariidae (Miniermotten u. a.)/ <i>Phyllocnistis sufusella</i> Z. ^b	P ^b
	○ Tenthredinidae (Echte Blattwespen)/ div. Arten	P ^a , C ^a
Diptera ^a	○ Gallmücken/ div. Arten ^{a, b}	G ^a
Hemiptera	○ Pemphigidae (Blasenläuse) c/ <i>Pemphigus spirothecae</i> ^b	S ^a

P = phyllophag; X = xylophag; R = rhizophag; C = cambiophag; G = gallenbildend; S = saugend; B = blattrollend

(1) „*Byctiscus populi*, ehemals *Bytiscus populi*) ist ein Käfer aus der Familie der Blattroller, Unterfamilie Triebstecher oder Rhynchitinae, die in die Verwandtschaft der Rüsselkäfer gehört“ (WIKIPEDIA)

Kleinsäuger und Schnecken

Neben Reh- und Hochwild, Schafen, Ziegen und Nagern wie Hasen (Kaninchen) (siehe Kap. Wildtiermanagement) beeinträchtigen auch andere Vertreter von **Nagetieren** wie **Bieber und Mäuse** die Entwicklung und das Wachstum von Anlagen zur Feldholzproduktion. Primär der unterirdische Fraß der Schermaus (Wühlmaus, *Arvicola amphibius*) kann zu flächigen Ausfällen sowohl junger als auch etablierter Pflanzen führen (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 79; LIEBHARD, 2010a, 56 u. 59; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 38). Erkennen lässt sich der Befall durch Gänge, welche knapp unter der Geländeoberfläche verlaufen (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 38).

Bekämpft werden Mäuse durch das Errichten von Sitzrücken für Greifvögel, mittels Mäuseköder und einer regelmäßigen Mahd, die Graswucherungen- u. Verfilzungen verhindert (SCHILDBACH et al., 2009, 69). Auch LANDGRAF u. SETZER (2012)

raten entweder zu Giftködern oder zum Vergrämen der Mäuse durch eine gute, regelmäßige Bestandspflege mittels Bodenbearbeitung (Scheibenegge, Fräse) (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 38).

Mäuseköder sind verschiedene zugelassene Rodentizide, die per Hand, Auslegegerät oder Schermauspflug in die Gänge eingebracht oder in geeigneten Köderstationen ausgebracht werden. Zudem gibt es Rodentizide, welche als Gas in die Gänge eingebracht werden (HELBIG u. MÜLLER, 2010, 79). In Jahren mit hoher Mäusepopulation, insbesondere auf trockenen oder verunkrauteten Flächen, ist das Auslegen von Ködern im Raster von 30 m auf 30 m erforderlich (LIEBHARD, 2010a, 56).

Ergebnisse eine Studie aus Deutschland zeigen ferner, dass es Unterschiede in der Entwicklung von Mäusepopulationen in Abhängigkeit von der Flächenvornutzung gibt. Auf den gefrästen Grünland-Versuchsflächen war der Schaden durch Mäuse größer als bei mit dem Pflug vollbearbeiteten Acker-Versuchsflächen. Ursache dafür war das rasche wieder-zuwachsen der Pflanzstreifen und die gut gelockerte Pflugspur, welche den Mäusen ein rasches Fortbewegen zu den Pflanzenwurzeln hin ermöglichte (STOLL, 2011, 99). Auch LANDGRAF u. SETZER (2012) erwähnen das häufige Auftreten von Schermäusen auf vormaligem Grün- oder Brachland (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 38).

Den Mäusebefall betreffend erwähnt BLUMAUER (2011a) einen möglichen Vorteil stempelnder Pflanzverfahren vor bodenschlitzenden Pflanzverfahren (im Zuge der Bestandsbegründung). Möglicherweise würde dadurch den Mäusen das Auffinden einzelner Jungpflanzen erschwert. Nach BLUMAUER beruht diese Aussage auf Erfahrungen von Landwirten und ist nicht wissenschaftlich belegt (BLUMAUER, 2011a, 69).

Am Boden und auf den Blättern sind auch diverse Schneckenarten vorzufinden. Jedoch ist nach LIEBHARD (2010a) eine Bekämpfung aufgrund des derzeitigen Wissenstandes nicht sinnvoll (LIEBHARD, 2010a, 56).

2.2.4 Ernte

Die Wahl der optimalen Erntetechnik für Feldholzanlagen ist multifaktoriell bedingt. Beeinflussende Faktoren sind, abgesehen von der Baumart, die Umtriebszeit, die Schlaggröße, die Erntegutverwertung sowie innerbetriebliche Strukturen (DEIM, 2011, 62). Die Ernte von Feldholzanlagen findet während der Vegetationsruhe in den Wintermonaten statt (KALTSCHMITT et al., 2009, 226-227; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 44; HOFMANN, 2007, 193; LIEBHARD, 2010a, 70). Dadurch kann ein vitaler Stockausschlag gewährleistet werden (HOFMANN, 2007, 293; LIEBHARD, 2010a, 70). Die derzeit zur Verfügung stehende Erntetechnik basiert überwiegend auf modifizierten landwirtschaftlichen Maschinen. Alternativ werden Techniken der konventionellen Forstwirtschaft eingesetzt. Die Erntebedingungen sind geprägt durch einen begrenzten Erntezeitraum, oft gekoppelt mit einer mangelhaften Befahrbarkeit des Bodens. Gefordert werden daher schlagkräftige

Ernteverfahren und Erntetechnik, die auch bei ungünstigen Bodenverhältnissen eine optimale Arbeit gewährleistet. Gefrorene Böden erleichtern die Ernte, jedoch sind häufiger Reifenschäden zu erwarten (KALTSCHMITT et al., 2009, 226-227). Hohe Schneelagen behindern die Ernte (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 44). Um die Produktivität einer Anlage zu erhalten, müssen die Stöcke und der Boden schonend behandelt werden. Stockverletzungen entstehen durch eine unsaubere Arbeitsweise der Erntetechnik oder durch das Überfahren von Stöcken, welche auf gefrorenen Böden nicht nachgeben und einsinken können (KALTSCHMITT et al., 2009, 226-227).

Die Arbeitsschritte der Ernteverfahren von Feldholzanlagen sind das Fällen (Schneidevorgang), Vorkonzentrieren (Zusammenfassen der Holzmasse), Rücken (Transport der Holzmasse zum Feldrand) und evtl. Hacken (KALTSCHMITT et al., 2009, 227; HOFMANN, 2007, 194). Prinzipiell sind das dieselben Schritte wie bei der konventionellen Waldbaumernte. Werden diese Teilschritte des Ernteverfahrens kombiniert, ergeben sie das **Vollernteverfahren**. Werden die Arbeitsgänge getrennt erledigt, spricht man von einem **absätzigen Ernteverfahren**. Bei der absätzigen Ernte von Feldholzanlagen kommen Fäll-Lege-Maschinen und Fäll-Bündel-Maschinen zum Einsatz. In der Praxis werden überwiegend Vollerntemaschinen eingesetzt (KALTSCHMITT et al., 2009, 227).

„Fäll-Lege-Maschinen. Bei derartigen Maschinen handelt es sich um eine kontinuierlich arbeitende Kettensäge, die an die 3-Punkt-Heck-Hydraulik eines Acker- oder Forstschleppers angebaut und über die Zapfwelle angetrieben wird. Dieses Gerät ist vor allem für Kulturen mit einstämmigem Wuchshabitus wie z. B. Pappeln geeignet. Die in 10 bis 20 cm Höhe über dem Boden abgeschnittenen Bäume werden über einen Führungsrahmen in Reihenrichtung hintereinander am Boden zwischen den Stockreihen abgelegt. Anschließend – ggf. nach einer Bodentrocknung – sind weitere Arbeitsgänge zum Sammeln und Zerkleinern erforderlich“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 227).

„Fäll-Bündel-Maschinen. Auch bei den gezogenen oder selbstfahrenden Fäll-Bündel-Maschinen werden die Baumreihen – bei kontinuierlicher Maschinenvorfahrt – mit Kreis- oder Kettensägen gefällt. Die gefällten Bäume werden im gleichen Arbeitsgang aufgenommen, gesammelt und auf dem Ernter mitgeführt, bis sie – je nach Transportkapazität – entweder auf der Fläche oder am Feldrand bündelweise abgelegt werden. Diese Maschinen werden deshalb auch als Mähbündler bezeichnet. Dabei handelt es sich meist um lose Bündel. Bei jungen Bäumen ist aber auch die Gewinnung von verdichteten, netzgebundenen Langbündeln möglich /6-22/“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 227-228).

„**Hackgut-Vollerntemaschinen.** Hackgutvollernter (Abb. 2.2-1) zeichnen sich durch einen einphasigen Verfahrensablauf aus (d. h. Fällen, Hacken und Laden in einem Arbeitsgang).

Dies vereinfacht auch den Umschlag und den Transport, da hierfür allgemein verbreitete konventionelle Maschinen verwendet werden können. Wenn allerdings eine längere Lagerung zur Bevorratung des (frischen) Brennstoffs erfolgen soll, können sich Nachteile durch einen biologischen Abbau und durch Pilzwachstum ergeben“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 229). Mit modifizierter landwirtschaftlicher Vollerntetechnik, die mit eigens dafür entwickelten Spezialschneidewerken ausgestattet ist, können Bäume mit einem Wurzelhalsdurchmesser von bis zu 15 cm geerntet werden (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 44).

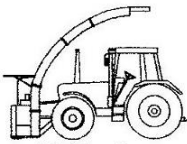
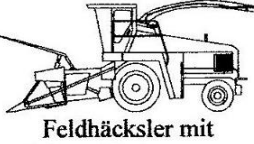
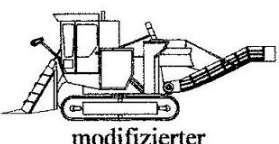
	 Mähacker (Gehölmähhäcksler)	 Feldhäcksler mit Schwachholzvorsatz	 modifizierter Zuckerrohrernter
Funktionsweise	vertikale Hackschnecke mit Sägeblatt, Zapfwellenantrieb, Anbau in 3-Punkt-Fronthydraulik, Abtrennen und gleichzeitiges Hacken aufrechter Bäume, Erntegutübergabe über Auswurfkanal	Erntevorsatz mit zwei Sägeblättern, horizontalen und vertikalen Einzugswalzen, Abweisergabel, konventionelle Häckslertrommel mit reduzierter Anzahl Halbmesser, Beschleuniger, Auswurfkanal	Selbstfahrer auf Raupenfahrfwerk oder Rädern, Schneidwerk mit 2 überlappenden Sägeblättern, rotierende Abweiserwalze, Reihenteilerschnecken, Einzug wie Feldhäcksler, Flügelradhacker mit 2 Messern, Hackgutzwischenbehälter, Kettenaustrag
geeignete Kulturarten	Pappeln (ab ca. 3 Jahren), Kultur mit Hauptstammausbildung und vertikaler Wuchsform	Pappeln und Weiden (ca. 2 bis 5 Jahre), Kultur mit Hauptstammausbildung oder buschiger Wuchsform	wie Feldhäcksler
Anzahl erntbarer Reihen	1	1 – 2	1 – 2
erforderlicher Reihenabstand	ab 0,9 m	Einzelreihen: 1 oder >1,50 m Doppelreihen: 0,75 / 1,25 – 1,60 m	Einzelreihen: ab 1,40 m Doppelreihen: 0,75 / 1,25 – 1,60 m
Basismaschine	Schlepper mit Fronthydraulik, ab ca. 85 kW	selbstfahrender Häcksler 260 – 354 kW	Selbstfahrer 176 kW
Hackgutstruktur	sehr grob (ca. 100 mm)	mittel (15 – 45 mm)	mittel bis grob (ca. 20 – 60 mm)
Schüttdichte (Frischmasse)	260 – 350 kg(FM)/m ³	360 – 440 kg(FM)/m ³	300 – 370 kg(FM)/m ³

Abbildung 2.2-1 Hackgut-Vollerntemaschinen (Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 230 nach Hartmann, H.; Thuneke, K. und Mayer, B.: Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen. Landtechnik 51, 1996, Heft 3, S. 154-155)

BECKER et al. (2010) gliedern die Maschinen der Ernteverfahren von Feldholzanlagen, korrespondierend zur Einteilung der Erntemaschinen nach KALTSCHMITT et al. (2009) in die Stammholzlinie, die Bündellinie und in die Hackgutlinie (siehe Abb. 2.2-2). Die Wahl des Ernteverfahrens bzw. der

einzusetzenden Maschinen richtet sich primär nach dem Erntebestand und (Ernte-) Ziel-Produkt (Umtriebszeit). Die End- bzw. Ernteprodukte lassen sich daher einteilen in Stammholzabschnitte (Stückholz), Bündel- oder Hackgut (BECKER et al., 2010, 88).

Stammholzlinien sind nach BECKER et al. (2010) überwiegend konventionelle motormanuelle oder mechanisierte Verfahren aus der Forstwirtschaft. Voraussetzung hierfür sind lange Umtriebszeiten zwischen 10 und 20 Jahren. Bei kleinen Flächen mit stofflicher Nutzung des Erntegutes ist aus arbeitswirtschaftlichen Gründen eine motormanuelle Ernte vorzuziehen. Bei großflächigen Anlagen und stofflicher Verwertung des Erntegutes können aus wirtschaftlicher Sicht mechanisierte Ernteverfahren angewendet werden (BECKER et al., 2009, 88).

KALTSCHMITT et al. unterscheiden teilmechanisierte- und vollmechanisierte Verfahren. Bei teilmechanisierten Verfahren wird das motormanuelle Fällen und Aufbereiten durch eine Seilwinde unterstützt. Bei vollmechanisierten Verfahren kommen sogenannte „Harvester“ zum Einsatz (KALTSCHMITT et al., 2009, 223):

Bei **Bündellinien** kommen sogenannte Mähbündler zum Einsatz. Mähbündler können Stämme bis zu etwa 6 cm (D_{10}) schneiden, sammeln und zum Teil bündeln. Bei längeren Umtriebszeiten und Stammdurchmessern zwischen 10 bis 20 cm eignen sich Forst-Harvester mit Fäller-Bündler-Kopf. Nach dem Bündeln und Ablegen folgen Aufbereitungsschritte analog zur Stammholzlinie oder Hackgutlinie. Für die Energieholzproduktion sind derartige Verfahren aus wirtschaftlichen Gründen ungeeignet (BECKER et al., 2010, 88).

Hackgutlinien sind sehr effizient und wirtschaftlich. Der Nachteil liegt in der begrenzten Lagerfähigkeit von erntefrischem Hackgut. Bei Hackgutlinien werden die Einphasenernte und die Zweiphasenernte unterschieden. Bei der Einphasenernte mähen und hacken selbstfahrende Maschinen oder Anbauaggregate in einem Arbeitsgang. Bei der Zweiphasenernte sind das Mähen und Hacken (inkl. Verladen) getrennte Arbeitsschritte (BECKER et al., 2009, 88-89). Erntemaschinen zur Hackgutproduktion sind beispielsweise Feldhäcksler, modifizierte Zuckerrohrernter und Mähhackler (KALTSCHMITT et al., 2009, 229) (siehe Abb.2.2-1). Mit dem Feldhäcksler können nach HANDLER (2011) Bestände mit einem Stammdurchmesser (D_{10}) von bis zu 13 cm geerntet werden. Je nach Bonität des Standortes entspricht das Umtriebszeiten zwischen 2 bis 4 Jahren (HANDLER, 2011, 78).

Hervorzuheben ist die wirtschaftliche Bedeutung der Ernte bei Feldholzanlagen. In der Literatur wird der Anteil der Erntekosten an den Gesamtkosten mit 50 bis 80 % beziffert und stellt so den zentralen Faktor für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage zur Feldholzproduktion dar (LIEBHARD, 2010a,70; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 44; HOFMANN, 2007, 193).

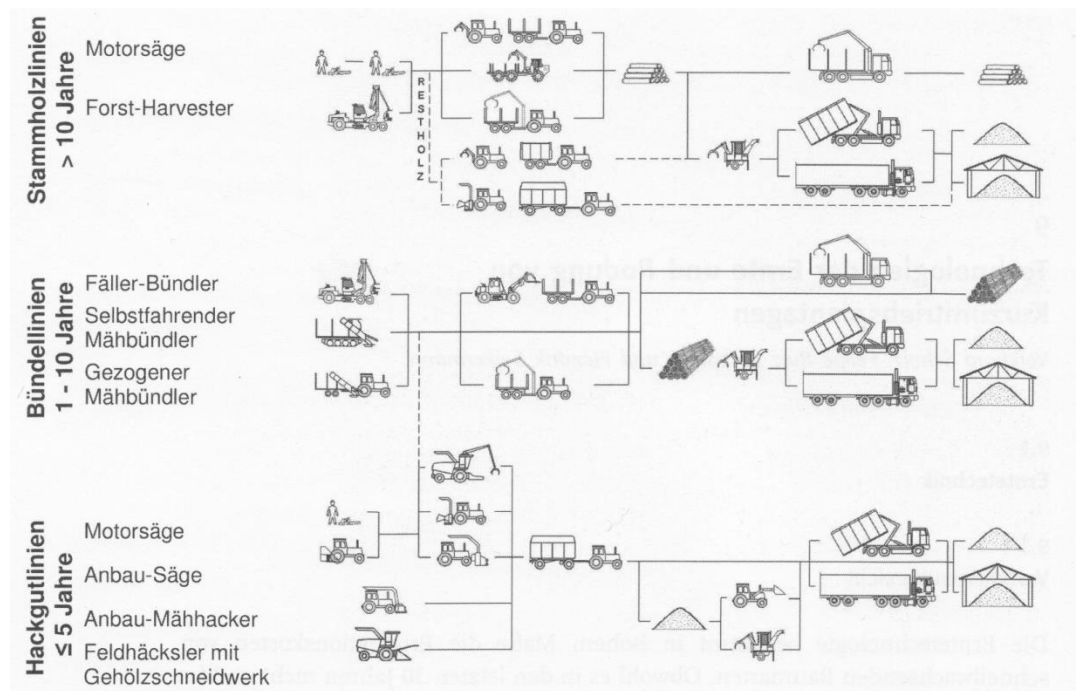


Abbildung 2.2-2 Maschinen und Verfahren für die Ernte von Feldholzanlagen
(Übernommen aus SCHOLZ et al., 2009, 100)

2.2.5 Bereitstellung des biogenen Rohstoffes Holz

Das Ziel einer Biomasselogistik (Biomassebereitstellung) ist es, Biomasse kundenorientiert und kostenminimal, zur richtigen Zeit zum richtigen Preis, am richtigen Ort in der richtigen Menge und Qualität bereitzustellen. Die Biomassebereitstellung wird vom gewählten Ernteverfahren (inkl. Aufbereitungsverfahren), dem Transportverfahren, dem Lagerungsverfahren und dem Konservierungs- bzw. Trocknungsverfahren beeinflusst (KALTSCHMITT et al., 2009, 171-178). Um die zeitlichen und räumlichen Distanzen zwischen Biomasseanfall und Biomasseverwertung möglichst effizient und verlustfrei zu gestalten, sind entsprechende Transport-, Lagerungs- und Konservierungsprozesse (Trocknung) erforderlich. Die Reihenfolge dieser Verfahrensschritte ist von den Bedingungen vor Ort abhängig (KALTSCHMITT et al., 2009, 277).

Im Bereitstellungsprozess laufen in der Regel mehrere Transportvorgänge ab. KALTSCHMITT et al. (2009) unterscheiden zwischen Straßentransporten, Schienentransporten und Schiffstransporten. Die lokalen Randbedingungen (Entfernung), die Verfügbarkeit geeigneter Fahrzeuge, das Erntegut (Hackgut, Stammholz) und die jeweiligen ökonomischen Gegebenheiten beeinflussen die Wahl des Transportgeräts (KALTSCHMITT et al., 2009, 277-285).

Der Prozess der Lagerung dient einerseits dazu, Zeitspannen zwischen Biomasseanfall (Ernte) und Biomassenutzung (Weiterverarbeitung, Verwertung) zu überbrücken, andererseits dient die Lagerung der Konservierung von Biomasse (Trocknen). Der Lagerungsprozess biogener Substanzen ist grundsätzlich mit Risiken (z. B. Substanzverlust) verbunden, die allerdings durch eine entsprechende

Lagerungstechnik verringert werden können (KALTSCHMITT et al., 2009, 285-313). Um den Substanzverlust während der Lagerung zu verringern, muss beispielsweise bei Hackgut ein Wassergehalt von unter 20% erreicht werden. Grundsätzlich muss ein Kompromiss zwischen einem hohen Trocknungsaufwand und einem Substanzverlust bei erhöhtem Wassergehalt während der Lagerung in Kauf genommen werden (WEINGARTMANN, 2011, 87-88).

KALTSCHMITT et al. (2009) differenzieren zwischen einer Bodenlagerung im Freien, einer Lagerung in Gebäuden und einer Kurzzeitlagerung am Ort der Weiterverarbeitung (stofflich, energetisch). Bei der Bodenlagerung im Freien ist zwischen einer Lagerung mit Witterungsschutz (abgedeckt) und einer Lagerung ohne Witterungsschutz zu unterscheiden. Für die Lagerung in Gebäuden kommen sowohl Hallen (Rundholz) als auch Behälter (Schüttgut) in Betracht (KALTSCHMITT et al., 2009, 285-313).

Der Verfahrensschritt „Trocknung“ wird als Konservierungsmethode verstanden, die teilweise sogar unverzichtbar ist. Im Zuge der Trocknung erfährt die Biomasse (Holz) eine Heizwertsteigerung, Gewichtsverminderung und eine Qualitätssteigerung. Die Trocknung erfolgt unter anderem aus wirtschaftlichen Gründen; überwiegend in Kombination mit der Lagerung und Bevorratung. Nur in Ausnahmefällen werden Lagerung und Trocknung zeitlich und räumlich getrennt. Beispielsweise dann, wenn Holz erst getrocknet und anschließend weiterverarbeitet und dann gelagert wird. Man unterscheidet allgemein zwischen einer „natürlichen Trocknung“ und einer aktiven Belüftungstrocknung. Bei der natürlichen Trocknung unterscheidet man die Bodentrocknung (Ganzbaum- od. Stammholz), Trocknung durch natürliche Konvektion (Stapelgut) und die Trocknung durch Selbsterwärmung (Schüttgut). Technische Trocknungsverfahren sind die Belüftungskühlung (Schüttgut im Winter), die Belüftungstrocknung (Schüttgut im Sommer), die Warmlufttrocknung (effizienter als Belüftungstrocknung) und die Heißlufttrocknung (Holzpelletierung) (KALTSCHMITT et al., 2009, 314-326). Nach WEINGARTMANN (2011) ist für die Trocknung von Kurzumtrieb-Holz die Lösung erster Wahl ein Verzicht auf jede Art von technischer Trocknung. Der Grund dafür ist der erhebliche und unwirtschaftliche Energieaufwand eines technisch unterstützten Trocknungsverfahrens. Im konkreten Fall muss frisch geerntetes Feldholz mit einem Wassergehalt von 40% bis 55% auf geforderte 30% bis 10% Endfeuchte getrocknet werden. WEINGARTMANN (2011) beziffert den nötigen Wasserentzug mit 250 bis 438 kg Wasser/ t Erntegut (frisch) für eine Endfeuchte von 20%. Bei einem aktiven Trocknungsverfahren sollte die zur Verfügung stehende Umweltenergie (z. B. Solarenergie) aber auch Abwärme aus anderen Prozessen (Biogasverstromung) eingesetzt werden (WEINGARTMANN, 2011, 86-87).

2.2.6 Verwertungsmöglichkeiten von Erntegut aus Anlagen zur Feldholzproduktion

Die Biomasse (Lignocellulose) schnellwachsender Baumarten aus Kurzumtrieb-Anlagen lässt sich je nach Nutzungsstrategie (siehe Kapitel 2. 1. 3 „Bewirtschaftungsstrategie“) entweder energetisch und/ oder stofflich verwerten bzw. verarbeiten (GEROLD et al., 2009, 73). Aufgrund der zunehmenden Nutzungskonkurrenz begrenzt nachwachsender Biomasse (i.e.S. Holz) muss eine Verwertung zunehmend effizient gestaltet werden. Ein Lösungsansatz stellt dabei die Kaskadennutzung nachwachsender Biomasse dar. Realisieren lässt sich dieses Konzept durch eine Hintereinanderschaltung stofflicher und energetischer Verarbeitungsstufen desselben Rohstoffes, was eine Koppelung des Material- und Energiesektors darstellt (ARNOLD et al., 2009, s.p).

Die Bereitstellung gewünschter Holzsortimente mit entsprechenden Qualitätsmerkmalen (Wassergehalt, elementare Zusammensetzung etc.) wird grundsätzlich durch die jeweiligen produktionstechnischen Maßnahmen (Planung bis Ernte bzw. Logistik) bestimmt. Im Wesentlichen betrifft das die Umtriebsdauer, die Pflanzdichte, den Pflanzverband, die Pflegemaßnahmen in der Etablierungsphase bzw. der Folgerotation(en), die Ernte und die Logistik (GEROLD et al., 2009, 74-76; LIEBHARD, 2010a, 83). Nach LIEBHARD (2010a) variiert das Verhältnis wesentlicher Qualitätsparameter im Erntegut innerhalb der ersten zehn Jahre (ohne Ernte). Danach bewegen sich die Parameterwerte zueinander in einem engen Bereich (LIEBHARD, 2010a, 83)

Unabhängig von der Art der Weiterverarbeitung bzw. Verwertung sind nach BEMMANN et al. (2010, 252, modifiziert) drei mögliche Verwertungsmodelle zu unterscheiden:

Modell 1: Selbstverwerter mit Eigenbedarf

Modell 2: lokale/ regionale mittelgroße Verbraucher/ Unternehmer

Modell 3: überregionale Großverbraucher/ Industrie

2.2.6.1 Stoffliche Verwertung

Bei dem Begriff der Feldholzproduktion in Kurzumtrieb sind Assoziationen wie „Holz minderer Qualität“ oder „Holz ausschließlich für energetische Zwecke“ nicht mehr zeitgemäß. Neue Technologien gewährleisten zunehmend auch eine erweiterte stoffliche Verwertung derartiger Holzsortimente bei entsprechender Umtriebszeit und Qualität (ZIEGLER et al., 2010, 256).

Pappel-Rohholz aus Kurzumtrieb-Anlagen kann, wie Rohholz aus forstwirtschaftlich produzierten Lignocellulosepflanzen, von der Sägeindustrie, der Holzwerkstoffindustrie (Span- und Faserplattenhersteller, Furnierwerke) und der Zellstoff- und Papierindustrie weiterverarbeitet werden (KALTSCHMITT et al., 2009, 79; LIEBHARD, 2010a, 81). Nach LIEBHARD (2010a) kann mit

Umtriebszeiten von mindestens 7 bis 10 Jahren Industrieholz produziert werden. Gründe dafür sind einerseits notwendige Mindestlängen für Stammabschnitte bzw. Mindest- Stammdurchmesser und andererseits besitzen Pappeln erst ab diesem Alter die geforderten, ausreichend langen, biegsamen Fasern (LIEBHARD, 2010a, 81). Nach ZIEGLER et al. (2010) eignet sich Pappelholz, nach eigens dafür durchgeführte Untersuchungen, zur Herstellung von Formholz, MDF- (Medium Density Fibreboards) und HDF (High Density Fibreboards) - Faserplatten sowie zur Herstellung von Zell- und Holzstoff für die Papierproduktion (ZIEGLER et al., 2010, 256- 270). „Bei geschickter Auswahl der Pappelsorten in Bezug auf die zur Verfügung stehenden Standorte lässt ein durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs von 8 bis 10 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ (RÖHLE et al. 2008 in ZIEGLER et al., 2010) eine für die Holzindustrie im Vergleich zu herkömmlichen Kiefern- und Fichtenholzsortimenten deutlich wirtschaftlichere Verwendung von Pappelholz erwarten“ (ZIEGLER et al., 2010, 269).

2.2.6.2 Energetische Verwertung

Nach LIEBHARD (2010a) wird derzeit nahezu die gesamte Ernte aus der Feldholzproduktion energetisch als Brennstoff genutzt. Im Vergleich dazu werden aus dem Bereich der Forstwirtschaft lediglich 10 bis 20% des Rohholzes energetisch (Meterholz, Scheitholz, Hackschnitzel) verwertet (LIEBHARD, 2010a, 81). Für die thermische Verwertung von Biomasse (Holz) sind der Wassergehalt, die Energiedichte und die chemische Zusammensetzung (N, S, Cl, etc.) bedeutend (LIEBHARD, 2010a, 84). Im Kapitel 2.3.5 „Ertragsschätzung, Ertragsverhalten und Qualitätskriterien der Gattung Populus“ wird genauer auf die einzelnen Qualitätskriterien für Feldholz (Hackgut) eingegangen. Nach KALTSCHMITT et al. (2009) sind folgende energetische Verwertungsmöglichkeiten für Feldholz (feste Biomasse) möglich:

Direkte thermo-chemische Umwandlung (Verbrennung)

„Für biogene Festbrennstoffe (z. B. Holz, Stroh) hat die direkte Verbrennung in Feuerungen bis heute die weitaus größte Bedeutung unter den Energiewandlungsprozessen und -verfahren. Verbrennungsanlagen werden eingesetzt zur Produktion von Wärme, die genutzt werden kann als Sekundärenergie (z. B. Dampf, der dann weiter in elektrische Energie umgewandelt werden kann), als Endenergie (z. B. Fernwärme) oder als Nutzenergie (z. B. Strahlungswärme eines Kachelofens). Unter einer Verbrennung wird dabei in diesem Zusammenhang die Oxidation eines Brennstoffs unter Energiefreisetzung verstanden. Dabei entstehen Abgase und Asche“ KALTSCHMITT et al., 2009, 463).

Vergasung

Neben der (direkten) Verbrennung kann feste Biomasse (Holz) auch mittels einer thermo-chemischen Umwandlung zunächst in einen Sekundärenergieträger (Gas) umgewandelt werden. Grundsätzlich laufen bei der Vergasung die gleichen

Umwandlungsprozesse ab, wie bei der Verbrennung. Der Sekundärenergieträger wird bei der Umwandlung in End- oder Nutzenenergie ebenfalls vollständig oxidiert. Das (durch eine thermo-chemische Umwandlung) aus biogenen Festbrennstoffen produzierte Gas wird oft uneinheitlich bezeichnet. Weit verbreitet ist der Begriff des „Produktgases“ und der des „Schwachgases“ (LCV- (Low Calorific Value) Gas) (KALTSCHMITT et al., 2009, 599). „Wird durch eine Vergasung ein an Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffmonoxid (CO) reiches Gas erzeugt, kommt auch die Bezeichnung Synthesegas zur Anwendung“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 599).

Pyrolyse

„Biomasse kann durch thermo-chemische Prozesse – und hier im Wesentlichen durch eine pyrolytische Zersetzung unter Ausschluss von Sauerstoff – direkt in überwiegend flüssige (d. h. Pyrolyse- oder Bio-Öle) oder feste Produkte (d. h. Biomassekoks, Holzkohle) umgewandelt werden“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 671). Man unterscheidet zwischen einer Pyrolyse mit dem Ziel der Bereitstellung flüssiger- oder fester Sekundärenergieträger (KALTSCHMITT et al., 2009, 599). In Tab. 2.2-17 ist die Ausbeute verschiedener Holzarten durch Pyrolyse dargestellt.

Tabelle 2.2-17 Ausbeutung verschiedener Holzarten durch Pyrolyse (Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 674):

		Pappel	Fichte	Ahorn
Prozessbedingungen				
Temperatur	in °C	504	500	508
Wassergehalt	in Gew.-%	5,2	7,0	5,9
Partikelgröße	in mm	1,0	1,0	1,0
Aufenthaltszeit	in s	0,47	0,65	0,47
Ausbeuten bezogen auf Holztrockenmasse				
Reaktionswasser	in Gew.-%	9,55	11,90	9,60
Koks	in Gew.-%	16,50	12,90	13,45
Öl (wasserfrei)	in Gew.-%	62,70	67,40	67,45
Gas	in Gew.-%	11,25	7,80	9,50
davon CO		4,70	3,80	4,10
CO_2		5,90	3,40	4,90
H_2		0,02	0,02	0,01
CH_4		0,44	0,38	0,34
C_2H_4		0,19	0,20	0,15

Ethanolherzeugung

Lignocellulosehaltige Rohstoffe (Holz) bestehen aus Cellulose, Hemicellulose, Lignin und Spurenelementen (KALTSCHMITT et al., 2009, 798). Hackgut aus der Feldholzproduktion beispielsweise weist in der Trockenmasse etwa 30-45% Zellulose, 20-30% Hemizellulose und 20-25% Lignin auf (LIEBHARD, 2010a, 83). Um die in pflanzlichen Rohstoffen wie z. B. Holz und Stroh enthaltenen Zucker für

eine Alkoholproduktion verfügbar zu machen, müssen diese zunächst durch eine geeignete Vorbehandlung zugänglich gemacht werden. Erst danach können die langkettigen Cellulose- und Hemicellulosemoleküle hydrolysiert werden. Die Hydrolyse kann entweder enzymatisch katalysiert werden oder durch den Einsatz von

Säuren erfolgen“ (siehe Abb. 2.2-3) (KALTSCHMITT et al., 2009, 799).

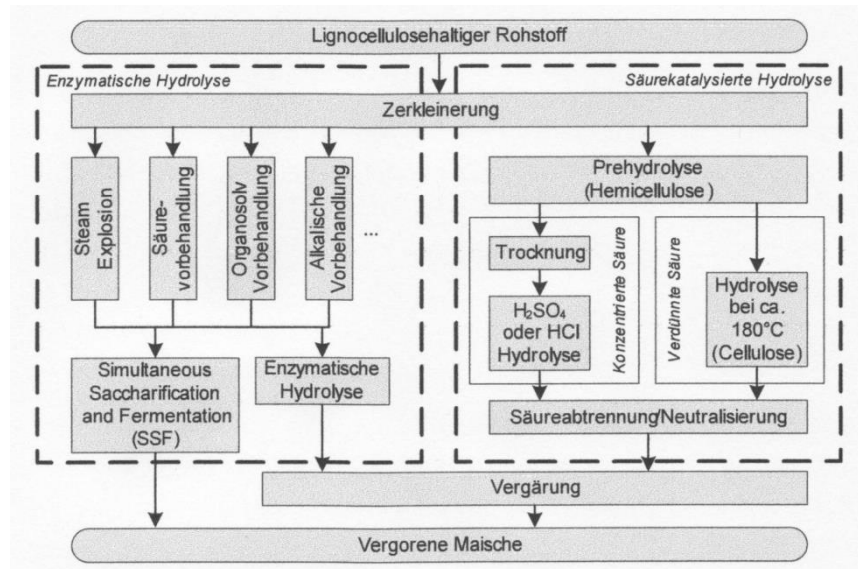


Abbildung 2.2-3 Enzym- u. säurekatalysierte Verzuckerung

(Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 809)

2.2.7 Rekultivierung

Spätestens mit dem Erreichen der maximalen gesetzlichen Nutzungsdauer (20 bzw. 30 Jahre) einer Anlage zur Feldholzproduktion erfolgt eine Bestandsauflösung und eine anschließende Rekultivierung (LIEBHARD, 2010a, 98). Die Rodung bzw. Rekultivierung in Ackerland wird in der Literatur als unproblematisch bezeichnet (SCHOLZ et al., 2009, 111; GROBE et al., 2010, 130; LIEBHARD, 2010a, 99; KALTSCHMITT et al., 2009, 91-92). In Abhängigkeit vom Alter der Anlage, dem Zustand der Wurzelstöcke und des Pflanzverbandes und auch des Fahrgassenabstandes muss im Einzelfall entschieden werden, ob die gesamte Fläche oder nur die Pflanzreihen verfahrenstechnisch bearbeitet werden (LIEBHARD, 2010a, 98). Grundsätzlich werden für die Rodung Mulchgeräte (Forstmulcher) und Rodefräsen eingesetzt (LIEBHARD, 2010a, 99; KALTSCHMITT et al., 2009, 91).

In der Literatur wird ein zweistufiger Rodungsvorgang empfohlen. Beim Mulchvorgang werden oberirdische Bestandteile der Stöcke zerkleinert. Mit der Roderfräse werden unterirdische Stockbestandteile bis auf ca. 40 cm Bodentiefe zerkleinert (KALTSCHMITT et al., 2009, 91; LIEBHARD, 2010a, 99; SCHOLZ et al., 2009, 108).

LIEBHARD (2010a) weist darauf hin, dass bei der Bestandsauflösung grundsätzlich auch eine Ernte im belaubten Zustand sinnvoll sein kann, da ein Neuaustrieb aus den Stockteilen ohnehin unerwünscht ist (LIEBHARD, 2010a, 99). Um die

Wiederaustriebsrate möglichst gering zu halten, raten SCHOLZ et al. (2009) nach der Rodung zu einer Bodenbearbeitung mit Scheiben- oder Kreiselegge, zu geeigneten Folgekulturen und dem Einsatz von Herbiziden gegen Dikotyle. Eine sorgfältige Bodenbearbeitung und die anschließende Einsaat einer raschwüchsigen Zwischenfrucht ist grundsätzlich ausreichend (SCHOLZ et al., 2009, 110). LIEBHARD (2010a) gibt Mais und Feldfutterkulturen bei einer Nachnutzung im Jahr der Bestandsauflösung den Vorrang vor Sommergetreide (LIEBHARD, 2010a, 99).

Nach der Rodung bzw. Zwischenfrucht kann nochmals Feldholz im Kurzumtrieb gepflanzt werden oder die Fläche wird landwirtschaftlich mit standortüblichen Fruchtfolgen als Acker oder Wiese bewirtschaftet (LIEBHARD, 2010a, 98).

2.3 Pflanzmaterial der Gattung Populus

2.3.1 Systematische Gliederung

Die Gattung *Populus* (Pappel) zählt mit der Gattung *Salix* (Weide) zu den *Saliaceae* (Weidengewächsen). Die ca. 40 Arten der Gattung *Populus* sind sehr verschieden und lassen sich in sechs Sektionen klassifizieren. Für den Anbau in Kurzumtrieb-Anlagen eignen sich insbesondere Arten der Sektionen *Aigeiros*, *Tacamahaca* und *Populus* (ehemals *Leuce*) (WOLF et al., 2010, 37; DILLEN et al., 2011, 276 u. 279; LIEBHARD, 2010a, 23). Die Arten der Gattung *Populus* sind nahezu auf der gesamten nördlichen Erdhalbkugel sowie in einem kleinen Areal am Äquator in Afrika anzutreffen. Die Zuordnung der einzelnen Arten zu den unterschiedlichen Sektionen ist jedoch noch nicht abschließend geklärt (HOFMANN, 2005, 7). In Abb. 2.3-1 sind die Sektionen und in Abb. 2.3-2 die Kreuzbarkeit der Sektionen dargestellt. Nach BAUMEISTER et al. (1979) in HOFMANN (2005) ist die Gattung eine komplexe Mischung aus Baumarten, die im Überlappungsgebiet zweier Arten leicht natürliche Hybriden hervorbringen (Arthybriden). Ein Beispiel dafür sind die Graupappeln, ein Hybridgemenge aus *Populus tremula* und *Populus alba*. Der Großteil natürlicher und künstlicher Hybriden ist fertil, sodass viele Kombinationsmöglichkeiten bestehen (HOFMANN, 2005, 7-8). Nach ZSUFFA (1975) und ECKENWALDER (1996) in HOFMANN (2005) bestehen Kreuzungsbarrieren hauptsächlich zwischen den Sektionen (Abb. 2.3-2). Lediglich die Arten der Sektion *Aigeiros* und *Tacamahaca* können barrierefrei miteinander gekreuzt werden (HOFMANN, 2005, 8; DILLEN et al., 2011, 279).

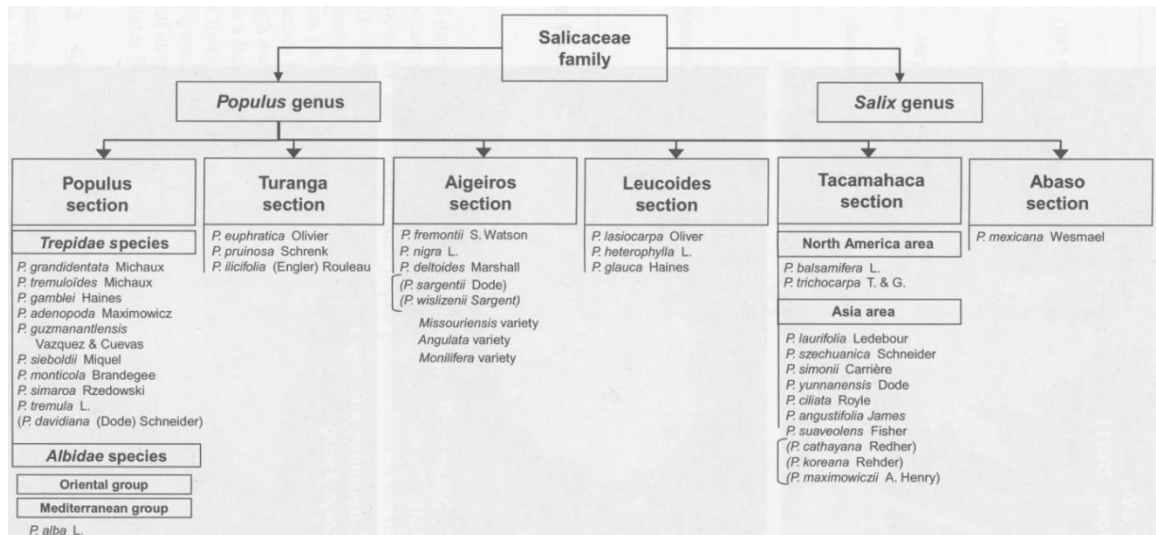


Abbildung 2.3-1 Gliederung bedeutender Arten und Hybride der Gattung *Populus* nach Sektion (Übernommen aus DILLEN et al., 2011, 278)

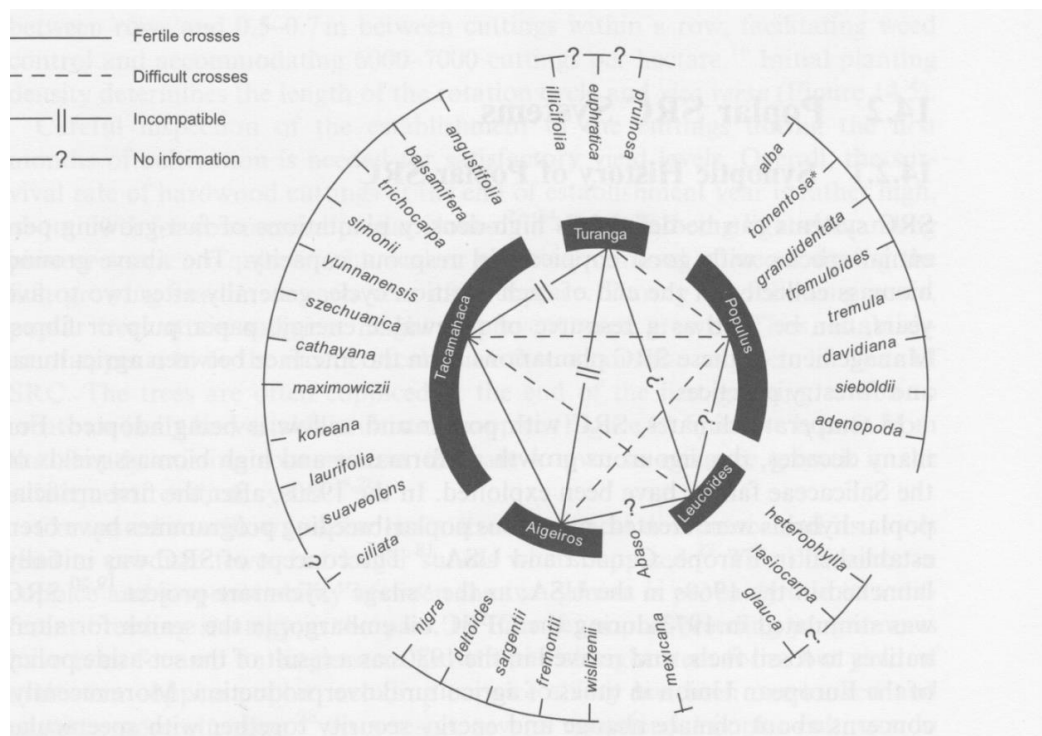


Abbildung 2.3-2 Kreuzbarkeit der Sektionen der Gattung *Populus* (Übernommen aus DILLEN et al., 2011, 279)

2.3.2 Züchtung und Vermehrung

Der historische Züchtungsverlauf für Pappelsorten lässt sich grundsätzlich in drei Phasen gliedern (Abb. 2.3-3). Mit dem Züchtungsverlauf änderten sich auch die Züchtungsziele (Abb. 2.3-4). Nach ROHMEDE (1955) in TUBES u. SCHIRMER (2012) wurden bis in die 1950er-Jahre Hochwaldklone für den Flurholzanbau und für Auwälder zur Sicherung der heimischen Rohstoffversorgung gezüchtet. In der

zweiten Phase wurden für waldbauliche Zwecke in den 1960er- bis zu den 1980er-Jahren überwiegend Hochwaldklone gezüchtet. Mit dem damals steigenden Import von billigem Holz und Rohöl gestalteten sich die Erträge aus der Pappelwirtschaft als nicht mehr wirtschaftlich konkurrenzfähig. So verloren schnellwachsende Hölzer während des Wirtschaftsaufschwungs der 1969er-Jahre an Bedeutung. Wiederbelebt wurde die Pappelzüchtung ab 1970, bedingt durch die damalige Ölkrise. Heute dienen Feldholzanlagen dazu, einen Teil der erneuerbaren Energien bereitzustellen. Ferner erhofft man sich durch Feldholzanlagen eine Entschärfung des Konkurrenzkampfes um den Rohstoff Holz zwischen energetischer und stofflicher Nutzung (TUBES u. SCHIRMER, 2012, 167-168).

Zeit	Verwendete Klone	Verwendungszweck
bis 1950er Jahre	P. x euramericana (P. nigra x P. deltoides)	Hochwaldklone für Flurholzanbau sowie Auwald
1960er bis 1980er Jahre	Balsampappelhybride	Hochwaldklone im Wald („Waldpappeln“)
seit 1980er Jahre	Hochleistungshybride	Energiewald

Abbildung 2.3-3 Die Historie der Pappelzüchtung (TUBES und SCHIRMER, 2012, 167)

Züchtungsziele Altklone (Hochwald)	Züchtungsziele Kurzumtriebsklone
Resistenz gegen Schaderreger	Resistenz gegen Schaderreger
Gerade Stammform	Rasches Jugendwachstum
Wipfelschäftigkeit	Starkes Stockausschlagvermögen
Rasches Dickenwachstum	Maximaler Biomassezuwachs in den ersten 10 Standjahren
Regelmäßiger Holzaufbau	hohe Anwuchsrate

**Abbildung 2.3-4 Gegenüberstellung einiger Züchtungsziele für Pappel in
Abhängigkeit vom Verwendungszweck** (TUBES und SCHIRMER, 2012,169)

Bei der Gattung *Populus* wird grundsätzlich mit Auslesezüchtung, Kreuzungszüchtung und der Kombination beider Verfahren gearbeitet. Vermehrt wird mittels einfacher vegetativer Verfahren (Steckhölzer), mit Ausnahme der Aspen (Sektion *Populus*, ehemals *Leuce*) (WOLF et al., 2010, 36). Die Auslesezüchtung ist ein relativ einfaches Verfahren, bei dem Bäume oder Bestände auf Grundlage ihres Phänotyps (Erscheinungsbild) oder nach Durchführung einer Vergleichsprüfung auf Basis des Genotyps weitervermehrt werden, um ein oder mehrere zuvor definierte Zuchtziele zu erreichen. Bei Vorliegen einer großen genetischen Variation des Ausgangsmaterials sind rasch signifikante Verbesserungen der gewünschten Merkmale zu realisieren. Bei der Kreuzungszüchtung werden Elternbäume mit

unterschiedlichen Merkmalen (Genotyp) mittels unterschiedlicher Verfahren gekreuzt. Dies geschieht mit dem Ziel, Merkmale zu kombinieren und/ oder additive Wirkungen (Merkmalwert in der Mitte beider Homozygoten) bzw. nicht additive Wirkungen (Heterosis z.B. Überdominanz) von Genen zu erzielen (WOLF et al., 2010, 34-35). Nach ERIKSSON et al. (2006) und ROHMEDER u. SCHÖNBACH (1959) in WOLF et al. (2010) werden Kreuzungen dabei intraspezifisch (innerhalb von Arten), interspezifisch (zwischen verschiedenen Arten) oder intergenetisch (zwischen verschiedenen Gattungen) durchgeführt. Dabei werden neue Genotypen geschaffen. Diese Genotypen müssen vor ihrer Vermehrung einer Leistungsprüfung bezüglich der gewünschten Eigenschaften unterzogen werden (WOLF et al., 2010, 35).

Grundsätzlich mögliche Verfahren sind ebenso die Mutationskreuzung, die genetische Transformation sowie die Kombination aller Verfahren (WOLF et al., 2010, 35-36).

Zum Zeitpunkt 31.03.2009 existierten in Europa 97 Klone aus der Sektion Aigeiros, 30 Klone aus der Sektion Tacamahaca und 24 Klone aus der Sektion Populus (ex. Leuce) als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von Forstvermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ nach EU-RL. Von diesen Klonen unterlagen zu diesem Zeitpunkt 22 dem europäischen Sortenschutz (WOLF et al., 2010, 37).

Nach WOLF et al. (2010) sind die Potentiale der Baumarten, welche in Kurzumtrieb-Anlagen verwendet werden, mit klassischen Züchtungsverfahren bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Zudem können oft zeitintensive Verfahren durch markergestützte Selektionsverfahren sowie biotechnologische Verfahren verbessert werden. Auch diese Technologien können notwendige mehrjährige Feldversuche nicht ersetzen. Feldversuche entscheiden letztlich über die tatsächliche Anbaueignung züchterisch bearbeiteten Materials. Züchterisch zu verbessernde Merkmale sind vorrangig Leistungsmkmale (Biomasse), Resistenzen (abiotisch) sowie eine verbesserte Vermehrbarkeit. Sekundär sind verbesserte Holzeigenschaften (Faserlänge, Lignin, Rindenanteil) zu realisieren. Eine besondere Herausforderung ist die züchterische Verbesserung von Resistenzen gegenüber biotischen Schaderregern (WOLF et al., 2010, 40- 41). Speziell in der Pappelzüchtung sind eine dauerhafte Resistenz gegenüber dem Erreger des Pappelblatトロstes sowie eine Resistenz gegenüber dem Erreger des Pappelkrebses (*Xanthomonas populi*) gefordert (WOLF et al., 2010, 37).

„Die Verbesserung der Ertrags- und Resistenzeigenschaften von schnellwachsenden Baumarten und die damit verbundene Steigerung der Betriebssicherheit stellt ein erhebliches Potential dar, um die vorhandenen Ressourcen effizienter zu verwenden, die Wertschöpfungskette signifikant zu verbessern und damit die Rohstoffversorgung nachhaltig sicherzustellen“ (WOLF et al., 2010, 41).

2.3.3 Sorten- und Hybrideigenschaften der Sektionen Aigeiros, Tacamahaca und Populus

2.3.3.1 Pappelarten und Hybride der Sektion Aigeiros (Schwarzpappeln)

Diese Arten und Hybride sind relativ wärme- und lichtbedürftig (LIEBHARD, 2010a, 23; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 11). LIEBHARD (2010a) empfiehlt eine nötige Jahresmitteltemperatur von $>8,5$ °C und mehr als 150 Vegetationstagen (LIEBHARD, 2010a, 23-24). Sie sind für leichte, warme Standorte mit möglichst guter Grundwasseranbindung geeignet. Die derzeit verfügbaren Sorten sind eher für den mittelfristigen Anbau geeignet (>10 Jahre) (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 11). Zudem stellen diese Sorten hohe Ansprüche an die Nährstoffversorgung und benötigen eine gute Durchwurzelbarkeit des Bodens. Staunasse Standorte sind für diese Sorten ungeeignet. Bevorzugt werden gut durchlüftete Auböden mit guter Wasserführung. Diese Sorten verfügen über ein langsames Jugendwachstum haben aber eine hohe Ertragsleistung bei längeren Umtriebszeiten. Eine Dichtpflanzung wird von diesen Sorten nicht toleriert (LIEBHARD, 2010a, 25).

2.3.3.2 Pappelarten und Hybride der Sektion Tacamahaca (Balsampappeln)

Diese Arten und Hybride sind relativ anspruchslos (LIEBHARD, 2010a, 24; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 11). Ein Anbau ist bis in wechselwarme Gebirgslagen möglich. Die verfügbaren Sorten sind eher für kurze Umtriebszeiten (<3 Jahre) geeignet. Diese Sorten gedeihen auf einem breitem Bodenspektrum (Sand bis Lehm) und sind zudem relativ kalkverträglich. Sie zeichnen sich durch ein schnelles Jugendwachstum bei gleichzeitig hoher Ertragsleistung aus (LIEBHARD, 2010a, 25).

2.3.3.3 Pappelarten und Hybride der Sektion Populus (Weiß- u. Zitterpappeln)

Die Sorten dieser Sektion stellen im Vergleich zu den vorigen Sektionen die geringsten Standortansprüche (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 11; LIEBHARD, 2010a, 25; LIESEBACH et al., 2012, 74). Das Potential guter Standorte wird von diesen Sorten jedoch nicht voll ausgeschöpft (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 11). Nach LANDGRAF u. SETZER (2012) sind diese Sorten eher für den mittelfristigen Anbau (>10 Jahre) geeignet aufgrund der Neigung zu einer starken Wurzelbrut, was bei zu hohen Pflanzdichten zu starker intraspezifischer Konkurrenz führen kann (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 11). Sie bevorzugen mäßig feuchte bis trockene Lagen. Sie wachsen grundsätzlich auf allen Böden, bevorzugen aber humus- und nährstoffreiche Böden. Bei diesen Sorten ist mit einem langsamen Jugendwachstum und mittlerer Ertragsleistung zu rechnen. Nach LIEBHARD (2010a) sind sie dichtbestandsverträglich (LIEBHARD, 2010a, 25). Sorten dieser Sektion kommen mit Stresssituationen besser zurecht und sind weniger krankheitsanfällig (LIESEBACH et al., 2012, 74). Klonmaterial der Aspe kann nur mit aufwendigen Vermehrungsverfahren über Wurzelstecklinge, Grünstecklinge oder in-vitro (meristematisch) erzeugt werden. Alternativ muss hochwertiges Saatgut (generativ vermehrt) verwendet werden (NAUJOKS u. KRAKAU, 2011, 411; SCHILDBACH et al., 2010, 66).

2.3.4 Pflanzgutarten

Nach LIEBHARD (2010a) und SCHILDBACH et al. (2010) werden in Abhängigkeit von der Baumart, des Auspflanztermins, der gegebenen Standortverhältnisse und der geplanten Nutzung (Zielstellung) unterschiedliche Pflanzgutarten in der Feldholzproduktion eingesetzt (LIEBHARD, 2010a, 32-34; SCHILDBACH et al., 2010, 65-66). Dabei gelten allgemeine Qualitätsmerkmale für alle Arten von Pflanzgut. Pflanzmaterial sollte frisch, gut verholzt und gerade sein und zudem nicht mit Anzeichen von Pilzbefall, Quetschungen, Rindenverletzungen, Nekrosen, Fäule oder Dürreschäden belastet sein. Des Weiteren ist unbewurzeltes Pflanzmaterial nur zu verwenden, wenn die Knospen zum Zeitpunkt der Pflanzung noch nicht angetrieben sind (SCHILDBACH et al., 2009, 62; SCHILDBACH, 2010, 66). In Folge werden Pflanzgutarten für Kurzumtrieb-Anlagen kurz vorgestellt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

Tabelle 2.3-1 Steckholz ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Steckholz	
Beschaffenheit	Ca. 20 (25) cm lang, 1,0 bis 2,0 (2,5) cm Durchmesser, aus einjährigen Trieben ^{a, c}
Optimale Pflanztiefe	20 (25) cm ^c
Vorteile	Kostengünstig, einfache Pflanzung (maschinell). Anwuchsraten besser bei längeren (25 cm) Steckhölzern ^b
Nachteile	Relativ geringere Anwuchsraten, starker Einfluss der Begleitvegetation ^b
Sektion(en)	Schwarzpappel (und deren Hybride), Balsampappel (und deren Hybride) ^b
Eignung	Energieholz, (Industrieholz) ^b

Tabelle 2.3-2 Lege-Steckholz ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34; (d) LIEBHARD, 2010a, 37-38):

Lege-Steckholz	
Beschaffenheit	Analog Steckholz ^c
Optimale Pflanztiefe	15-25 cm ^c
Vorteile	Erhöhte Bewurzelung ^d
Nachteile	Keine verbesserte Aufgangsraten trotz starker Bewurzelung ^d
Sektion(en)	k. A.
Eignung	k. A.

Tabelle 2.3-3 Bewurzeltes Steckholz ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Bewurzeltes Steckholz	
Beschaffenheit	Ca. 20 cm lang, 1,0 bis 2,0 (2,5) cm Durchmesser, aus einjährigen Trieben, bewurzelt ^a
Optimale Pflanztiefe	Ca. 20 cm ^a
Vorteile	Geringerer Einfluss der Begleitvegetation, zu Beginn relativ gute Wasserversorgung ^b
Nachteile	Relativ kostenintensiv, relativ hoher Pflanzaufwand ^b
Sektion(en)	Schwarzpappel (und deren Hybride), Balsampappel (und deren Hybride) ^b
Eignung	Energieholz, Industrieholz ^b

Tabelle 2.3-4 Einjährige Schösslinge aus Steckhölzern (LIEBHARD, 2010b, 115-117):

Einjährige Schösslinge aus Steckhölzern	
Beschaffenheit	100 bis 300 cm lang, aus Steckholz gezogene, einjährige Schösslinge, 1,0 bis 2,5 cm Durchmesser. Schösslingsproduktion analog zum Weinbau
Optimale Pflanztiefe	15 bis 25 cm
Vorteile	Verbesserte Anwuchsrate bei schlecht wurzelnden Klonen. Bei Umtriebszeiten von 3 bis 5 Jahren kann aufgrund der höheren Zuwächse im ersten Vegetationsjahr der Pflanzabstand auf 1,0 m erhöht werden.
Nachteile	Relativ kostenintensives Pflanzmaterial. Spezielle Pflanzmaschinen erforderlich (aus Weinbau)
Gattung(en)	k. A.
Eignung	Energieholz, Industrieholz

(LIEBHARD, 2010b, 115-117)

Tabelle 2.3-5 Steckruten ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Steckruten	
Beschaffenheit	100 (50) bis 200 (250) cm lang ^{a, (c)} , 1,0 bis 2,5 cm Durchmesser, einjährige Triebe ^c
Optimale Pflanztiefe	20 bis 40 cm (Pflanzung auch mit speziellen Maschinen möglich) ^c
Vorteile	Bessere Wasserversorgung, Anwuchs- und Aufwuchsraten höher als die der Steckhölzer, geringerer Einfluss der Begleitvegetation ^b
Nachteile	Relativ höherer Pflanzaufwand ^b
Sektion(en)	Schwarzpappel (und deren Hybride), Balsampappel (und deren Hybride) ^b
Eignung	Energieholz, Industrieholz ^b

Tabelle 2.3-6 Setzstangen ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Setzstangen	
Beschaffenheit	200 bis (400) 600 cm lang, 2,0 bis 5,0 cm Durchmesser, 2- bis 4-jährige Triebe, ohne Seitenzweige ^{a, c}
Optimale Pflanztiefe	70 bis 150 cm ^c
Vorteile	Geringerer Einfluss der Begleitvegetation, weniger Bodenvorbereitung nötig ^b
Nachteile	Relativ kostenintensiv; Ausfälle sollten ersetzt werden
Sektion(en)	Schwarzpappel (und deren Hybride), Balsampappel (und deren Hybride) ^b
Eignung	Energieholz, Industrieholz ^b

Tabelle 2.3-7 Lege- Ruten/ Stangen ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Lege-Ruten/ Stangen	
Beschaffenheit	80 (100) bis 250 cm lang, 0,8 bis 2,5 cm Durchmesser, einjährige (mehrjährig ^c) Triebe, ohne Seitenzweige / 2-4-jährige Triebe (2 bis 6 m lang); liegend ^a
Optimale Pflanztiefe	15 bis 25 cm ^c
Vorteile	Verwendung auch krummer Triebe ^b
Nachteile	Kaum Anbauerfahrungen, Bestandsdichte ungleichmäßig ^b
Sektion(en)	Schwarzpappel (und deren Hybride), Balsampappel (und deren Hybride) ^b
Eignung	Energieholz, (Industrieholz) ^b

Tabelle 2.3-8 Einjährige/ mehrjährige Pflanzen ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63-64; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Einjährige/ mehrjährige Pflanzen	
Beschaffenheit	30 bis 100 cm lang ^c , wurzelnackt (oder mit Ballen) ^a , generativ oder vegetativ vermehrt ^b
Optimale Pflanztiefe	10 bis 20 cm ^c
Vorteile	Geringerer Einfluss der Begleitvegetation, zu Beginn relativ gute Wasserversorgung ^c
Nachteile	Relativ kostenintensiv, Lockerung durch Wild und Wind möglich, relativ höherer Pflanzaufwand ^b
Sektion(en)	Aspen, Schwarzpappel (und deren Hybride), Balsampappel (und deren Hybride) ^b
Eignung	Energieholz, Industrieholz ^b

Tabelle 2.3-9 Grünstecklinge ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Grünstecklinge	
Beschaffenheit	Im Sommer geschnittene, belaubte, einjährige Triebe (Zweigstücke), ca. 15 bis 20 cm lang, ca. 1 cm Durchmesser; werden in Sand-Torf-Substrat (Folientunnel) aufgeschult ^c
Optimale Pflanztiefe	k. A.
Vorteile	k. A.
Nachteile	k. A.
Sektion(en)	k. A.
Eignung	k. A.

Tabelle 2.3-10 Wurzelstecklinge ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

Wurzelstecklinge	
Beschaffenheit	Wurzelteile (-abschnitte) in Steckholzgröße ^a , 5 bis 15 cm lang, ca. 1 cm Durchmesser, werden in Sand-Torf-Substrat vorgezogen bis Triebbildung ^c
Optimale Pflanztiefe	k. A.
Vorteile	Bietet genetisch identisches Material bei Aspen (Zitterpappel) ^b
Nachteile	Relativ kostenintensiv, relativ hoher Pflanzaufwand ^b
Sektion(en)	Aspen ^b
Eignung	Energieholz. Industrieholz ^b

Tabelle 2.3-11 Sämlinge (LANDGRAF und SETZER, 2012, 11):

Sämlinge	
Beschaffenheit	Einjährige bewurzelte Sämlinge, generativ vermehrt
Optimale Pflanztiefe	k. A.
Vorteile	k. A.
Nachteile	k. A.
Sektion(en)	Aspen
Eignung	k. A.

Tabelle 2.3-12 In-vitro-vermehrte Pflanzen /Meristem-vermehrte Pflanzen ((a) SCHILDBACH et al., 2010, 65; (b) SCHILDBACH et al., 2009, 63; (c) LIEBHARD, 2010a, 32-34):

In-vitro-vermehrte Pflanzen/ Meristem-vermehrte Pflanzen	
Beschaffenheit	Aus Gewebekultur entstanden ^a
Optimale Pflanztiefe	k. A.
Vorteile	Relativ gute Wasserversorgung, rasche Bereitstellung großer Pflanzenmengen ^b
Nachteile	relativ kostenintensiv, relativ hoher Pflanzaufwand ^b
Sektion(en)	Aspen ^b
Eignung	Energieholz, Industrieholz ^b

2.3.5 Ertragsschätzung, Ertragsverhalten und Qualitätskriterien der Gattung *Populus*

2.3.5.1 Ertragsschätzung

Nach RÖHLE et al. (2010) gibt es für Bestände in Feldholzanlagen bisher keine allgemeingültigen Ertragsschätzhilfen. Im Gegensatz dazu liegen zur Schätzung der Ertragsleistung von Hochwaldbeständen geeignete Instrumente vor (RÖHLE et al., 2010, 103). Die forstwirtschaftlichen Ertragstafeln (Schätzinstrument) können bei Kurzumtrieb-Anlagen jedoch nicht angewandt werden, weil sie Angaben zu Festmetern (Vorrat) und nicht zur Trockenmasseproduktion besitzen, in der Regel erst ab einem Alter der Anlage von 20 Jahren beginnend einsetzbar sind und wesentlich geringere Bestandsdichten voraussetzen (RÖHLE et al., 2010, 112).

Während in der traditionellen Forstwirtschaft die Leistungsfähigkeit mittels Holzvolumen beurteilt wird, dient bei Kurzumtrieb-Anlagen die produzierte Holzmasse (Biomasse od. Dendromasse) zur Beurteilung der Leistung. Die Angabe der Biomasse erfolgt in Tonnen Trockensubstanz (t_{atro}). Diese einheitliche Angabe ermöglicht den Vergleich zwischen verschiedenen Baumarten, Klonen und Standorten. Zudem sollen Verzerrungen durch abweichende Holzfeuchtegehalte vermieden werden. Als Leistungsgröße der oberirdischen Biomasse im unbelaubten Zustand dient der durchschnittliche Gesamtzuwachs an Biomasse in Tonnen Trockensubstanz pro Hektar und Jahr ($dGZ \ t_{atro} \ ha^{-1} \ a^{-1}$) (RÖHLE et al., 2009, 41; RÖHLE et al., 2010, 103). Für eine stoffliche Nutzung von Holz aus Feldholzanlagen können ferner Leistungsgrößen wie der Höhenzuwachs oder der Durchmesserzuwachs herangezogen werden (RÖHLE et al., 2010, 104).

Grundsätzlich variieren die durchschnittlichen Gesamtzuwächse an Biomasse bei Pappel in Abhängigkeit von standörtlichen Gegebenheiten (speziell die Wasserversorgung z. B. nFK), der Klonwahl, der Bestandsgründung (speziell die Pflanzdichte) und Bestandspflege (besonders in der Etablierungsphase) sowie der Rotationslänge. Hervorzuheben ist, dass ein maximales Stammdurchmesserwachstum und ein maximaler Bestandsbiomassezuwachs konkurrierende Zielstellungen darstellen, welche nicht gleichzeitig in einem Bestand erreicht werden können. Das Produktionsziel (energetische oder stoffliche Nutzung) muss daher vor der Etablierung der Anlage klar definiert werden. Für eine

energetische Nutzung des Erntegutes bedeutet das eine hohe Pflanzdichte (optimale Standraumausnutzung), eine frühe und hohe Biomasseleistung (früher Bestandsschluss) und damit verbunden kurze Umtriebszeiten. Zudem ist nach der ersten Ernte im Regelfall eine deutliche Biomassezuwachsleistungssteigerung zu verzeichnen (RÖHLE et al., 2010, 104-106).

Nach RÖHLE et al. (2009) und (2010) werden derzeit vier Verfahren zur Biomassebestimmung verwendet:

- Vollerntemethode
- Teilerntemethode
- Probebaumverfahren
- Regressionsmethode

Diese vier Verfahren setzen eine Entnahme von Probenmaterial voraus und sind daher primär für wissenschaftliche Zwecke bedeutend (RÖHLE et al., 2009, 45; RÖHLE et al., 2010, 112). Für die Praxis bedarf es allgemeingültiger, zerstörungsfreier Schätzer, die erst noch entwickelt (optimiert) werden müssen (RÖHLE et al., 2010, 112).

Neben den genannten vier Verfahren nach RÖHLE et al. (2010) existiert eine Regressionsmethode ohne destruktiven Ansatz nach HARTMANN (2010).

Bei der **Vollerntemethode** (auch Wägung ganzer Parzellen) wird eine Fläche komplett beerntet. Anschließend wird das Erntegut verwogen und durch die Trocknung einer Stichprobe der Feuchtegehalt ermittelt. Mit dem Feuchtegehalt kann in Folge die Trockenbiomasse des gesamten Erntegutes berechnet werden. Der Vorteil dieses Verfahrens sind exakte Ergebnisse. Nachteile sind ein relativ hoher Aufwand und die Tatsache, dass jede Fläche nur einmal, bei der Ernte, beprobt werden kann (RÖHLE et al., 2010, 112-113).

Bei der **Teilerntemethode** (auch Probeflächeverfahren) werden in einem Bestand Stichprobenparzellen systematisch oder zufällig ausgewählt und alle Individuen dieser Parzellen geerntet. Das Erntegut wird verwogen und getrocknet. Mit dem Feuchtegehalt der Stichprobe kann auf die Trockenmasse des gesamten Bestandes geschlossen werden. Der Vorteil dieses Verfahrens sind exakte Ergebnisse. Der Nachteil ist ein relativ hoher Aufwand, wenn Stichprobenflächen in ausreichender Anzahl beerntet werden (RÖHLE et al., 2010, 113).

Bei dem **Probebaumverfahren** (auch Stockerntemethode, Probestammverfahren) werden einzelne Individuen eines Bestandes (Bäume od. Stöcke ab der zweiten Rotation) systematisch oder zufällig geerntet und anschließend das Frisch- und Trockengewicht bestimmt. Die Trocknung erfolgt bei 103, 5 °C. Dann kann das Durchschnittsstockgewicht (DTG) der beprobten Pflanzen ermittelt werden. Abschließend kann die Biomasse in t_{atro} durch Multiplikation der Gesamtindividuenzahl des Bestandes mit dem DTG berechnet werden. Daher muss

vor der Entnahme der Stichprobe die Anzahl der Pflanzen auf der gesamten Fläche ermittelt werden (RÖHLE et al., 2010, 113)

Die **Regressionsmethode (Biomassefunktion mit destruktivem Ansatz)** beruht ebenfalls auf der Auswahl und Beerntung einer Stichprobe von Individuen (Pflanzen ab der zweiten Rotation). Zunächst wird der Bruthöhendurchmesser (Bhd) aller Pflanzen eines Bestandes oder einer repräsentativen Teilfläche erhoben. Anschließend werden die vermessenen Individuen geerntet und das Frische- bzw. Trockengewicht (nach einer Trocknung bei 103,5°C) bestimmt. Dann wird die Beziehung zwischen Bhd und Trockenbiomasse (Biomassefunktion) anhand der Daten der geernteten Pflanzen erstellt. Abschließend werden die Flächen- bzw. Hektarzahlen berechnet, indem die Bhd-Werte aller Individuen in die Biomassefunktion eingesetzt werden. Die allometrische Gleichung: $b = a_0 * d^{a_1}$ kann als geeignete Standardfunktion verwendet werden. Neben dem Bhd können auch andere Dimensionen (Höhe) verwendet werden (RÖHLE et al., 2010, 113-114).

Die **Regressionsmethode (Biomassefunktion ohne destruktiven Ansatz)** stellt nach HARTMANN (2010) einen Ertragsschätzer für die Praxis dar. Zentraler Bestandteil des Schätzers ist das Modell (siehe Formel 1) für die flächenbezogene Biomassebestimmung auf Basis der Parameterschätzung von Standardbiomassefunktionen. Die Einflussgrößen sind dabei die Stammzahl (N) und die Mittelhöhe (hm).

Formel 1.: Standardbiomassefunktion:

$$\mathbf{BM \text{ (Biomasse)} = N * a_0 * dg^{a_1} / 1000.}$$

Zunächst wird ein notwendiger Stichprobenumfang zur Ermittlung der Ertragsgrößen rechnerisch bestimmt. In Abhängigkeit des Stichprobenumfangs und des Anlagedesigns werden dann repräsentative Probeparzellen angelegt. Anschließend wird der Bruthöhendurchmesser (Bhd) auf 1,30 m aller Bäume bzw. Triebe der jeweiligen Parzelle sowie die Höhe von mindestens 25 Individuen derselben Parzelle erhoben. Auf Grundlage dieser Daten werden die Ertragsgrößen: Stammzahl (N pro ha), Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg in cm) und Mittelhöhe (hm in m) berechnet. In Folge werden die Funktionsparameter a_0 und a_1 anhand modellrelevanter Regressionsfunktionen hergeleitet bzw. bestimmt. Durch Einsetzen der Ertragsgrößen „dg“ und „N“ und der hergeleiteten Funktionsparameter „ a_0 “ u. „ a_1 “ wird der flächenbezogene Biomassevorrat („BM“) berechnet. Dabei gilt $dGZ = \text{„BM“} / \text{Alter der Pappeln zum Zeitpunkt der Aufnahme}$. Dieser Ertragsschätzer ist geeignet für Triebalter ≥ 3 Jahre und Pflanzdichten bis maximal 25.000 N/ ha (HARTMANN, 2010, 67 u. 88-105 u. 127).

2.3.5.2 Ertragsverhalten

Die Ertragsleistung (Trockenmassebildung) der Feldholzproduktion ist prinzipiell multifaktoriell bedingt und wird im Wesentlichen von der Sortenleistung, den Standortbedingungen (Boden, Klima), dem Anlagedesign und von

produktionstechnischen Maßnahmen beeinflusst. Im speziellen ist die Ertragsleistung abhängig von der durchschnittlichen Triebzahl je Fläche, der durchschnittlichen Wuchshöhe der Individuen und den durchschnittlichen Stammdurchmessern (in 1,3 m Höhe) (LIEBHARD, 2010a, 67). Bei einer über die Nutzungsstrategie abgeleitete vorgegebene Umtriebszeit muss der Bestandsdichte (Anlagedesign) die größte Bedeutung beigemessen werden um einen maximalen dGZ (in $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) in einer Rotationsperiode zu erzielen. Der Grund für die Beziehung zwischen Bestandsdichte und dGZ liegt in der für eine Umtriebszeit optimal gestalteten Standraumnutzung (RÖHLE et al., 2010, 104).

Die Dimensionen der Ertragsleistung (dGZ, Stammdurchmesser, Höhe) sind grundsätzlich multifaktoriell bedingt und konkurrieren teilweise sogar miteinander (max. dGZ vs. max. Durchmesserwachstum). In Folge wird, neben den genannten beeinflussenden Faktoren (Standort, Klon etc.), grundsätzlich zwischen der Ertragsleistung bei stofflicher Nutzung des Erntegutes und einer Ertragsleistung bei energetischer Nutzung des Erntegutes differenziert (RÖHLE et al., 2010, 104). Hervorzuheben ist, dass ab der ersten Ernte allgemein von einer Steigerung der Wuchseistung ausgegangen werden kann. Ursache der Leistungssteigerung in Folgerotationen ist ein überproportional entwickeltes Wurzelsystem sowie eine höhere Anzahl an Stämmen bzw. Trieben (Stockausschlag) (RÖHLE et al., 2009, 43). Anzumerken ist aber, dass je nach Sorte (Klon) auch diesbezüglich Grenzen gesetzt sind und spätestens nach dem 4. (7.) Umtrieb das Ertragsoptimum (je Umtriebszeit) überschritten wird und die Erträge spätestens ab der 8. Rotation meist unwirtschaftlich werden (LIEBHARD, 2010a, 67). Die beiden Erkenntnisse sind jedoch eher für die Hackgutproduktion bei kurzen Umtriebszeiten relevant.

Allgemein variiert der dGZ an Biomasse ebenso wie das Höhenwachstum und die Durchmesserentwicklung in einem weiten Rahmen (RÖHLE et al., 2010, 107).

Energetisch:

Als mittleren Ertrag bei einer energetischen Erntegutverwertung können nach GEROLD et al. (2009) 8 bis 12 $t_{atro}/(\text{ha a})^{-1}$ angenommen werden. Bei ungünstigen Standorten sind Biomasseerträge deutlich unter 10 $t_{atro}/(\text{ha a})^{-1}$ zu erwarten. Auf besten Standorten sind Biomasseerträge von bis zu 20 $t_{atro}/(\text{ha a})^{-1}$ möglich. Dabei gehen Gerold et al. (2009) von mindestens 8.000 Pflanzen (Pappel)/ ha aus. Auf ertragsschwachen Standorten und/ oder kurzen Umtriebszeiten sind höhere Pflanzzahlen erforderlich (GEROLD et al., 2009, 74-75).

Stofflich:

Nach GEROLD et al. (2009) sind für Pappel bei stofflicher Erntegutverwertung durchschnittliche Gesamtzuwächse von knapp 9 $t_{atro}/(\text{ha a})^{-1}$ erreichbar. Für normale Ackerböden sind Pflanzzahlen von 1.000 bis 2.000/ ha angemessen (GEROLD et al., 2009, 74-75).

2.3.5.3 Qualitätskriterien

Qualitätskriterien für eine primär stoffliche Verwertung

Im Vergleich zu Hackgut aus der Feldholzproduktion werden an das Kompartiment „Industrieholz“ höhere Ansprüche gestellt. Grundsätzlich sind nach LIEBHARD (2010a) bei Pappel Umtriebszeiten von mindestens 7 bis 10 Jahren für entsprechende Qualitätsmerkmale Voraussetzung. Wie im Kapitel „Verwertungsmöglichkeiten von Erntegut aus Anlagen der Feldholzproduktion“ bereits erwähnt, ist Industrieholz unter anderem Ausgangsstoff für Holzfaserdämmplatten, Spanplatten, Papier, Pappe und Zellstoff (LIEBHARD, 2010a, 81). Neben ausreichend langen und biegsamen Fasern (LIEBHARD, 2010a) werden vom Erntegut Qualitätsmerkmale wie Geradschaftigkeit oder Feinastigkeit gefordert (GEROLD et al., 2009, 75; LIEBHARD, 2010a, 81). Nach KALTSCHMITT et al. (2009) ist unter Industrieholz (forstwirtschaftlich produzierte Lignocellulosepflanzen) ein Rohholz zu verstehen, welches mechanisch oder chemisch aufgeschlossen werden soll. Rohholz ist gefälltes, gezopftes und entastetes (auch entrindetes, gespaltenes) Holz (KALTSCHMITT et al., 2009, 83-84).

Qualitätskriterien für eine primär energetische Verwertung

Bedeutende Eigenschaften biogener Festbrennstoffe für die energetische Nutzung sind die **Elementarzusammensetzung**, **brennstofftechnische Eigenschaften** sowie **physikalisch-mechanische Eigenschaften** (KALTSCHMITT et al., 2009, 333). Im Anhang (Abb. A) sind die qualitätsrelevanten Eigenschaften biogener Festbrennstoffe angeführt. In Folge wird nur auf einzelne Merkmale (vorrangig für Hackgut) eingegangen.

Festbrennstoffe bestehen hauptsächlich aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Die Energierelevanz biogener fester Brennstoffe wird primär durch den Kohlenstoffgehalt, aber auch durch den Wasserstoffgehalt bestimmt. Mit 47 bis 50 Gewichtsprozent in der TM (Trockenmasse) besitzen Holzbrennstoffe den höchsten Kohlenstoffgehalt im Vergleich zu Nicht-Holz-Brennstoffen (43 bis 48 Gew.% C in TM) (KALTSCHMITT et al., 2009, 339). Im Anhang (Abb. B) sind die Nährstoffgehalte naturbelassener biogener Festbrennstoffe dargestellt.

Wesentliche **brennstofftechnische Eigenschaften** biogener Festbrennstoffe sind der Wassergehalt (in %), der Heizwert (in MJ/ kg) und der Aschegehalt (in %). Diese Kenngrößen beeinflussen eine thermo-chemische Umwandlung bedeutend (KALTSCHMITT et al., 2009, 348).

Nach KALTSCHMITT et al. (2009) ist der Heizwert (H_u in MJ /kg TM) wie folgt definiert:

„Unter dem **Heizwert** (engl. net calorific value, qnet) wird die Wärmemenge verstanden, die bei der vollständigen Oxidation eines Brennstoffs ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfes freigesetzt wird. Gemäß der entsprechenden Prüfnorm CEN/TS 14 918 /9-41/ ist der Heizwert konkret definiert als der absolute Wert für

die in Joule angegebene spezifische Verbrennungswärme, die freigesetzt wird, wenn eine Masseneinheit des Biobrennstoffes in Sauerstoff bei konstantem Volumen bzw. bei konstantem Druck unter Bedingungen verbrannt wird, unter denen das gesamte Wasser in den Reaktionsprodukten in dampfförmigem Zustand vorliegt (hypothetisch unter einem Druck von 0,1 MPa). Würde man die Verdampfungswärme des Wasserdampfes durch Kondensation gewinnen, wäre die abgegebene Wärmemenge etwas höher. Deshalb wurde der Heizwert früher auch als "unterer"

Heizwert (H_u) bezeichnet /9-39/“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 348- 349).

Der Brennwert (H_o) oder „Obere Heizwert“ (H_o in MJ /kg TM) ist dagegen definiert als Heizwert plus nutzbare Verdampfungswärme des Wasserdampfes. Die maßgebliche Bestimmungsgröße für chemisch gebundene Energie im Brennstoff ist der Heizwert (KALTSCHMITT et al., 2009, 394). Im Anhang (Abb. C) sind Energiewerte (H_u) von Pappel- u. Weide-Hackschnitzel angegeben.

Der **Aschegehalt** ist nach KALTSCHMITT et al. (2009) definiert: „Der anorganische Rückstand, der nach der Verbrennung eines biogenen Festbrennstoffs zurückbleibt, wird als Asche bezeichnet. Dieser Rückstand kann direkt vom Brennstoff stammen (bei nicht verunreinigten Brennstoffen). Er kann aber auch zusätzlich aus nicht vom Brennstoff stammenden mineralischen Verunreinigungen bestehen, die im Verlauf der Bereitstellungskette (z. B. bei der Ernte, der Aufbereitung, beim Transport, bei der Lagerung) hinzukommen können. Der Aschegehalt wird durch Berechnung aus der Masse des Rückstandes bestimmt, der nach dem Erhitzen einer Probe unter klar definierten Bedingungen

(CEN/TS 14 775 /9-46/) anfällt“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 358). Der Aschegehalt eines Brennstoffes bestimmt einerseits den Gehalt an Schadstoffemissionen und andererseits die technische Auslegung einer Verbrennungsanlage. Mit zunehmendem Aschegehalt steigen die Aufwände für Entstaubung, Entaschung und Entsorgung der anfallenden Verbrennungsrückstände. Die mittlere Zusammensetzung der Grobasche von Holz beträgt etwa 42% CaO, 6% K₂O, 6% MgO, 3% P₂O₅ und 1% Na₂O (KALTSCHMITT et al, 2009, 359). Mit zunehmendem Alter des Erntegutes nimmt der Aschegehalt ab. Ab Umtriebszeiten von 5 Jahren und mehr bleibt der Aschegehalt konstant unter 2,5 %, bezogen auf die Trockenmasse von Hackgut (LIEBHARD, 2010a, 87). Im Anhang (Abb. D) sind genannte verbrennungstechnische Kenndaten dargestellt.

Nach KALTSCHMITT et al. (2009) ist der **Wassergehalt** definiert als: „Der Gehalt an Wasser, der sich unter definierten Bedingungen aus dem Brennstoff entfernen lässt, wird als Wassergehalt w (z. T. fälschlicherweise auch Feuchtegehalt) bezeichnet /9-42/. Er wird auf die Frischmasse (d. h. Nassbasis) bezogen und beschreibt damit das in der feuchten Biomasse befindliche Wasser, wobei sich diese feuchte Biomasse aus der trockenen Biomasse (d. h. Trockenmasse) m_B und der darin enthaltenen Wassermasse m_w zusammensetzt“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 356). Die Gleichung lautet: $w = m_w / m_B + m_w$. Im Gegensatz dazu ist die Brennstoff-

Feuchte („u“) („Holzfeuchte“) definiert als die im Brennstoff gebundene Wassermenge m_w bezogen auf die trockene Biomasse m_B (Trockenbasis). Werte der Brennstofffeuchte können über 100% betragen. Die Gleichung der Holzfeuchte lautet: $u = m_w / m_B = w / 1 - w$ (KALTSCHMITT et al., 2009, 356). Der Wassergehalt beeinflusst den Heizwert eines biogenen Festbrennstoffes stärker als die Art der Biomasse. Die Heizwerte verschiedener Brennstoffe werden daher für absolut trockene (atro) Biomasse angegeben und verglichen. Alternativ kann der (H_u in MJ/kg bei w in %) Heizwert eines Biobrennstoffes mit dem jeweiligen Wassergehalt im Anlieferungszustand angegeben werden. (KALTSCHMITT et al., 2009, 352).

Als **physikalisch-mechanische Eigenschaften** werden diejenigen Merkmale biogener Festbrennstoffe, die vorrangig durch die Ernte- und Aufbereitungstechnik bestimmt werden, bezeichnet (KALTSCHMITT et al., 2009, 362). „Sie lassen sich durch Parameter wie Abmessungen, Oberflächenbeschaffenheit und Geometrie ("Stückigkeit"), Größenverteilung der Brennstoffteilchen, Feinanteil, Fließeigenschaften und Brückenbildungsneigung, Schütt- und Rohdichte sowie Abriebfestigkeit beschreiben“ (KALTSCHMITT et al., 2009, 362). In Folge wird nur auf die Stückigkeit, Rohdichte, Schüttdichte und Energiedichte eingegangen.

Die **Stückigkeit** von Brennstoffen wird bestimmt durch deren Abmessungen (Länge, Breite, Höhe), das Volumen und die geometrische Form und Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit der Partikeloberfläche). Die Fließ- und Transporteigenschaften von Schüttgütern (Hackschnitzel) werden neben der Partikelform und -größe auch durch die Korngrößenverteilung und den Feinanteil (Abrieb) bestimmt. In Tab. 2.3-13 sind die Anforderungen an die Größenverteilung für Holzhackgut dargestellt. Die **Schüttdichte** oder das Raumgewicht (in kg/ m³ oder kg TM/ m³) biogener Festbrennstoffe (Hackschnitzel) ist definiert als Quotient aus der Masse eines Festbrennstoffes in einem Behälter und dem Volumen dieses Behälters (KALTSCHMITT et al., 2009, 363-368). Das Raumgewicht von Holzhackschnitzel (Pappel) liegt zwischen 0,25 und 0,40 t/ m³ (ELTROP et al., 2006, 367). Bei der **Energiedichte** (in m³/ GJ oder kg/ GJ) handelt es sich um die jeweilige Masse bzw. das jeweilige Volumen pro Energieeinheit. Für die Energiemenge wird der Heizwert bei vorliegendem Wassergehalt verwendet. Die **Roh- oder Einzeldichte** (in kg/ m³ oder kg TM/ m³) eines Feststoffes ist dessen eigentliche Materialdichte. Im Anhang (Abb. E) sind Rohdichten verschiedener Holzarten dargestellt. Die Rohdichte nimmt Einfluss auf die Schüttdichte und einige feuerungstechnisch relevante Eigenschaften (pneumatische Förderung) (KALTSCHMITT et al., 2009, 368-374). Im Anhang (Abb. F) sind die Stoffkenndaten von Pappel und Weide zusammengefasst.

**Tabelle 2.3-13 Anforderungen an die Größenverteilung für Holzhackgut
(ÖNORM M7133/ 9-154) (KALTSCHMITT et al., 2009, 365):**

	Zulässige Massenanteile und jeweilige Bandbreite für Teilchengröße (nach Siebanalyse)				Zulässige Extremwerte für Teilchen	
	max. 20 %	60–100 %	max. 20 %	max. 4 %	max. Querschnitt in cm ²	max. Länge in cm
	in mm					
G30	> 16	16–2,8	< 2,8	< 1	3	8,5
G50	> 31,5	31,5–5,6	< 5,6	< 1	5	12
G100	> 63	63–11,2	< 11,2	< 1	10	25
max. maximal						

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Versuchsstandort

3.1.1 Geographische Lage

Die Versuchsfläche liegt am Sattlgai (bei Waldhausen) (Koordinaten siehe Tab. 3.1-1 u. 3.1-2) in der Marktgemeinde (Ortsgemeinde) Waldhausen im Strudengau (Gerichtsbezirk: Grein; Politischer Bezirk: Perg), Oberösterreich, an der Grenze zu Niederösterreich (Wikipedia, 23.12.2012) im Kartierungsbereich (KB) Grein (Abb. 3.1-1 u. Abb. 3.1-2).

Tabelle 3.1-1 Koordinaten der Versuchsfläche (Sattlgai-Waldhausen) (Oberösterreich) in der Marktgemeinde Waldhausen im Strudengau nach WGS 84 (<http://www.geoland.at> (Zugriff am 23.12.2012)):

Koordinaten der Fläche	
14°56'42" O	48°15'05" N

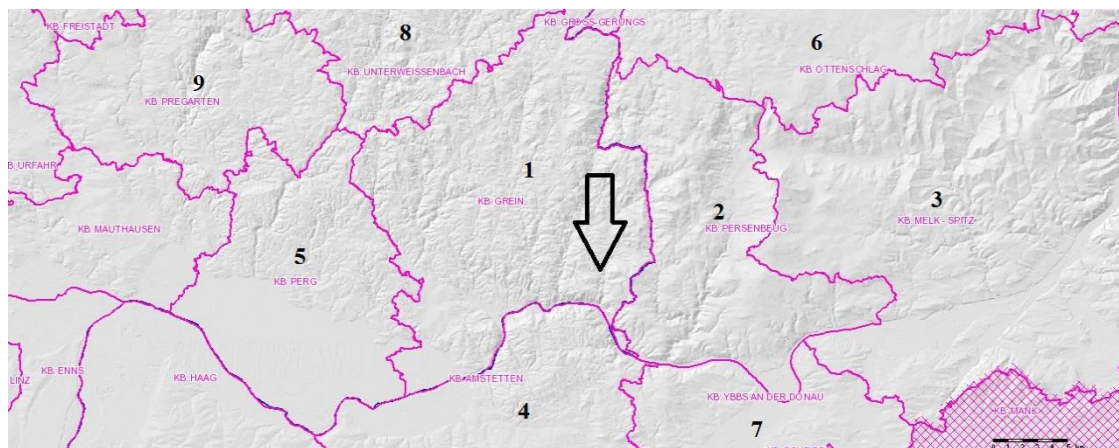


Abbildung 3.1-1 Kartenausschnitt mit Kartierungsbereichen und Versuchsflächenstandort (Markierung mit Pfeil) (Kartierungsbereiche (KB): ¹Grein; ²Persenbeug; ³Merk-Spitz; ⁴Amstetten; ⁵Perg; ⁶Ottenschlag; ⁷Ybbs a.d. Donau; ⁸Unterweissenbach; ⁹Pregarten)

(BFW: http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD)
(29.12.2012))

3.1.2 Topographie

Das im Kartierungsbereich (KB) Grein südwestlich gelegene Machland und der im Kartierungsbereich süd-südöstlich gelegene Strudengau (Engtal des Strudengaus) liegen in Seehöhen zwischen 230 und 240 m und bilden das Talgebiet. Im Berggebiet (Plateau- u. Hügelland des Mühlviertels) liegt die landwirtschaftlich genutzte Fläche überwiegend zwischen 300 und 600 m Seehöhe. Die Versuchsfläche liegt im Bergland (¹ca. 450 m Seehöhe), im Südosten des Kartierungsbereiches (siehe Abb. 3.1-1 u. Abb. 3.1-2), ca. 2500 m südlich von Waldhausen im Strudengau (²Luftlinie) und ca. 2000 m nördlich der Donau (²Luftlinie), nahe an der Landstraße L575

(BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, ; ¹Leonhartsberger, 27.12.2012, mündlich); ²<http://www.geoland.at>).

Kartierungsbereich GREIN

Skizze zur topographischen Lage

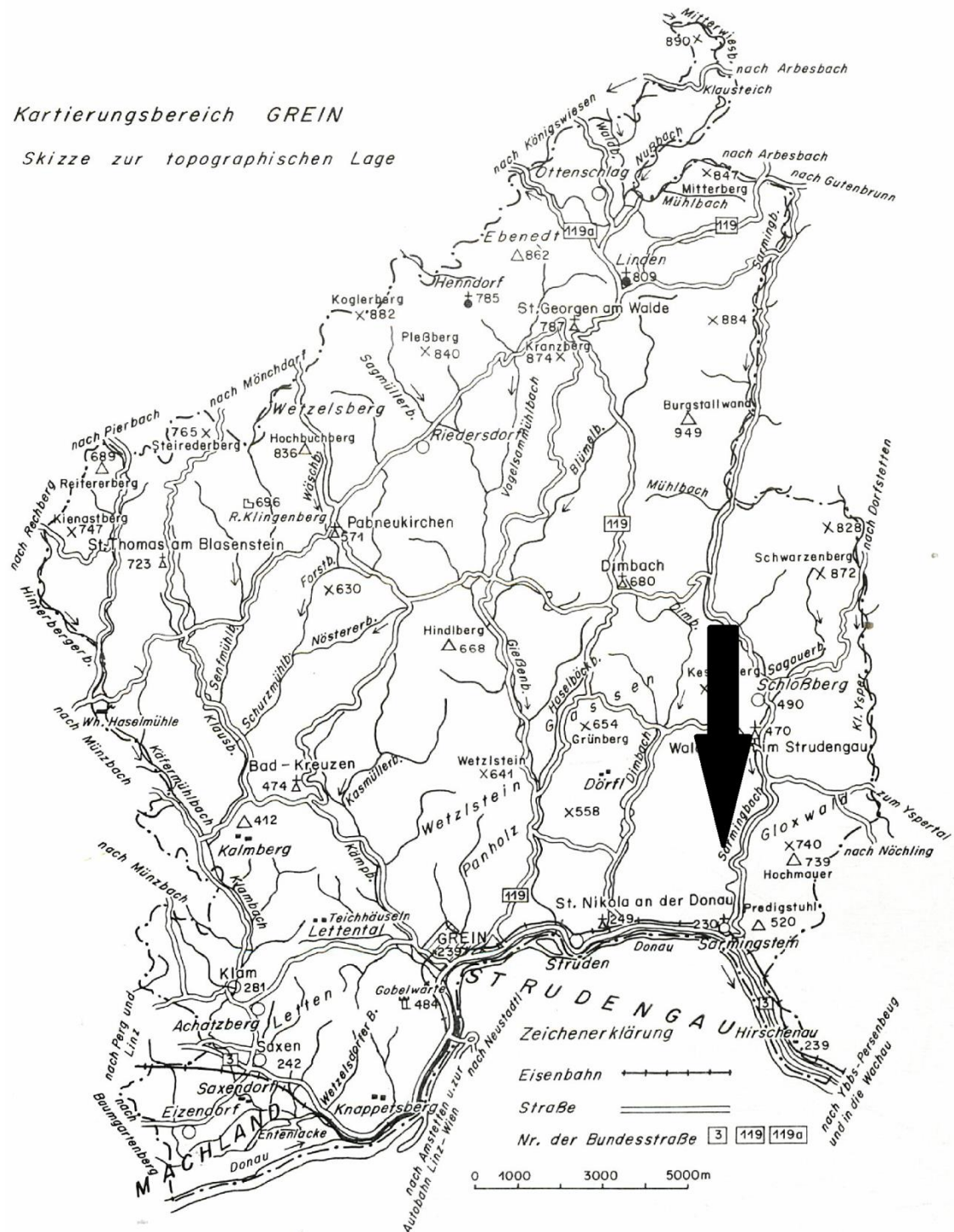


Abbildung 3.1-2 Kartierungsbereich Grein
(Quelle: BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 56)

3.1.3 Klima

Aufgrund der topographischen Heterogenität in diesem Gebiet wurden die Temperatur-Monatsmittelwerte und die Jahresmitteltemperatur koordinatenabhängig über die Klimadatenbank des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ) unter: <http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/seiten/klimadaten.aspx> ermittelt.

Die dazu benötigte exakte Geoposition (Koordinaten) der Versuchsfläche (siehe Tab. 3.1-2) wurde über das Geodatenportal GEOLAND.AT ermittelt.

Tabelle 3.1-2 Koordinaten der Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen

(¹Quelle: <http://www.geoland.at> (Zugriff am 23.12.2012); 2 Leonhartsberger, 27.12.2012, mündlich, GPS):

Geoposition
¹ Breite: 48 Grad 15 Minuten
¹ Länge: 14 Grad 56 Minuten
² Seehöhe: ca. 450 Meter

Zur Charakterisierung der übrigen klimatischen Rahmenbedingungen für das Untersuchungsgebiet dienten einerseits Daten der online-Datenbank der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik von der etwa 12 km nordwestlich (Luftlinie) gelegenen Wetterstation in Pabneukirchen. Die Messstation lieferte Daten für einen Untersuchungszeitraum vom Jahr 1971 bis zum Jahr 2000. Pabneukirchen liegt auf einer Seehöhe von 595 m. Andererseits stammen klimarelevante Daten für dieses Gebiet (Bezirk Perg) von den Erläuterungen zur Bodenkarte (Kartierungsbereich Grein) der Bundesanstalt für Bodenkultur (1992) (BMWFJ: <http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/seiten/klimadaten.aspx>).

Die mittlere Jahrestemperatur des Standorts Sattlgai-Waldhausen liegt bei 8,89 °C. Die mittleren Monatstemperaturen der Versuchsfläche sind in Tab. 3.1-3 dargestellt (BMWFJ: <http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/seiten/klimadaten.aspx>; <http://www.geoland.at>).

Tabelle 3.1-3 Koordinatenabhängig ermittelte Monatsmittelwerte der Temperatur (Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen, 450 m Seehöhe) (BMWFJ: <http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/seiten/klimadaten.aspx>; <http://www.geoland.at>)

Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
-1,43	0,22	4,11	8,98	13,49	16,83	18,56	18,02	14,69	9,26	3,63	-0,26

Die mittlere Jahressumme der Niederschläge liegt bei 866 mm (Messstation Pabneukirchen, siehe Tab. 3.1-4) bzw. 808 mm (Messstation Perg) bis 892 mm (Messstation Grein); sie ist für dieses Gebiet nicht sehr hoch. Für die Messstationen Grein (235 m), Perg (250 m) und St. Thomas am Blasenstein (722 m) betragen die mittleren Jahresniederschläge 892 mm für Grein, 808 mm für Perg und 841 mm für St. Thomas am Blasenstein. Die maximalen durchschnittlichen monatlichen Niederschlagssummen in der Vegetationszeit (Juni- August) sind in Tab. 3.1-4 u.

Abb. 3.1-3 angeführt. Die Niederschlagsverteilung weist in diesem Gebiet durchschnittlich drei Niederschlagstage/ Woche auf. Trotz der hohen Verdunstungsrate (ca. 535 mm/ a für Grein, Perg u. St. Thomas) in diesem Gebiet wird der Wasserhaushalt wegen der durchschnittlichen Niederschlagsverteilung innerhalb des Jahres und innerhalb einer Woche als verhältnismäßig ausgeglichen bezeichnet (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 50; ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm).

Tabelle 3.1-4 Niederschlagsdaten in mm (langjähriger Durchschnitt 1971-2000) der Messstation ¹Pabneukirchen (Übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Monat	rsum	rmax	n1	n10
Januar	54.6	25	10.1	1.5
Februar	51.9	22	9.4	1.5
März	63.6	45	10.7	1.6
April	62.2	47	10.0	2.0
Mai	78.6	49	10.2	2.8
Juni	96.9	50	12.3	3.2
Juli	118.1	51	12.6	4.0
August	82.3	51	10.1	2.9
September	66.9	46	8.8	2.1
Oktober	54.3	37	7.7	1.5
November	64.5	41	10.8	1.8
Dezember	72.1	52	12.0	2.0
Jahr	866.0	52	124.7	26.9

¹Seehöhe 595m; Geogr. Länge 14° 49'; geogr. Breite: 48° 19'

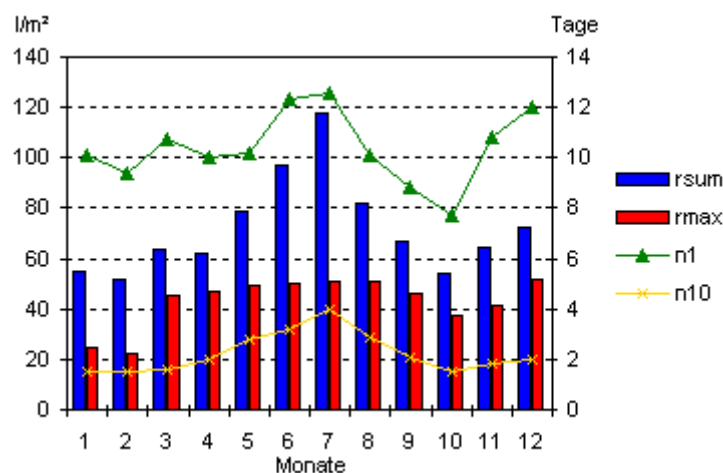


Abbildung 3.1-3 Graphische Darstellung der in Tab. 3.1-4: dargestellten Niederschlagsdaten der Messstation Pabneukirchen (Übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Tabelle 3.1-5 Legende zu Tab. 3.1-4 und Abb. 3.1-3, Messstation Pabneukirchen
(Übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Kürzel	Einheit	Element	Definition
rsum	l/m ²	Niederschlagssumme	Mittlere Monatssumme des Niederschlags
rmax	l/m ²	Größter Tagesniederschlag	Größte Niederschlagssumme in 24 Stunden
n1	Tag	Niederschlag ≥ 1 mm	Zahl der Tage mit Niederschlagssumme ≥ 1 mm
n10	Tag	Niederschlag ≥ 10 mm	Zahl der Tage mit Niederschlagssumme ≥ 10 mm

Im langjährigen Durchschnitt muss alle zwanzig Jahre mit einem sehr trockenen Jahr gerechnet werden. Im sieben-jährigen Zyklus ist ein sehr nasses Jahr zu erwarten. Während der Vegetationsperiode fallen über 50% der Jahresmenge der Niederschläge. Pro Jahr treten durchschnittlich 25 Tage (Grein, Perg, St. Thomas) bzw. ca. 28 Tage (Pabneukirchen) mit Gewitter auf. Dabei ist der Juli der gewitterreichste Monat (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 50; ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm).

Die durchschnittliche Summe der jährlichen Sonnenscheindauer für das Gebiet beträgt 1745,0 Stunden/ a (siehe Tab. 3.1-6 bzw. Abb. 3.1-4) (Pabneukirchen) bzw. 1780 Stunden/ a (Grein, Perg u. St. Thomas) (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 49; ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm).

Tabelle 3.1-6 Langjähriger Durchschnitt 1971-2000 der Strahlung, Messstation Pabneukirchen (Quelle: Modifiziert übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Monat	s	sp	sonn0	sonn5	global	heit	trueb
Januar	68.1	29.5	12.3	6.2		3.7	15.9
Februar	94.1	36.3	8.2	9.4		4.7	13.4
März	130.2	38.7	7.6	11.8		4.7	14.0
April	160.7	42.2	4.8	15.3		3.8	12.7
Mai	218.2	50.4	3.1	20.4		4.7	9.8
Juni	197.9	45.7	3.6	18.3		3.2	10.3
Juli	223.9	50.8	2.3	21.1		4.7	10.1
August	224.2	54.8	2.7	21.2		6.6	9.3
September	164.3	47.1	4.3	16.0		6.5	10.3
Oktober	139.0	45.3	5.8	14.3		6.6	10.5
November	67.1	27.7	12.6	5.9		2.6	16.1
Dezember	57.3	26.1	14.4	5.1		3.3	16.8
Jahr	1745.0	41.2	81.7	165.0		55.1	149.2

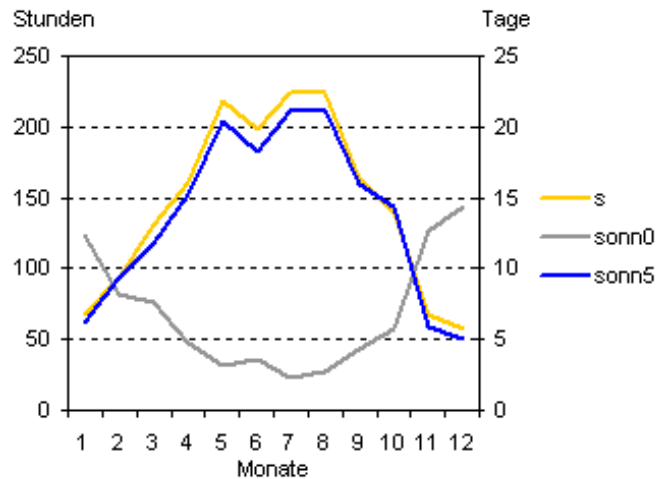


Abbildung 3.1-4 Sonnenschein-Monatssummen und Tage mit Sonnenscheindauer = 0 bzw. 5 h (Pabneukirchen) (Übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Tabelle 3.1-7 Legende zu Tab. 3.1-6 und Abb. 3.1-4, Messstation Pabneukirchen
(ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Kürzel	Einheit	Element	Definition
s	Stunde	Monatssumme	Summe aller Stunden mit Sonnenschein
sp	%	relative Sonnenscheindauer	Prozent der am Messort maximal möglichen Sonnenscheindauer
sonn0	Tag	Sonnenscheindauer = 0	Zahl der Tage mit Sonnenscheindauer = 0 Stunden
sonn5	Tag	Sonnenscheindauer ≥ 5	Zahl der Tage mit Sonnenscheindauer ≥ 5 Stunden
global	J/cm ²	Globalstrahlung	Monatssumme der Globalstrahlung
heiter	Tag	heitere Tage	Zahl der Tage mit einem Bewölkungsmittel < 20 %
trueb	Tag	trübe Tage	Zahl der Tage mit einem Bewölkungsmittel > 80 %

Tabelle 3.1-8 Windverhältnisse (langjährige Daten 1971-2000) der Messstation Pabneukirchen (Modifiziert übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Monate	w	w6	w8
Januar	2.2	2.6	0.63
Februar	2.1	1.9	0.17
März	2.3	2.0	0.10
April	2.1	0.8	0.07
Mai	2.1	0.7	0.03
Juni	2.0	0.5	0.00
Juli	1.9	0.8	0.23
August	1.7	0.8	0.13
September	1.7	0.5	0.07
Oktober	1.9	0.8	0.07
November	1.8	1.0	0.13
Dezember	2.0	1.6	0.47
Jahr	2.0	14.0	2.10

Die Windverhältnisse sind in dem Gebiet das ganze Jahr hindurch homogen. Westwinde überwiegen mit einem kleinen Nebenmaximum aus Ost (Abb. 3.1-6). Die mittlere Windgeschwindigkeit ist mit 2- 3 m/ sec. (Grein, Perg u. St. Thomas) bzw. mit 2 m/ sec (Pabneukirchen) (Tab. 3.1-8 u. Abb. 3.1-5) relativ hoch (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 50).

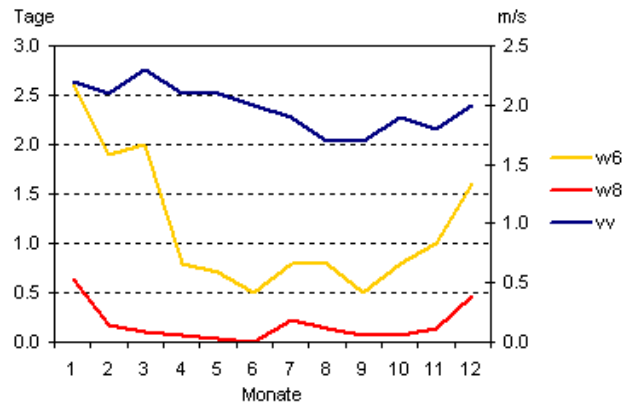


Abbildung 3.1-5 Graphische Darstellung der Tab. 3.1-8, Windverhältnisse (m/s), Messstation Pabneukirchen (Übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Tabelle 3.1-9 Legende zu Tab. 3.1-8 und Abb. 3.1-5, Windverhältnisse (m/s), Messstation Pabneukirchen (ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

Kürzel	Einheit	Element	Definition
w	m/s	Windgeschwindigkeit	Monatsmittel der Windgeschwindigkeit
w6	Tag	Windstärke ≥ 6 Bft	Zahl der Tage mit Windstärke ≥ 6 Beaufort
w8	Tag	Windstärke ≥ 8 Bft	Zahl der Tage mit Windstärke ≥ 8 Beaufort

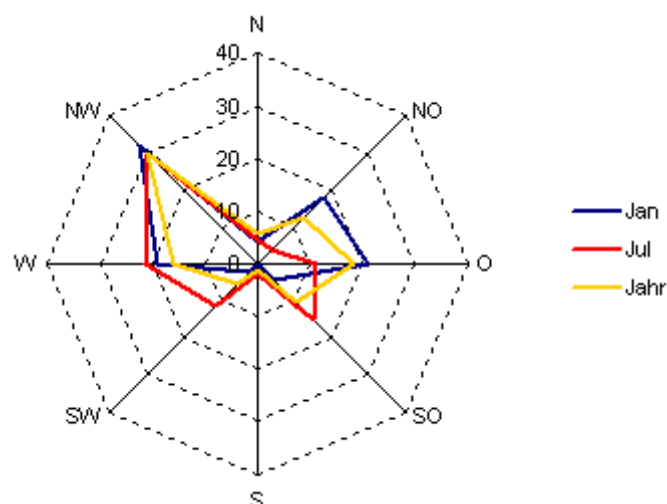


Abbildung 3.1-6 Anteil (in %) der Windrichtungen der Messstation Pabneukirchen (Quelle: Übernommen von ZAMG: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)

3.1.4 Geologie, Boden und Geländewasserhaushalt

Die Versuchsfläche (Abb. 3.1-7 u. Abb. 3.1-8) befindet sich im Berggebiet (Markierung durch Pfeil) und besteht aus Kristallingestein der Böhmisches Masse.

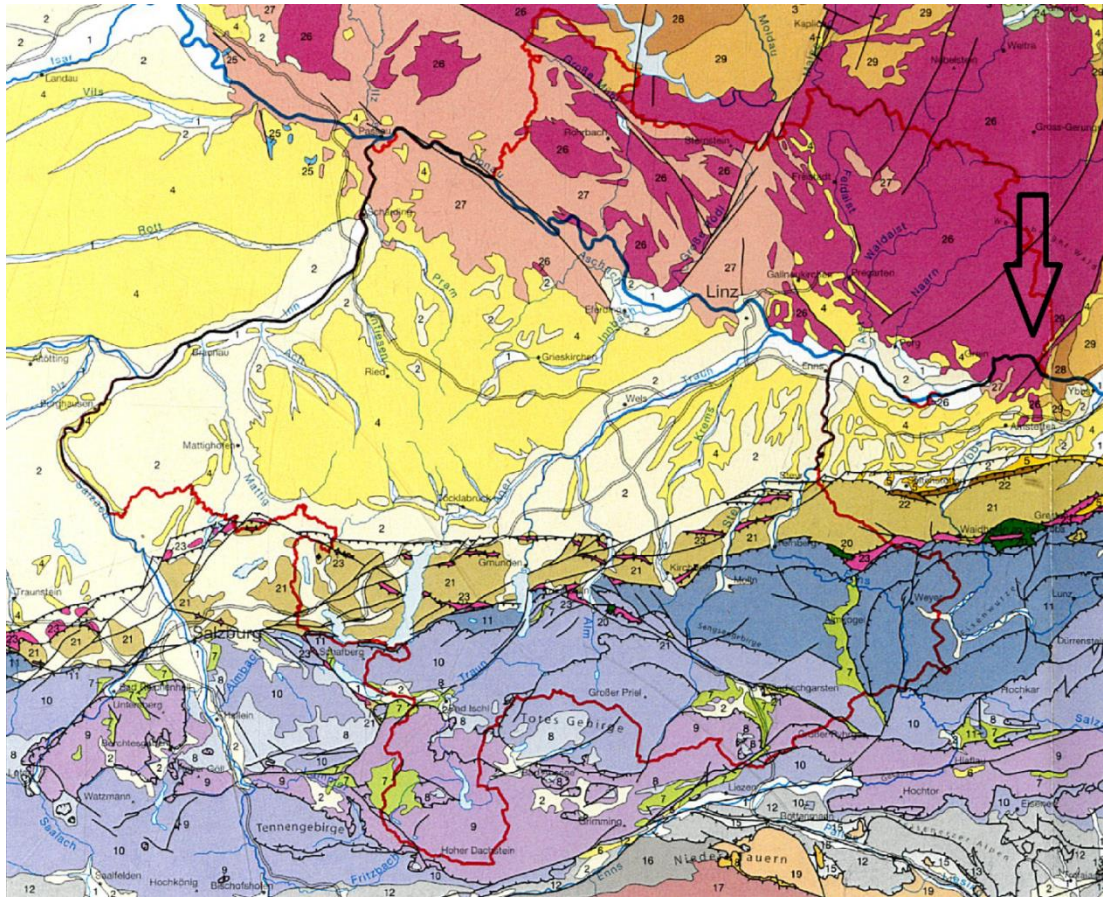
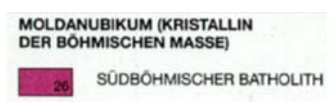


Abbildung 3.1-7 Kartenausschnitt der Geologischen Karte Oberösterreichs mit Standortmarkierung



(Gesamte Legende zur Karte befindet sich im Anhang, Abb. G)

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2006): Geologische Karte Oberösterreich (1: 200.000)

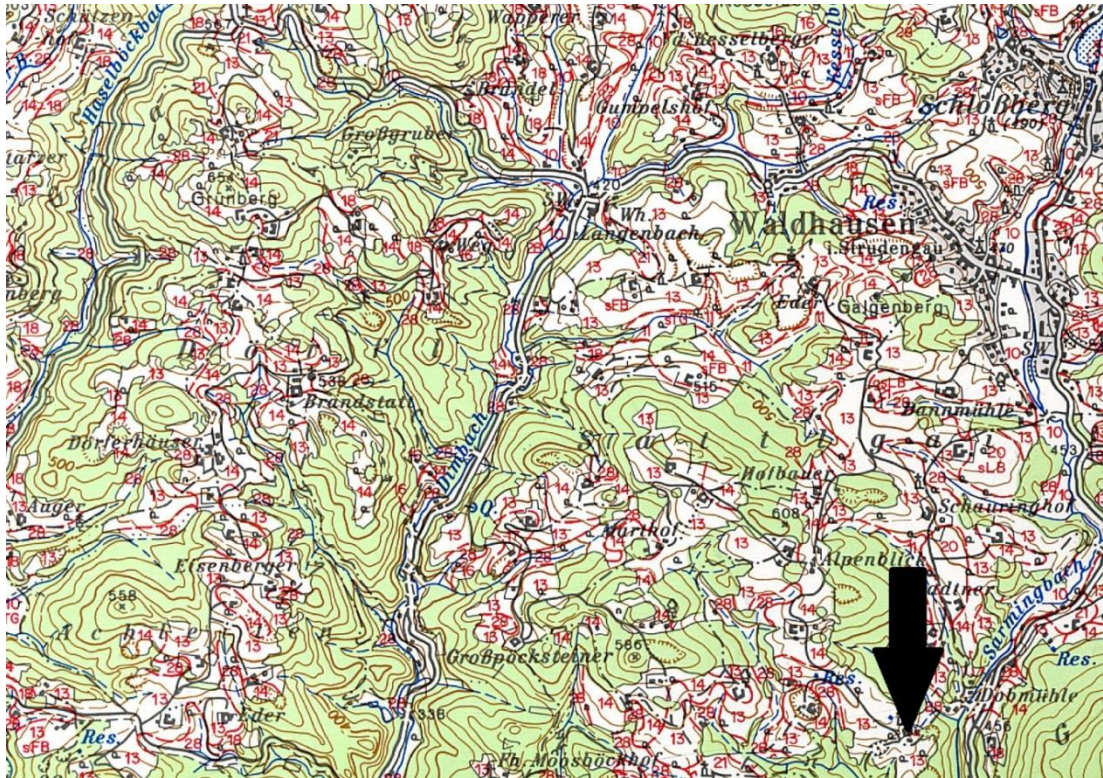


Abbildung 3.1-8 Ausschnitt aus der Bodenkarte (BK) 140 (Kartierungsbereich Grein) (BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, s. a., Bodenkarte 140 (Grein) (1: 25.000), Blatt 35/ 3S)

Die Böden des Berggebietes sind überwiegend durch Verwitterung von Granit (hauptsächlich grobkörniger Weinsberger Granit u. feinkörniger Mauthausener Granit) oder Gneis unterschiedlicher Körnung entstanden. Teilweise wurden Verwitterungsprodukte kolluvial, durch Abschwämmung, umgelagert. Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung ist somit quarzreiches, saures Silikatgestein. Die Verwitterungsböden des Kristallins sind kalkfreie Felsbraunerden (Bodentyp), bestehend aus lehmigem Sand oder sandigem Lehm (Bodenart) (grusiges, lehmig-sandiges Material). Das Gebiet ist geprägt durch eine starke Wasserabführung an der Oberfläche, gekoppelt mit einem relativ schlechten Wasserspeichervermögen (¹nFK ca. 60-140 mm). Beides resultiert aus der leichten Bodenart in Verbindung mit dem felsigen Untergrund. Daher besteht besonders in exponierten Lagen die Gefahr der Austrocknung während längerer Trockenperioden. Am Standort (Versuchsfläche) liegt die Bodenform 13 (sFB) vor (Abb. 3.1-8 Markierung mit Pfeil, Tab. 3.1-10 u. Abb. 3.1-9) (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 52-54, 70 und 93-94; BFW:

http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD).

Tabelle 3.1-10 Bodenkundliche Parameter der Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen (Bodenform 13 sFB) (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 89-91 u. 14-23)

Bodentyp und Ausgangsmaterial	Kalkfreie Felsbraunerde aus Verwitterungsmaterial von grobkörnigem Granit und/oder Gneis
Bodenschwere (und Grobanteil)	0 - 70 cm leichter (IS, Z, sZ) bis mittelschwerer (tS, sL, lZ) Boden mit hohem (20- 40 Vol.%) bis sehr hohem (40- 70 Vol.%) Grobanteil
	70 - 100 cm leichter Boden mit hohem bis sehr hohem Grobanteil
	Ab 100 cm aufgemürbtes, verwittertes Gestein (Ausgangsmaterial)
Tiefe (Gründigkeit)	Tiefgründig (> 70 cm)
Krume (Krumentiefe)	Seichtkrumig (< 20 cm)
Wasserverhältnisse	Mäßig trocken
Relief (Neigung, Geländeformen)	Eben/ schwach geneigt (0-5°) bis leicht hängig/ hängig (5-15°), (Hang, Verflachung)
Natürlicher Bodenwert	Mittelwertiges Ackerland/ Grünland
Sonstige Angaben	Erosionsgefahr durch Abschwämmung

BODENFORM 13 (sFB)

Größe der Bodenform: 4087 ha = 26,2 % der kart. Fläche

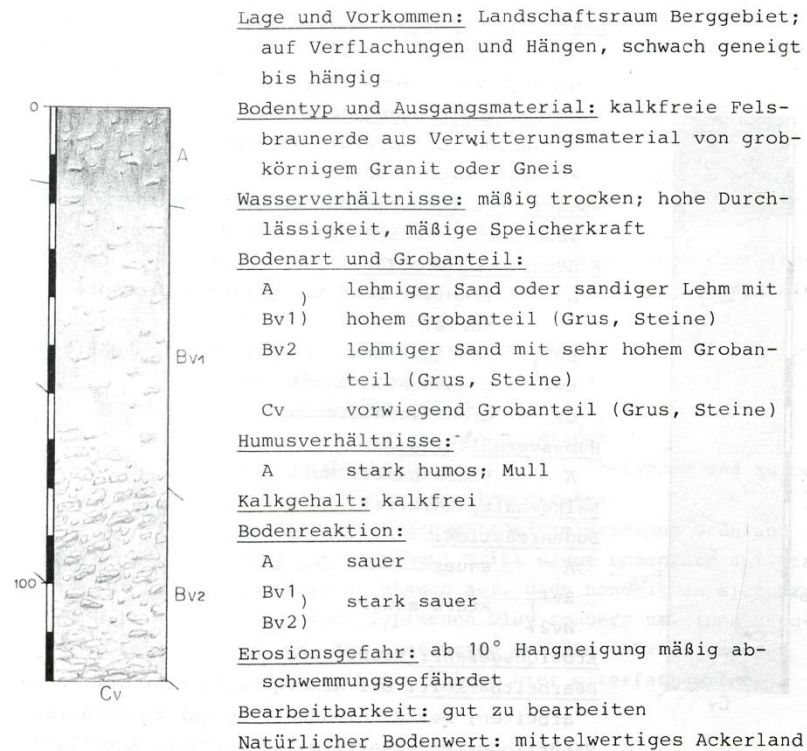


Abbildung 3.1-9 Bodenprofilschema und bodenkundliche Parameter der Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen, zusammengefasst (Bodenform 13 sFB) (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1992, 70)

3.2 Versuchsanlage

3.2.1 Klone und Pflanzgutarten

Tabelle 3.2-1 Untersuchungsmaterial (Klone) am Standort Sattlgai-Waldhausen
(SCHWEINBERGER, 2012, s. p.)

Untersuchungsmaterial			Eltern (Sektionen)	
Klon	Herkunft (Pflanzmaterial)	Art	Mutter	Vater
AF2	Alasia Franco Vivai, Italy	Populus x canadensis	P. deltoides 145-86 (Illinois - USA)	P. nigra 40 (Piemonte - Italia)
AF8	Alasia Franco Vivai, Italy	Populus x generosa	P. x generosa 103-86 [P. deltoides 583 (Iowa - USA) x P. trichocarpa 196 (Oregon - U.S.A.)]	P. trichocarpa PEE (Washington - USA)
Monviso	Probstdorfer, Austria	Populus x generosa X Populus nigra	P. x generosa 103-86 [P. deltoides 583 (Iowa - USA) x P. trichocarpa 196 (Oregon - U.S.A.)]	P. nigra 715-86 [P. nigra 12 (Piemonte -Italia-) x P. nigra 7 (Umbria – Italia)]
Kornik	Probstdorfer, Austria	(Populus laurifolia x Populus nigra) x Populus nigra	POPULUS MAXIMOWICZII x P. x BEROLINENSIS cv. 'KORNIK-21'	
Pannonia	Probstdorfer, Austria	Populus x euramericana	P. deltoids S-1- 54 (Belgium)	[P. delt.A 142(Iowa)xP.delt. A 148(Missouri)] X P. nigra Lebeny 211
NE 42 (OP 42, H275, Meggylevelu)	k. a.	P.maximowiczii Henry x P.trichocarpa T.&G.	Tacamahaca	
Max 4	k. a.	P.nigra x P.maximowiczii Henry	Aigeiros x Tacamahaca	
Max 5	k. a.	P.nigra x P.maximowiczii Henry	Aigeiros x Tacamahaca	

Die zwei Pflanzgutarten sind das Steckholz und die Steckrute. Das Pflanzmaterial stammt von der Firma Probstdorfer Saatzucht GesmbH & CoKG (Bezugsquelle). Der Tabelle 3.2-1 ist zu entnehmen, dass die Klone AF 8, Monviso, Kornik, Max 4 und Max 5 Kreuzungsprodukte der Sektionen Aigeiros (Schwarzpappeln) und Tacamahaca (Balsampappeln) sind. AF 2 ist ein Kreuzungsprodukt von Schwarzpappeln. Der Klon NE 42 ist ein Kreuzungsprodukt von Balsampappeln (DILLEN et al., 2011, 279).

3.2.2 Produktionstechnische Maßnahmen, Pflanzverband u. Pflanzdichte

3.2.2.1 Bodenvorbereitung

Die Bodenvorbereitung fand im Pflanzjahr Ende April 2011 statt (siehe Tab.3.2-2). Zunächst wurde die gesamte ca. 4200 m² große Grünlandfläche (Kleegras, Feldfutter) bis auf etwa 5 bis 7 cm Tiefe, zur Zerkleinerung der Grasnarbe, gefräst. Anschließend wurde die gesamte Fläche bis auf ca. 15 cm Tiefe gepflügt. Für die Saatbettbereitung wurde eine Eggen-Krümelwalzen-Kombination mit einer Bearbeitungstiefe von etwa 7 bis 8 cm eingesetzt. Abschließend wurde ein Totalherbizid mittels Feldspritze oberflächlich (Bodenapplikation) ausgebracht.

Tabelle 3.2-2 Bodenvorbereitung am Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen
(LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFER, 2012, schriftlich)

Datum	Eingesetztes Gerät	Bearbeitungstiefe
22.04.2011	Fräse	ca. 5 bis 7 cm (Grasnarbe)
22.04.2011	Pflug	ca. 15 cm
23.04.2011	Eggen-Krümelwalzen-Kombination	ca. 7 bis 8 cm
23.04.2011	Feldspritze (Herbizid)	Bodenapplikation (Oberfläche)

3.2.2.2 Auspflanzen

Die Auspflanzung der **Steckhölzer** (Parzelle 1 bis 21) (siehe Tab. 3.2-3 und 3.2-5) erfolgte maschinell mit einer Steckholz-Pflanzmaschine (Eigenbau) der Gärtnerei SCHACHNER (Wolfsbach). Die Steckhölzer wurden vor der Pflanzung nicht gewässert und ohne Überstand gepflanzt. Die Pflanzmaschine der Gärtnerei SCHACHNER ist ausschließlich für Steckhölzer (20 cm) konzipiert. Die Maschine drückt (stempelt) die Steckhölzer in den Boden. Der Pflanzabstand kann zwischen 50 bis 75 cm festgelegt werden. Die Pflanzmaschine besitzt zwei Pflanzorgane mit einem Abstand von 70 cm und wird von maximal drei Personen bedient. Bei der vorliegenden Anlage wurde für einen Reihenabstand von 3 m lediglich mit einem Pflanzorgan (2 Personen) gearbeitet (SCHACHNER, 2012, mündlich).

Die Auspflanzung der **Steckruten** (Parzelle 22 bis 36) (siehe auch Tab. 3.2-3 und 3.2-5) erfolgte motormanuell mittels Baggerlader (Hersteller: JCB). Die Pflanzlochbereitung erfolgte mittels Anbaudorn. Die Ruten wurden anschließend händisch gesteckt. Geschlossen wurde der Boden ebenfalls händisch (gestampft) mittels Pflock. Die Pflanzlochtiefe betrug etwa 60 cm, sodass die Ruten (200 cm) zu ca. 30% im Boden steckten (LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich).

Tabelle 3.2-3 Pflanzverfahren am Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen
(LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFER, 2012, schriftlich)

Pflanzung	Steckhölzer	Ruten
Datum	04.05.2011	05. bis 07.05.2011
Pflanztechnik	maschinell	motormanuell
Pflanztiefe	20 cm (kein Überstand)	60 cm (30%)

3.2.2.3 Pflanzverband und Pflanzdichte

Beide Pflanzgutarten (Steckhölzer, Steckruten) wurden im Einreihen-Pflanzverband angelegt (siehe Tab. 2.3-4). Für beide Pflanzgutarten wurde ein Fahrgassenabstand von 3,0 m vorgesehen. In den Parzellen mit Steckhölzern beträgt der Pflanzabstand in der Reihe 0,5 m. In den Setzrutenparzellen beträgt der Pflanzabstand in der Reihe 1,5 m (ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich). Daraus ergibt sich eine Pflanzdichte für die Steckholzparzellen von ca. 6.666 Pflanzen/ ha, für die Parzellen mit Steckruten eine Pflanzdichte von etwa 2.222 Pflanzen/ ha.

Tabelle 3.2-4 Pflanzverband und Pflanzdichte, Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen (LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich)

Einreihen-Pflanzverband		
Pflanzgutart	Steckholz	Steckrute
Fahrgassenabstand	3,0 m	3,0 m
Pflanzabstand in der Reihe	0,5 m	1,5 m
Standraum Einzelpflanze	1,5 m ²	4,5 m ²
Pflanzdichte	ca. 6.600 bis 6.700	2.200 bis 2.300
Geplante Umtriebszeit	5 bis 6 Jahre	5 bis 6 Jahre
Geplante Nutzung	Stofflich/ Energetisch (Hackgut)	Stofflich (Industrieholz)

Tabelle 3.2-5 Versuchsanlage-Skizze, Pappel und Weide (Klone und Parzellennummer), Sattlgai-Waldhausen (ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich)

Steckhölzer (3m * 0,5m)			Ruten (3m * 1,5m)		
Monviso	AF 8	NE 42	AF 2	Monviso	AF 8
19	20	21	34	35	36
AF 2	Monviso	Max 4	AF 8	Pannonia	Kornik
16	17	18	31	32	33
AF 8	Kornik	Max 5	Kornik	AF 2	Pannonia
13	14	15	28	29	30
Pannonia	AF 2	NE 42	Monviso	Dravamenti	5,03
10	11	12	25	26	27
Kornik	Pannonia	Max 4	Dravamenti	5,03	5,03
7	8	9	22	23	24
Inger	Tordis	Max 5			
4	5	6			
Tordis	Inger	NE 42			
1	2	3			

Die weiß unterlegten Parzellen waren für die Untersuchung nicht relevant, da es sich bis auf eine Ausnahme um Weidenklone handelt. Die weiß unterlegte Parzelle Nr. 3 mit dem Klon NE 42 wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst.

3.2.2.4 Bestandsführung- und Pflege in der Etablierungsphase

Wildmanagement

Bei den Steckhölzern und Steckruten wurde im Anlagejahr nach dem Austreib zweimal ein pastöses Verbisschutzmittel aufgetragen (26.07. u. 29.08.2011) (siehe Tab. 2.3-6). Die Steckruten wurden zudem bereits einen Tag vor dem Auspflanzen mit dem Verbisschutzmittel bestrichen (04.05.2011) (LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich).

Bewässerung

Aufgrund der Trockenheit nach dem Auspflanzen wurde insgesamt fünfmal im Anlagejahr zwischen 20.05 bis 26.05.2011 bewässert (siehe Tab. 3.2-6). Bewässert wurde jede Einzelpflanze händisch mit Schlauch. Der Wasserverbrauch betrug ca. 2000 Liter für die gesamte Anlage (ca. 2400 m²) pro Tag. Insgesamt wurden somit fünfmal 2000 Liter Wasser verbraucht (LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich).

Pflanzenschutz

Im Anlagejahr wurden drei mechanische (Mähen, Fräsen) und zwei chemische (Bodenherbizid) Beikrautregulierungsmaßnahmen durchgeführt. Die Bodenbehandlung (Vollfläche) mit einem Herbizid fand einmal vor der Auspflanzung nach der Bodenvorbereitung am 23.04.2011 (siehe Tab. 3.2-6) und einmal nach der Pflanzung (Fahrgasse) am 26.07.2011 (siehe Tab. 3.2-6) statt. Im Anlagejahr und Folgejahr wurden die Fahrgassen aller Parzellen insgesamt dreimal (30.06, 2011, 26.07.2011 u. 19.05.2012) mit einem Motormäher gemäht. Parallel dazu wurde am 01.07 u. 26.07.2011 das Gras/ Beikraut in den Reihen aller Parzellen händisch entfernt. Am 15.09.2011 wurden die Fahrgassen aller Parzellen mit einer Fräse bis auf ca. 5 cm Tiefe gefräst (verfilzte Grasnarbe). Im Jahr nach der Pflanzung (19.05.2012) wurden die Fahrgassen aller Parzellen nochmals mit einem Motormäher gemäht (LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich).

Wertholzastung

Am 26.10.2012 fand in einer Parzelle (34) bei AF 2 Pappelklonen eine Wertholzastung statt (Tab. 3.2-6).

Tabelle 3.2-6 Bestandsführung- und Pflege in der Etablierungsphase, Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen (LEONHARTSBERGER, 2012, mündlich; ZEITLHOFFER, 2012, schriftlich):

Datum	Pflegemaßnahme	Präparat/ Technik	Menge/ Fläche	Parzellen Steckhölzer	Parzellen Ruten
04.05.2011	Wildverbisschutz/ Fegeschutz ¹	(pastös)	ca. 10 l	-	x
20.05.2011	Bewässerung	-	2000 l	x	x
23.05.2011	Bewässerung	-	2000 l	x	x
24.05.2011	Bewässerung	-	2000 l	x	x
25.05.2011	Bewässerung	-	2000 l	x	x
26.05.2011	Bewässerung	-	2000 l	x	x
30.06.2011	Mähen	Motormäher	Fahrgasse	x	x
01.07.2011	Grasausziehen (händisch)	händisch	In der Reihe	x	x
26.07.2011	Mähen	Motormäher	Fahrgasse	x	x
	Grasausziehen (händisch)	händisch	In der Reihe	x	x
	Wildverbisschutz/ Fegeschutz	(pastös)	ca. 10 l	x	x
	Bodenbehandlung mit Herbizid	k. a.	k. a.	x	x
29.08.2011	Wildverbisschutz/ Fegeschutz	(pastös)	ca. 10 l	x	x
15.09.2011	Fräsen	Traktorfräse	Fahrgasse (ca. 5 cm Tiefe)	x	x
19.05.2012	Mähen	Motormäher	Fahrgasse	x	x
26.10.2012	Wertholzastung	k. a.		-	AF2 (34)

¹ Streichen der Ruten ein Tag vor dem Auspflanzen

3.3 Methoden

3.3.1 Erfassung Ertragsparameter

Die Erhebung der Baumhöhe (in m), Stammdurchmesser in 10 cm Höhe (D10, in Rinde), Stammzahl (N) und Parzellenlänge erfolgte am 20.10.2012 (Herbstaufnahme) und somit am Ende der zweiten Vegetationsperiode des Bestandes. In jeder Parzelle wurde jeweils nur die mittlere (Nettoparzelle) von insgesamt 3 Pflanzreihen (Bruttoparzelle) erfasst.

Höhen bis zu ca. 2 m wurden mittels Teleskopmesslatte gemessen. Bei darüberliegenden Höhen und für die Parzellenlänge wurde ein Höhenmessgerät (VERTEX) verwendet. Die Stammdurchmesser wurden mithilfe einer Messkluppe (Schiebelehre) ermittelt.

3.3.2 Datenverarbeitung sowie mathematisch-statistische Methoden

Die Datenverwaltung und Berechnung (mathematisch, statistisch) erfolgte mit SPSS 20® und Microsoft Excel 2010®. Graphische Darstellungen (Tabellen, Diagramme) wurden mit Microsoft Excel 2010® und Microsoft Word 2010® erstellt.

3.3.3 Anwuchsverhalten und Ertragsverhalten

Anwuchsverhalten

Die Anwuchsrate (in %) der jeweiligen Parzelle (2 Parzellen je Klon und Pflanzgutart-Steckholz, Rute) wurde wie folgt ermittelt:

$$\text{Anwuchsrate} = \frac{\text{lebende Individuen (N)}}{\text{gepflanzte Individuen}} \times 100$$

Zur Beurteilung, ob Verteilungsunterschiede im Anwuchs der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart vorliegen bzw. ob es Unterschiede im Anwuchs in Abhängigkeit vom Klon gibt, wurden die entsprechenden Kreuztabellen mittels Chi-Quadrat-Tests geprüft. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit 5% festgelegt.

Ertragsverhalten

Die Ertragsschätzung erfolgte mit Hilfe von optimierten, klonspezifischen Biomassefunktionen (1, 2) nach HOCHBICHLER et al. (2011). Eine allgemeine Biomassefunktion für Pappel ist nach ZEITLHOFFER et al. (2009) zum überwiegenden Teil auf Ertragsdaten älterer Pappelklone zurückzuführen. Aufgrund von Abweichungen des spezifischen Gewichts unterschiedlicher Klone wurden nach ZEITLHOFFER et al. (2009) neuere Klone (auch italienischer Herkunft) bezüglich ihrer Erträge überschätzt (HOCHBICHLER et al., 2011, 46-51; ZEITLHOFFER et al., 2009, 74-76).

Die hier verwendeten, klonspezifischen Biomassefunktionen (Regressionsgleichung = Beziehung einer abhängigen von einer/ mehreren unabhängigen Variablen) (siehe Formel: 1) basieren fast zur Gänze auf den in dieser Arbeit untersuchten acht Pappelklone (HOCHBICHLER et al., 2011, 49) mit TM als abhängige Variable und D₁₀ als unabhängige Variable. Die Regressionskoeffizienten (a, b) sind in Tab. 3.3-1 ersichtlich.

Das Versuchsdesign (Reihenabstand 3 m, Pflanzabstand 0,58 m, 3 Reihen) pro Parzelle (Klon) zur Ermittlung der klonspezifischen Biomassefunktion entspricht dem Anlagedesign der Steckholzparzellen der vorliegenden Untersuchung (3 m * 0,5 m), jedoch weniger dem Anlagedesign der Stechrutenparzellen in dieser Untersuchung (ZEITLHOFFER, 2009, 47; HOCHBICHLER et al., 2011, 64- 50). Dies ist zu berücksichtigen, da der Verlauf der Biomassefunktion neben dem Brusthöhendurchmesser und der Bestandsmittelhöhe von der Bestandsdichte abhängt (HOCHBICHLER et al., 2011, 48).

Formel 1:

$$\ln TM (kg) = a + b \times \ln D_{10} (cm) \times C$$

$$\text{oder } TM (kg)_{atro} = e^{(a+b) \times (\ln D_{10}) \times C}$$

Tabelle 3.3-1 Parameter der klonspezifischen Biomassefunktionen 1 und 2

(Modifiziert übernommen aus HOCHBICHLER et al., 2011, 49):

Funktion	n	a	b	c	r ²
1 (5 Klone)	63	-3,450	2,427	1,013	0,99
2 (8 Klone)	96	-3,279	2,240	1,013	0,69

(n = Anzahl der Probestämme; a u. b = Regressionskoeffizienten; r² = Bestimmtheitsmaß; C = Korrekturfaktor; Regressionskoeffizienten der Funktion 1 mittels älterer Klone 2008 erstellt; Funktion 2 mittels folgender Klone 2010 erstellt: AF 2, AF 8, AF 6, Max 5, Monviso, Pegaso, 22.02 und 3.02)

Durch das Einsetzen der einzelnen D₁₀-Werte (jeder Schössling einzeln) einer Parzelle x in die Biomassefunktion wurde der Biomasseertrag (in kg TM_{atro}) für jeden Schössling nach zwei Vegetationsperioden einzeln ermittelt. Anschließend wurde die Summe (Σ) der Biomasse (in kg TM_{atro}) für die jeweilige Parzelle x mit der jeweiligen Pflanzgutart nach zwei Vegetationsperioden berechnet. Die zur Berechnung des Blow-up-Faktors benötigte Quadratmeterzahl der jeweiligen Parzelle wurde wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} & \text{Quadratmeter (Pflanzreihe Parzelle x)} \\ & = 3 \text{ m} \times (\text{Parzellenlänge} + 0,5 \text{ m bzw. } 1,5 \text{ m}) \end{aligned}$$

Die 3 Meter entsprechen dem Fahrgassenabstand bzw. der Ausdehnung des seitlichen Standraumes je Individuum (2 * 1,5 m). Die Parzellenlänge ist hier der

Abstand vom ersten bis zum letzten erfassten Individuum einer Parzelle. Da der Standraum der beiden äußeren Individuen in der Pflanzreihe theoretisch jeweils die halbe Länge zur nächsten Pflanze beträgt, wurde bei den Stekhölzern zweimal 0,25m (0,5 m) und bei den Stechruten zweimal 0,75m (1,5 m) zu der gemessenen Parzellenlänge dazu addiert.

Mit der Anzahl der Quadratmeter der jeweiligen Parzelle konnte der Blow-up-Faktor der jeweiligen Parzelle wie folgt ermittelt werden:

$$\text{Blow-up-Faktor}(x) \text{ (Parzelle } x) = \frac{10000 \text{ m}^2 \text{ (1ha)}}{\text{Quadratmeter Parzelle } x}$$

Anschließend wurde der Biomasseertrag (in kg TM_{atro}) für zwei Vegetationsperioden der jeweiligen Parzelle und Pflanzgutart wie folgt auf das Hektar hochgerechnet:

$$\begin{aligned} &\text{Ertrag in kg TM pro ha (Parzelle } x) \\ &= \sum \text{Biomasseertrag(Parzellex)} \times \text{Blow-up-Faktor}(x) \end{aligned}$$

Analog dazu wurde der Biomasseertrag des jeweiligen Klonbestandes (2 Parzellen pro Klon und Pflanzgutart) berechnet. Durch diese Vorgehensweise (Biomasseertrag pro Fläche * Blow-up-Faktor) wird die Ausfallrate (Anzahl abgestorbener Individuen) in den Hochrechnungen berücksichtigt. Der mittlere Ertragszuwachs (in kg TM_{atro}/ ha a) des jeweiligen Klonbestandes (2 Parzellen je Klon und Pflanzgutart) wurde wie folgt ermittelt:

$$\text{Mittlerer Ertragszuwachs je Klonbestand und a (in kg TMatro/ha a)} = \frac{\text{Biomasseertrag (Klonbestand)}}{2 \text{ (Vegetationsperioden)}}$$

Um zu prüfen, ob es Unterschiede im Ertrag in Abhängigkeit von der Pflanzgutart bzw. in Abhängigkeit vom Klon gibt, wurde eine zweifaktorielle univariate Varianzanalyse der z-standardisierten Ertragswerte (Einzelrutenerträge je Klonbestand) durchgeführt. Die Normalverteilung der Daten kann angenommen werden, da der Stichprobenumfang ($N \geq 19$) ausreichend ist (BORZ u. DÖRING, 2006, 218). Verletzungen der Varianzhomogenität (überprüft mittels Levene-Test) können aufgrund der Robustheit des Verfahrens vernachlässigt werden (BACKHAUS et al, 2003, 151). Die Berechnung paarweiser Vergleiche erfolgte mittels Bonferroni Post-Hoc-Test, der den Fehler erster Art (alpha-Fehler) berücksichtigt und für die Analyse bei einer relativ geringen Anzahl von paarweisen Vergleichen den anderen Post-hoc-Tests vorzuziehen ist (FIELD, 2009, 374).

3.3.4 Analyse der übrigen erhobenen Parameter

Die statistische Analyse der Wuchshöhe, des Stammdurchmessers auf 10 cm Höhe und des Ertrags erfolgte mit Excel 2010®. Es wurden jeweils Minimum, Maximum, Mittelwert, Median und die Standardabweichung (SD) der Wuchshöhe, des D₁₀ und des Ertrags der jeweiligen Parzelle, des jeweiligen Klons (Klonbestand) und der jeweiligen Pflanzgutart ermittelt. Die Berechnungen erfolgten auf Grundlage der Einzelruten und deren erhobenen bzw. ermittelten Daten (Biomasseertrag der

Einzelrute in kg TM_{atro}). Diese Berechnungen dienen nicht der Beantwortung der Fragestellung und werden daher auch nicht im Ergebnisteil vorgestellt und auch nicht diskutiert. Diese zusätzlichen Ergebnistabellen befinden sich im Anhang, nach Klon geordnet (siehe Anhang, Tab. H bis O).

Zudem wurden die Bestockungsraten (in %) je Klon der Steckholzbestände mathematisch ermittelt. Diese Rate gibt an, wie viele der gepflanzten, in der zweiten Vegetationsperiode lebenden Individuen mindestens zwei oder mehr Einzelruten (unter D_{10}) ausgebildet haben. Sie gibt nicht an, wie viele Einzelruten pro Individuum ausgebildet wurden. Die Ergebnisse dienen nicht der Beantwortung der Forschungsfragen und werden daher ebenfalls nur im Anhang, Abb. P, dargestellt.

4 ERGEBNISSE

Die Berechnungen (Chi-Quadrat Test, ANOVA) bezüglich Anwuchs- und Ertragsleistung in Abhängigkeit von der Pflanzgutart konnten von den insgesamt acht untersuchten Klonen nur bei jenen fünf Klonen durchgeführt werden, bei denen beide Faktorstufen (Steckholz, Steckrute) des Faktors „Pflanzgutart“ vorlagen. Die Anwuchsraten in % sowie die geschätzten Erträge in kg TM_{atro} der Klone pro Hektar und Jahr wurden bei allen acht Klonen ermittelt.

4.1 Anwuchsverhalten

Der Faktor „Pflanzgutart“ führt bei den fünf untersuchten Klonen mit den vorliegenden Stichprobengrößen zu keinem signifikanten Anwuchsunterschied (Tab 4.1-1). Die H_0 wird beibehalten. Innerhalb der Gruppen (Steckholz, Steckrute) gibt es in der Steckholzgruppe signifikante $p < .001$ Unterschiede im Anwuchs.

Tabelle 4.1-1 Nach Steckhölzern und Steckruten differenziertes Anwuchsergebnis der fünf Einzelklone (Chi²-Wert kursiv)

Klon	Steckholz			Steckrute			X ² -Wert	p
	Anzahl	Anwuchs	%	Anzahl	Anwuchs	%		
AF 2	44	40	90,9	21	21	100	2.034	.153
AF 8	47	47	100	20	19	95	1.035	.308
Monviso	45	45	100	20	20	100	0	.997
Kornik	47	44	93,6	20	20	100	1.336	.247
Pannonia	44	32	72,7	21	19	90,5	2.651	.103
Gesamt	227	208	91,6	102	99	97,05		
X ² -Wert	29.174 (p = .001)			5.327 (p = .255)				

(Vergleich Pflanzmaterial: mit df (Freiheitsgrade) = 1 und $X^2_{krit} = 3,89$; Vergleich Anwuchs innerhalb einer Pflanzgutart-Gruppe: mit df = 4 und $X^2_{krit} = 9,49$)

Tabelle 4.1-2 Nach Steckhölzern und Steckruten differenziertes Anwuchsergebnis aller acht Einzelklone

Klon	Steckholz			Steckrute		
	Anzahl	Anwuchs	%	Anzahl	Anwuchs	%
AF 2	44	40	90,9	21	21	100
AF 8	47	47	100	20	19	95
Monviso	45	45	100	20	20	100
Kornik	47	44	93,6	20	20	100
Pannonia	44	32	72,7	21	19	90,5
NE 42	43	25	58,1	-	-	-
Max 4	44	41	93,2	-	-	-
Max 5	45	41	91,1	-	-	-
Gesamt	359	315	87,5	102	99	97

Tabelle 4.1-2 zeigt die einzelnen Anwuchsraten aller acht untersuchten Pappelklone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart sowie die durchschnittliche Anwuchsraten

(Mittelwert) je Pflanzgutart. Bei den Steckhölzern liegen die Klone NE 42 mit 58,1% und Pannonia mit 72,7% angewachsenen Steckhölzern unter der durchschnittlichen Anwuchsrate der gesamten Steckhölzer. Bei den Steckruten liegen der Klon AF 8 mit 95% und Pannonia mit 90,5% Anwuchsrate unter dem Durchschnitt der Anwuchsraten der Steckruten. Die durchschnittliche Anwuchsrate (Mittelwert) ist bei den Steckruten mit 97% deutlich höher als die durchschnittliche Anwuchsrate der Steckhölzer mit 87,5%.

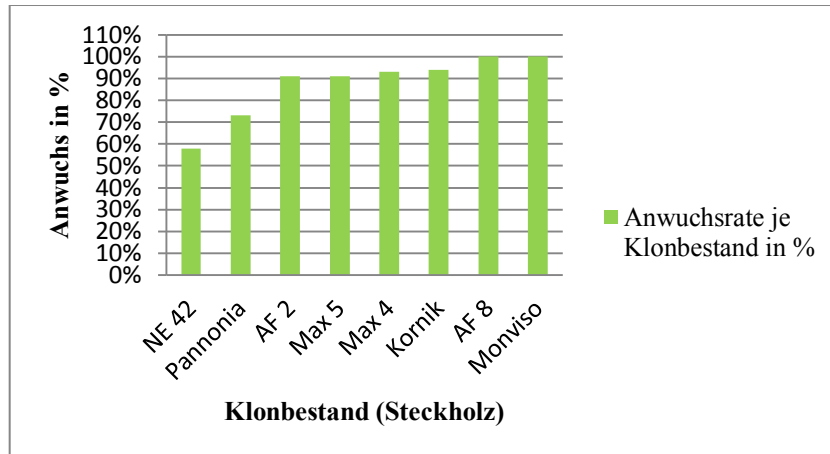


Abbildung 4.1-1 Vergleich der Anwuchsraten der 8 Steckholz-Klonbestände (Sattlgai, 2012)

Die Anwuchsergebnisse der acht untersuchten Steckholzbestände liegen zwischen 58 % bei NE 42 und 100 % bei AF 8 und Monviso (Abb. 4.1-1 u. Abb. 4.1-3). Die Anwuchsrate des Klons Pannonia liegt bei rund 73%. Vom Klon AF 2 wuchsen ca. 91% der Steckhölzer an. Der Klon Max 5 erreicht eine Anwuchsrate von ca. 91%. Bei Klon Max 4 sind rund 93% der Steckhölzer angewachsen. Kornik erreicht eine Anwuchsrate von ca. 94%.

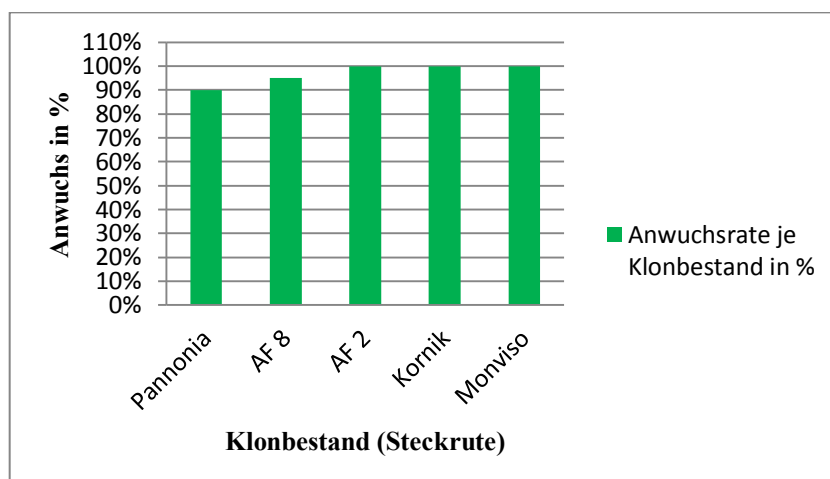


Abbildung 4.1-2 Vergleich der Anwuchsraten der 5 Steckruten-Klonbestände (Sattlgai, 2012)

Das Anwuchsergebnis der fünf untersuchten Steckrutenbestände liegt zwischen 90,5 % bei Pannonia und 100 % bei AF 2, Kornik und Monviso (Abb. 4.1-2). Bei dem Klon AF 8 sind 95% der Steckruten angewachsen.

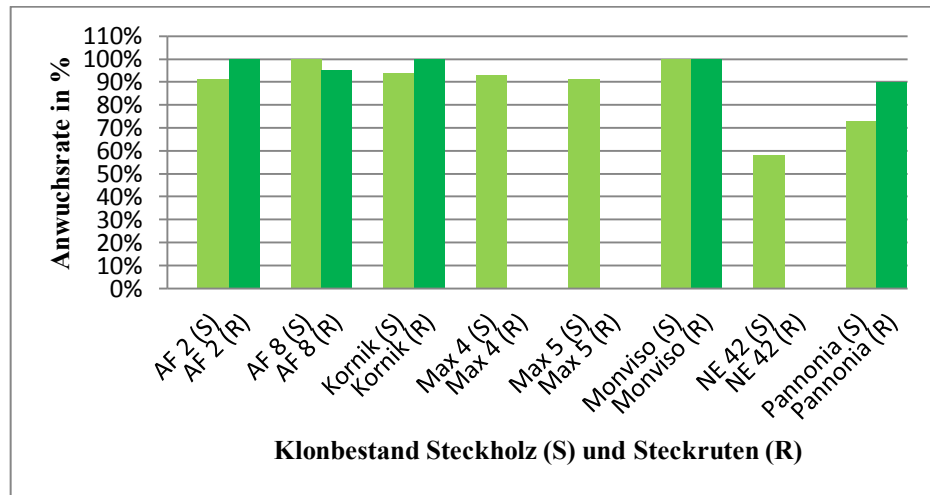


Abbildung 4.1-3 Gegenüberstellung der Anwuchsraten der Steckholzbestände vs. der Steckrutenbestände (Sattlgai, 2012)

Aus Abb. 4.1-3 ist zu entnehmen, dass die prozentualen Anwuchsraten bei den Steckruten bis auf eine Ausnahme (AF 8) höher liegen, als bei den Steckhölzern. Des Weiteren ist ersichtlich, dass der Klon NE 42 als Steckholz und der Klon Pannonia als Steckholz, im Vergleich zu den anderen Steckholzbeständen, mit Anwuchsraten von weniger als 80% vergleichsweise geringer anwuchsen.

4.2 Ertragsverhalten

Die geschätzte, auf Hektar hochgerechnete Biomasse der Steckholz-Klonbestände (Abb. 4.2-1 und 4.2-3) liegt zwischen 870 kg $TM_{atro}/ha a^2$ bei NE 42 und 7030 kg $TM_{atro}/ha a^2$ für AF 2. Die geschätzte Biomasse vom Klon Pannonia beträgt 1590 kg $TM_{atro}/ha a^2$. Der Klon Max 4 erreicht als Steckholz geschätzte 3170 kg $TM_{atro}/ha a^2$. Der Klon Kornik erreicht eine geschätzte, hochgerechnete Biomasse von 3650 kg $TM_{atro}/ha a^2$. Der Klon Max 5 erreicht eine geschätzte Biomasse von 4280 kg $TM_{atro}/ha a^2$. Monviso erreicht eine geschätzte Biomasse von 6100 kg TM_{atro}/ha nach zwei Jahren, der Klon AF 8 erreicht eine Biomasse von ca. 6760 kg $TM_{atro}/ha a^2$.

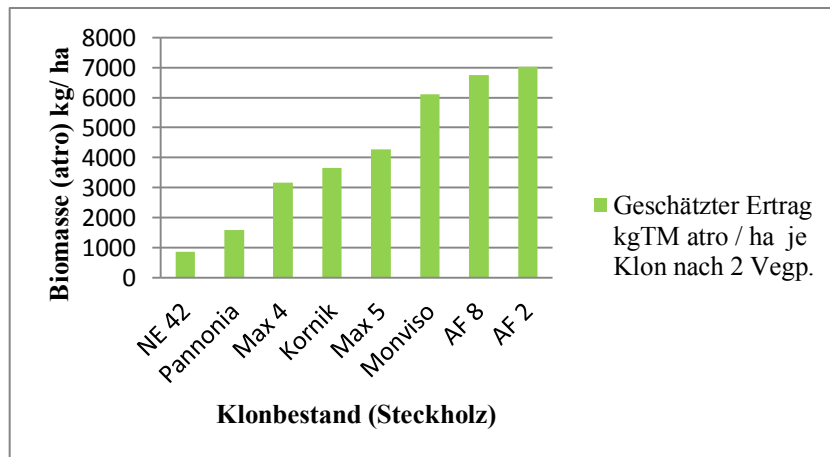


Abbildung 4.2-1 Geschätzte Biomasse der acht Steckholzbestände nach zwei Vegetationsperioden (Sattlgai, 2012)

Die geschätzte, auf das Hektar hochgerechnete Biomasse der Steckruten-Klonbestände (Abb. 4.2-2 und 4.2-3) liegt zwischen 1680 kg $TM_{atro}/ha\ a^2$ bei Pannonia und 8540 kg $TM_{atro}/ha\ a^2$ bei Monviso. Der Klon AF 8 erreicht als Steckrute eine geschätzte Biomasse von 6500 kg TM_{atro}/ha nach zwei Vegetationsperioden, der Klon Kornik ergibt eine geschätzte Biomasse von 6800 kg $TM_{atro}/ha\ a^2$. AF 2 erreicht eine geschätzte, hochgerechnete Biomasse von 8290 kg $TM_{atro}/ha\ a^2$.

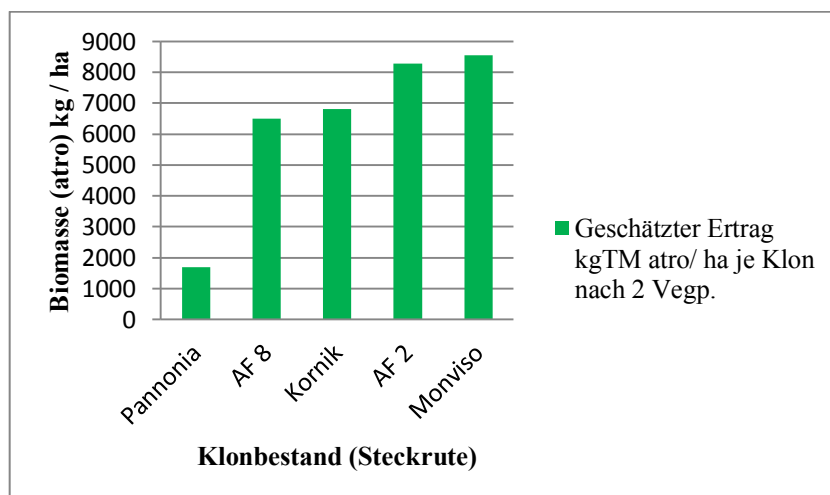


Abbildung 4.2-2 Geschätzte Biomasse der fünf Steckrutenbestände nach zwei Vegetationsperioden (Sattlgai, 2012)

Aus Abbildung 4.2-3 ist zu entnehmen, dass die geschätzten, auf Hektar hochgerechneten Biomasseleistungen bei den untersuchten Steckrutenbeständen über denen der Steckholzbestände liegen (mit einer Ausnahme: AF 8). Nur der Steckholzbestand des Klons AF 8 liegt mit einer geschätzten Biomasse von 6760 kg $TM_{atro}/ha\ a^2$ über der geschätzten Biomasse des Steckrutenklonbestandes von AF 8 mit 6500 kg $TM_{atro}/ha\ a^2$. Die höchsten Biomasseerträge nach zwei

Vegetationsperioden erreichen die italienischen Klone AF 2, AF 8 und Monviso mit beiden Pflanzgutarten. Eine große aber nicht signifikante Differenz der Biomasse in Abhängigkeit von der Pflanzgutart weist der Klon Kornik auf.

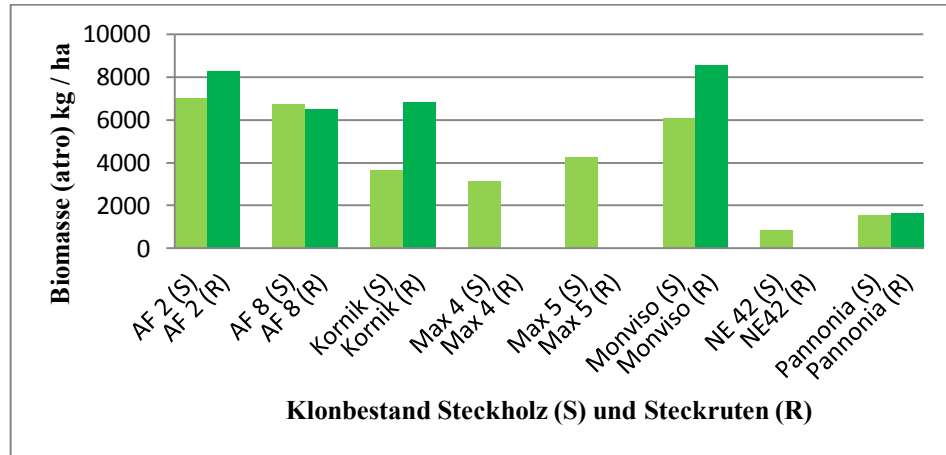


Abbildung 4.2-3 Gegenüberstellung der geschätzten Biomasse der Steckholzbestände vs. Steckrutenbestände nach zwei Vegetationsperioden (Sattlgai, 2012)

Abbildung 4.2-4 zeigt die geschätzten mittleren Biomassezuwachsleistungen in kg TM_{atro} / (ha a) der Steckholz-Klonbestände. Die jährlichen Zuwachsleistungen liegen zwischen 440 kg TM_{atro} / ha a bei NE 42 und 3520 kg TM_{atro} / ha a bei AF 2. Pannonia erreicht als Steckholz eine geschätzte, hochgerechnete mittlere Zuwachsleistung von 800 kg TM_{atro} / ha a. Der Klon Max 4 erreicht eine Zuwachsleistung von 1580 kg TM_{atro} / ha a. Der Steckholzbestand des Klons Kornik erzielt eine geschätzte jährliche mittlere Zuwachsleistung von 1830 kg TM_{atro} / ha a. Der Klon Max 5 erreicht als Steckholzbestand eine jährliche mittlere Zuwachsleistung von 2140 kg TM_{atro} / ha a. Monviso erreicht eine Zuwachsleistung von 3050 kg TM_{atro} / ha a und der Klon AF 8 erreicht eine mittlere jährliche Zuwachsleistung von 3380 kg TM_{atro} / ha a.

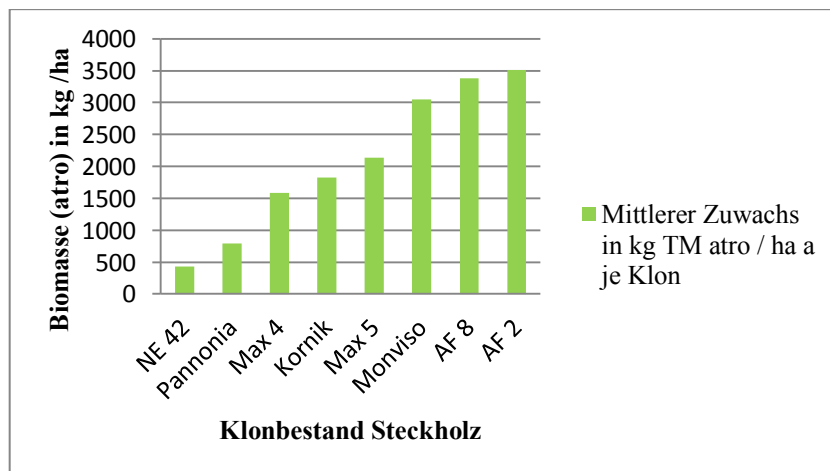


Abbildung 4.2-4 Geschätzte Ertragszuwachsleistungen der acht Steckholzbestände in kg TM_{atro} / ha a (Sattlgai, 2012)

Abbildung 4.2-5 zeigt die geschätzten, mittleren Biomassezuwachsleistungen in kg TM_{atro} / (ha a) der Steckruten-Klonbestände. Die geschätzten, jährlichen mittleren Biomassezuwachsleistungen liegen bei den Steckrutenbeständen zwischen 840 kg TM_{atro} / ha a bei Pannonia und 4270 kg TM_{atro} / ha a bei Monviso. Der Klon AF 8 erreicht eine geschätzte mittlere Zuwachsleistung von 3250 kg TM_{atro} / ha a. Der Klon Kornik erreicht eine jährliche Zuwachsleistung von 3400 kg TM_{atro} / ha a. Der Klon AF 2 ergibt eine geschätzte, jährliche mittlere Zuwachsleistung pro Hektar von 4150 kg TM_{atro} / ha a.

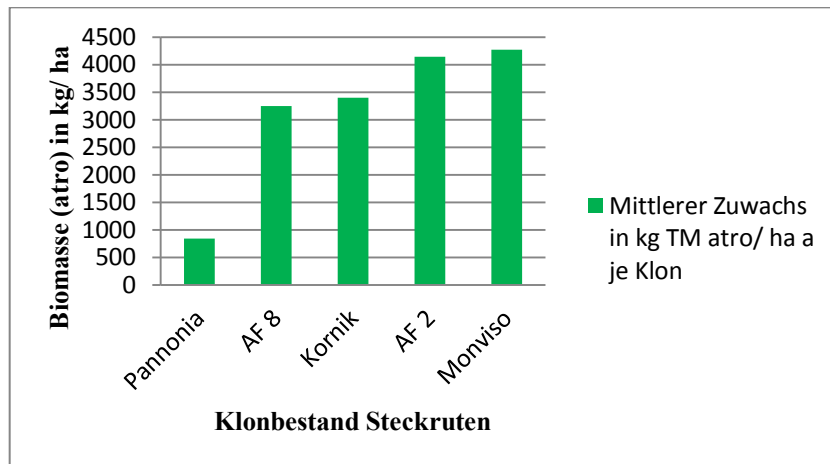


Abbildung 4.2-5 Geschätzte Ertragszuwachsleistung der fünf Steckrutenbestände in kg TM_{atro} / ha a (Sattlgai, 2012)

In der Abbildung 4.2-6 sind die geschätzten jährlichen mittleren Zuwachsleistungen der Steckholzbestände den entsprechenden Zuwachsleistungen der Steckrutenbestände gegenübergestellt. Die italienischen Klone AF 2, AF 8 und Monviso erreichen bei beiden Pflanzgutarten im Vergleich zu den restlichen Klonen höhere Zuwachsleistungen. Von den untersuchten Klonen erzielt nur Klon Kornik als Steckrute vergleichbar hohe geschätzte, jährliche mittlere Ertragszuwachsleistungen.

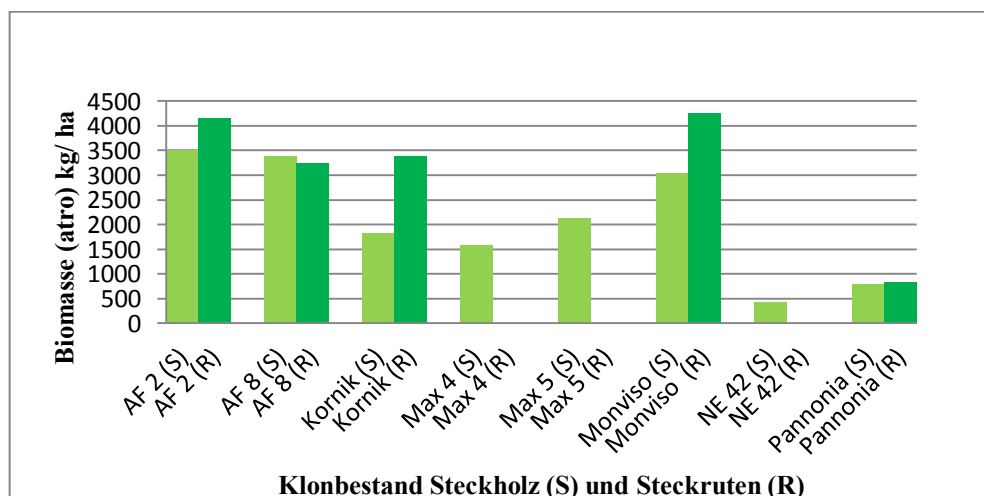


Abbildung 4.2-6 Gegenüberstellung der geschätzten Ertragszuwachsleistungen der Steckholzbestände vs. der Steckrutenbestände (Sattlgai, 2012)

Mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) wurde geprüft, ob die Ertragsmenge (z-standardisiert) einen Unterschied in Abhängigkeit von Pflanzgutart (Steckholz, Rute) und Klon (5 Klone mit vollständigen Daten) aufweist. Tab. 4.2-1 zeigt die Kennwerte der Ertragsmenge in Abhängigkeit der Faktorstufenkombination.

Tabelle 4.2-1 Kennwerte der Ertragsmenge in Abhängigkeit von der Faktorstufenkombination

Abhängige Variable: Ertragsmenge (z-Wert)				
Pflanzgutart	Klon	<i>M</i>	<i>SD</i>	N
Steckholz	AF2	.6226	1.0966	53
	AF 8	.5355	.9940	56
	Kornik	-.2774	.6734	53
	Monviso	-.2111	.9092	80
	Pannonia	-.8049	.3528	39
Steckrute	AF2	.5859	.8129	21
	AF 8	.1386	.5971	19
	Kornik	.0063	.5976	20
	Monviso	.6865	.6519	20
	Pannonia	-1.5155	.3991	19
Gesamt	AF2	.6122	1.0188	74
	AF 8	.4349	.9226	75
	Kornik	-.1997	.6618	73
	Monviso	-.0316	.9335	100
	Pannonia	-1.0377	.4964	58

Die Berechnung der entsprechenden Prüfgröße für den Haupteffekt Pflanzgutart fällt mit $F(1, 370) = 0.06$, $p = .938$ nicht signifikant aus. Daher kann angenommen werden, dass kein relativer Ertragsunterschied in Abhängigkeit von der Pflanzgutart auftritt. Die H_0 wird somit beibehalten.

Die Berechnung der Prüfgröße für den Haupteffekt Klon fällt mit $F(4, 370) = 38.01$, $p < .001$ signifikant aus. Daher kann angenommen werden, dass der Ertrag einen Unterschied in Abhängigkeit vom Klon aufweist. Die Berechnung paarweiser Vergleiche mittels Bonferroni-korrigierten Post-Hoc-Tests zeigt, dass sich Pannonia jeweils signifikant ($p < .001$) von den anderen Klonen unterscheidet und einen niedrigeren Ertrag aufweist. Kornik ergibt im Ertrag einen signifikant unter AF 2 ($p < .001$) sowie unter AF 8 $p < .021$ liegenden Wert.

Darüber hinaus kann für die Interaktion aus Pflanzgutart x Klon mit $F(4, 370) = 8.44$, $p < .001$ ein signifikanter Wechselwirkungseffekt angenommen werden. Dies bedeutet, dass bestimmte Faktorstufenkombinationen überadditive Effekte auf den Ertrag aufweisen, wie Abb. 4.2-7 zeigt.

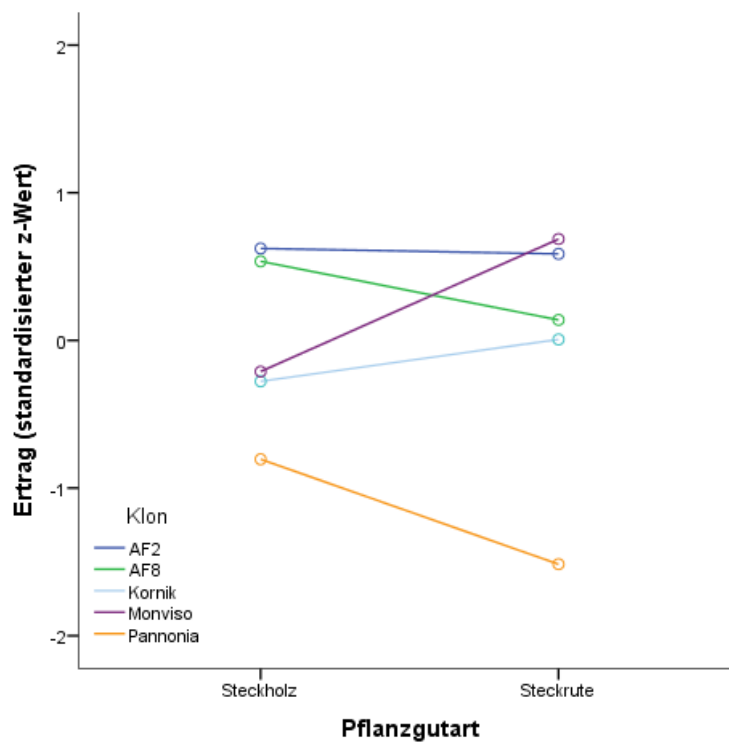


Abbildung 4.2-7 Interaktionsdiagramm für Ertrag (z-stand.) in Abhängigkeit von Pflanzgutart und Klon

5 DISKUSSION

Grundlage der Masterarbeit ist ein neu angelegter Langzeitversuch (Feldholzanlage) in Oberösterreich bei dem geprüft wird, welche praxistauglichen Pappel-Pflanzgutarten und verfügbaren Pappel-Klone für eine Industrieholzproduktion bei einer Umtriebszeit von acht Jahren und weniger an diesem Standort hinsichtlich Anwuchsverhalten, Ertragsleistung und Qualitätskriterien geeignet sind.

Ziel dieser Masterarbeit war, die Anwuchs- u. Ertragsleistung ausgewählter Pappelklone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart auf einer Versuchsfläche (Grenzertragsboden) in Oberösterreich (OÖ) zu beurteilen (Momentaufnahme vor dem Ersten Umtrieb).

5.1 Anwuchsverhalten

Die statistische Analyse der fünf Klone, welche als Steckholz und Steckrute gepflanzt wurden, ergab keine signifikanten Unterschiede in der Anwuchsrate der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart. Jedoch ergaben sich signifikante Unterschiede in der Anwuchsrate in Abhängigkeit von dem Faktor Klon.

Bei den Steckholzbeständen lagen die Anwuchsraten der insgesamt acht untersuchten Klone zwischen 58% und 100%. Bei den Steckrutenbeständen lagen die Anwuchsraten der insgesamt fünf untersuchten Klone zwischen 90% und 100%.

Bezüglich des Einflusses der Pflanzgutart auf das Anwuchsverhalten ergab die Untersuchung von HOFMANN (2005) ähnliche Ergebnisse. Demnach blieb bei fünf von sieben Klonen die Wahl der Pflanzgutart (Steckholz, Steckrute) ohne Einfluss auf das Anwuchsergebnis (HOFMANN, 2005, 37-41). Abgesehen von den klimatischen und bodenkundlichen Bedingungen unterscheidet sich die Untersuchung von HOFMANN (2005) von der vorliegenden Untersuchung jedoch wesentlich im Stichprobenumfang und der Sortenwahl. Möglicherweise hätte ein größerer Stichprobenumfang auch in der vorliegenden Arbeit bei zumindest zwei Klonen (siehe Tab. 4.1-1, χ^2 -Werte von AF 2 u. Pannonia) zu signifikanten Unterschieden in der Anwuchsrate in Abhängigkeit von der Pflanzgutart geführt. Das Resultat der vorliegenden Arbeit ist nur für den gegebenen Stichprobenumfang gültig. Mangels weiterer vergleichbarer Untersuchungen kann im Rahmen dieser Arbeit keine allgemeingültige Aussage über den Einfluss der zwei verschiedenen Pflanzgutarten, relativ gesehen, an einem Standort auf das Anwuchsverhalten getroffen werden. Dennoch sind die Resultate der vorliegenden Arbeit so zu interpretieren, dass der Einfluss der Pflanzgutart (Steckholz, Steckrute) auf das Anwuchsverhalten an demselben Standort unter den gegebenen Bedingungen (Bodenvornutzung, Bodenvorbereitung, Klima, Boden) eine eher untergeordnete Rolle spielt.

In der Studie von HOFMANN und DOHRENBUSCH (2007) wurde die Anwuchssicherheit von unterschiedlich langen Balsampappel-Setzstangen (NE 42, Max 4) in Abhängigkeit vom Pflanzverfahren auf zwei unterschiedlichen Standorten geprüft. Die Anwuchsrate aller Individuen beider Standorte betrug im Mittel 98 % und ist vergleichsweise hoch, wie auch die mittlere Anwuchsrate der Steckrutenbestände der am Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen ermittelte Werte von 97%. Zudem verweisen HOFMANN u. DOHRENBUSCH (2007) in ihrer Studie auf Anwuchsergebnisse der gleichen Größenordnung, die bei einer Untersuchung im Jahr 2005 mit Steckhölzern und Steckruten ermittelt wurden. Demnach waren die Standortbedingungen beider Untersuchungen vergleichbar (HOFMANN u. DOHRENBUSCH, 2007, 37). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen die Resultate von HOFMANN u. DOHRENBUSCH (2007) und deren Verweis auf die Studie von HOFMANN (2005) dahingehend, dass ein marginaler Einfluss auf das Anwuchsergebnis in Abhängigkeit von der Pflanzgutart zu erwarten ist.

Bei einem Vergleich prozentualer Anwuchsraten müssen neben der Pflanzgutart zumindest die standörtlichen Gegebenheiten, die Klonwahl und die Bodenvorbereitung mit berücksichtigt werden (LIEBHARD, 2010a, 27; STOLL, 2011, 115). Nach STOLL (2011) ist, unter anderem für Pappelsteckhölzer, neben der Bodenvorbereitung im Besonderen die Vornutzung der Fläche für den An- u. Aufwuchs relevant (STOLL, 2011, 115 u. 119). Der Vorteil der Setzstange gegenüber dem Steckholz liegt im „Vorsprung“ vor der Begleitvegetation (SCHILDBACH et al., 2009, 63; LIEBHARD, 2010a, 32). Um die standörtlichen Gegebenheiten (Klima, Boden) vergleichen zu können, werden, wenn möglich, neben der Seehöhe und der mittleren Jahresdurchschnittstemperatur, die Bodenart, die Bodenklimazahl und die Wasserverhältnisse als wesentliche Kriterien zur Beurteilung des Standortes (Standortgüte) herangezogen.

Wie bereits angeführt, wurden in der Untersuchung von HOFMANN (2005) vergleichbar hohe Anwuchsraten bei den Pappelsteckrutenbeständen (87% – 98%) erzielt. Nicht vergleichbare Anwuchsraten wurden bei den Pappelsteckholzbeständen erreicht (93 -98%). Aufgrund starker Fegeschäden bei den Ruten muss nach HOFMANN (2005) von einem potentiell höheren Anwuchsergebnis der Steckruten ausgegangen werden (HOFMANN, 2005, 37). Die klimatischen Rahmenbedingungen der Untersuchung von HOFMANN (2005) sind mit einer mittleren Jahrestemperatur am Standort Georgenhof (270-320 m Seehöhe) von etwa 8°C und einer mittleren Jahresniederschlagssumme von etwa 750 mm im Wesentlichen vergleichbar. Unterschiedlich sind die bodenkundlichen Parameter. Die Bodenart und die Wasserversorgung variiert kleinräumig teilweise sehr stark. Unabhängig von den kleinräumigen Unterschieden ist von einer insgesamt besseren Wasserversorgung auszugehen, trotz einer geringeren mittleren Jahresniederschlagssumme (HOFMANN, 2005, 18-19). Mögliche Ursachen für die etwa 10% geringere mittlere Anwuchsrate bei den Steckhölzern in der vorliegenden Arbeit im Vergleich zu der Studie von HOFMANN (2005) können eine abweichende

Klonwahl, eine ungünstigere Wasserversorgung, aber auch die natürlichen Qualitätsschwankungen des Pflanzmaterials sein. Das Pflanzverfahren (maschinell/manuell) oder der Einsatz unterschiedlicher Pflanzmaschinen führt nach HOFMANN (2007, 2005) zu keinen signifikanten Unterschieden im Anwuchs (HOFMANN, 2007, 190; HOFMANN, 2005, 112). Daher wird das maschinelle Pflanzverfahren als Ursache für die vergleichsweise niedrigere Anwuchsrate der Steckhölzer in der vorliegenden Untersuchung ausgeschlossen. Die Bodenvornutzung, Bodenvorbereitung sowie Pflegemaßnahmen der Versuchsfläche in der vorliegenden Arbeit erfolgten für alle Parzellen identisch. Somit lieferten diese Parameter keine Anhaltspunkte für die geringere mittlere Anwuchsrate der Steckholzgruppe im Vergleich zu der Steckrutengruppe.

In der Literatur wird, z.B. nach LANDGRAF u. SETZER (2012), das Anwuchsverhalten in Abhängigkeit vom Klon bereits als Sorteneigenschaft genannt (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 18-19). In der vorliegenden Untersuchung konnten signifikante Anwuchsunterschiede in Abhängigkeit vom Klon zumindest bei den Steckhölzern nachgewiesen werden. Möglicherweise ist auch hier eine zu geringe Stichprobengröße die Ursache für nicht signifikante Anwuchsunterschiede in Abhängigkeit vom Klon in der Steckruten-Gruppe.

Die Anwuchsraten der Klone Max 4 u. Max 5, AF 2 und NE 42 entsprechen, unabhängig von der Pflanzgutart und standörtlichen Bedingungen, zumindest relativ gesehen, den angeführten, allgemeinen Sorteneigenschaften nach LANDGRAF u. SETZER (2012) (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 18). So erreichten die Klone Max 4 u. 5 (Steckholz) sowie der Klon AF 2 mit beiden Pflanzgutarten in der vorliegenden Arbeit „sehr gute“ Anwuchsraten von über 90%. Der Klon NE 42 (Steckholz) erreichte hingegen nur eine Anwuchsrate von 58,1%.

Nach LIEBHARD (2010b) wurden für Pappelklone im fünfjährigen Durchschnitt Anwuchsraten bei Steckhölzern von 70 bis 95% ermittelt. Die Untersuchung fand auf zwei klima- und standortbezogen unterschiedlichen Standorten statt (LIEBHARD, 2010b, 115-117). Die Anwuchsraten der in dieser Arbeit untersuchten Klone waren, unabhängig von der Pflanzgutart, ebenfalls mit wenigen Ausnahmen im Bereich zwischen 70 und 95%.

Nach BÖHNICH (2003) in STOLL (2011) entsprechen Anwuchsraten von mindestens 80% guten Ackerstandorten (Bodenwertzahl: ca. 65). In der Untersuchung von STOLL (2011) erreichten Pappelstecklinge auf einer ehemaligen Ackerfläche Anwuchsraten von 80%, auf einer ehemaligen Grünlandfläche Anwuchsraten von 30 bis 70%. Die Versuchsfläche der Untersuchung von STOLL (2011) ist mit ca. 30 Bodenpunkten (saurer, nährstoffarmer Boden) und ähnlichen klimatischen Bedingungen (Jahresmitteltemperatur: ca. 9 °C; Jahresniederschlagssumme: ca. 700 mm) für einen Vergleich der Anwuchsrate geeignet (STOLL, 2011, 23 u. 93).

Die Anwuchsrate des Klons Max 4 als Steckholzbestand von 93,2% ist mit dem Anwuchsergebnis von HOFMANN (2005), bei dem der Klon Max 4 als Steckholzbestand eine Anwuchsrate von 96% erreichte, vergleichbar. Unterschiedlich hoch war das am Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen ermittelte Anwuchsergebnis des Klons NE 42 (58,1%) als Steckholzbestand verglichen mit dem Anwuchsergebnis der Untersuchung von HOFMANN (2005), bei der der Klon NE 42 (Steckholz) eine Anwuchsrate von 98% erreichte (HOFMANN, 2005, 37).

Vergleichbar ist die Anwuchsrate des Klons NE 42 im Steckholzbestand (58,1%) in der vorliegenden Untersuchung mit dem Anwuchsergebnis von HOFMANN et al. (2012). Der Klon NE 42 erreichte als Steckholz eine Anwuchsrate von 58%. Nicht vergleichbar ist das Anwuchsergebnis des Klons AF 2 mit über 90 % bei beiden Pflanzgutarten mit dem Anwuchsergebnis der Untersuchung von HOFMANN et al. (2012), bei der der Klon AF 2 (Steckholz) eine wesentlich geringere Anwuchsrate von 77% erreichte. Die Daten der Untersuchung von HOFMANN (2012) stammen von insgesamt 38 Standorten (Deutschland) mit unterschiedlichen klimatischen und bodenkundlichen Bedingungen. Die Ergebnisse sind als Durchschnittswerte interpretierbar. HOFMANN et al. (2012) stufen die durchschnittliche Anwuchsrate der Pappelsorten mit 72% als insgesamt hoch ein. Die hohe Ausfallrate des Klons NE 42 begründeten sie in ihrer Untersuchung mit einer vermutlich schlechten Qualität des Pflanzmaterials (HOFMANN et al., 2012, 9-19). Auch in der vorliegenden Arbeit könnte eine mangelnde Qualität des Pflanzmaterials bei Klon NE 42 die Ursache für die geringe Anwuchsrate bzw. Ertragsleistung sein. In der landwirtschaftlichen Praxis sind Qualitätsschwankungen des Pflanzmaterials zu erwarten und müssen bei derartigen Untersuchungen mitberücksichtigt werden.

Die flächendeckende Bodenvorbereitung war, zusammen mit den aufwendigen Bestandsführungs- und Pflegemaßnahmen (Tab. 3.2-6) in der Etablierungsphase, mit ein entscheidender Grund für die hohen Anwuchsraten vom Versuchsfeld Sattlgai-Waldhausen.

5.2 Ertragsverhalten

Die statistische Analyse der fünf Klone, welche als Steckholz und Steckrute gepflanzt wurden, ergab keinen signifikanten (relativen) Ertragsunterschied der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart. Jedoch sind (relative) Ertragsunterschiede in Abhängigkeit von dem Faktor Klon anzunehmen. Darüber hinaus sind Wechselwirkungseffekte der Faktoren Pflanzgutart * Klon anzunehmen, die sich signifikant auf den (relativen) Ertrag auswirken.

Bei den Steckholzbeständen lagen die geschätzten jährlichen mittleren Zuwachsleistungen der insgesamt acht untersuchten Pappelklone zwischen 440 kg $TM_{atro}/ha\ a$ und 3520 kg $TM_{atro}/ha\ a$. Bei den Steckrutenbeständen lagen die geschätzten jährlichen mittleren Zuwachsleistungen der insgesamt 5 untersuchten Pappelklone zwischen 840 kg $TM_{atro}/ha\ a$ und 4270 kg $TM_{atro}/ha\ a$.

In der vorliegenden Literatur konnten keine identischen Studien gefunden bzw. herangezogen werden, um die Ergebnisse der Untersuchung der relativen Ertragsunterschiede in Abhängigkeit von der Pflanzgutart zu vergleichen. Eine (dennoch) vergleichbare Untersuchung von HOFMANN und DOHRENBUSCH (2007) ergab, dass die jährlichen Zuwächse bei Höhe und Stammdurchmesser nur in geringem Maß von der Ausgangshöhe des Pflanzmaterials beeinflusst werden. Dabei wurden Setzstangen der Klone NE 42 und Max 4 jeweils in drei unterschiedlichen Längen-Typen (H1 263 -294 cm; H2 295- 350 cm; H3 360- 390 cm) verglichen. Die Kurven der Durchmesserentwicklung verliefen weitgehend parallel. Erst am Ende der Beobachtungsperiode, nach dem vierten Bestandsjahr, lag der Durchmesserzuwachs von H3 signifikant über H1. Das bedeutet, dass zu jedem Zeitpunkt, zumindest in den ersten drei Bestandsjahren, kein signifikanter Unterschied im Durchmesser zu verzeichnen war. In der vorliegenden Arbeit wurden die Einzelerträge in Abhängigkeit vom Stammdurchmesser in 10 cm Höhe ermittelt. Über den indirekten Vergleich des relativen Ertrags mit dem Entwicklungsverlauf von Stammdurchmessern ergeben beide Studien zumindest tendenziell darüber Auskunft, dass die Länge des Pflanzgutes zumindest in den ersten zwei bis drei Bestandsjahren wohl eine eher untergeordnete Rolle spielt. Generelle Aussagen können jedoch nicht abgeleitet werden (HOFMANN u. DOHRENBUSCH, 2007, 35-40).

Biomasseerträge von Feldholzanlagen variieren wesentlich in Abhängigkeit vom Klon (Sorte), von den Standortbedingungen, dem Anlagedesign und produktionstechnischen Maßnahmen (RÖHLE u. SKIBBE, 2012, 116; LIEBHARD, 2010a, 66 u. 69; RÖHLE et al., 2010, 105). Der signifikante Einfluss des Klons auf die (relative) Ertragsleistung wird am Standort Sattlgai-Waldhausen zumindest bei der Steckholzgruppe nachgewiesen.

Für die Beurteilung der Ertragszuwachsleistung kann aus wirtschaftlichen Gründen eine Zuwachsleistung von 8 bis 10 t TM_{atro} / ha a als realistischer, anzustrebender Referenzwert angesehen werden (LIEBHARD, 2010a, 94; LANDGRAF u. SETZER, 2012, 60). Nach GEROLD et al. (2009) sind bei einer stofflichen Nutzung des Erntegutes und den damit verbundenen Pflanzdichten und Umtriebszeiten Zuwächse von knapp 9 t TM_{atro} / ha a erreichbar (GEROLD et al., 2009, 75).

Nach LIEBHARD (2010a) können auf Grenzertragsböden durchschnittliche Erträge von ca. 7 t TM_{atro} / ha a erreicht werden (LIEBHARD, 2010a, 67). Das Ergebnis basiert auf der Ertragsschätzung von drei Flächen in unterschiedlichen Produktionsgebieten für die Hackgutproduktion bei praxisüblicher Bewirtschaftungsintensität. Die Produktionsgebiete sind für einen Großteil der in Österreich landwirtschaftlich genutzten Flächen repräsentativ (LIEBHARD, 2010a, 67). In der vorliegenden Untersuchung entspricht zumindest das Anlagedesign der Steckholzparzellen einem Design zur Hackgutproduktion und kann somit zum Vergleich herangezogen werden. In der vorliegenden Untersuchung erreicht keiner der Klone beider Pflanzgutarten eine derart hohe Ertragszuwachsleistung. Jedoch

handelt es sich bei der Angabe nach LIEBHARD (2010a) um einen durchschnittlichen Zuwachs mehrerer Rotationen. Generell ist ab der zweiten Rotation mit einer Ertragssteigerung zu rechnen. Ursache dafür dürfte das sich überproportional entwickelnde Wurzelsystem nach der ersten Ernte sein (RÖHLE et al., 2010, 106). Somit ist zu erwarten, dass sich die Zuwachseleistungen einzelner Klone dieser Untersuchung, insbesondere die der drei italienischen Klone AF 2, AF 8 und Monviso, an die 7 t TM_{atro}/ha a Zuwachseleistung ab der zweiten Rotation annähern könnten.

Die Zuwächse der Klone AF 2 und NE 42 entsprechen, relativ gesehen, unabhängig von der Pflanzgutart und standörtlichen Bedingungen, den angegebenen, allgemeinen Sorteneigenschaften nach LANDGRAF u. SETZER (2012). So erreicht der Klon AF 2 (3,5 bis 4 t TM_{atro}/ha a) einen wesentlich höheren Zuwachs als der Klon NE 42 (0,5 t TM_{atro}/ha a). Nicht ident sind die Werte der Mehrklonsorte Max. Nach LANDGRAF u. SETZER sind grundsätzlich sehr gute Zuwächse in der Etablierungsphase zu erwarten. Jedoch erreichten die Klone Max 4 und Max 5 (ca. 1,5 bis 2,0 t TM_{atro}/ha a) in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zum Klon AF 2 deutlich niedrigere Zuwächse (3,5 bis 4 t TM/ha a) (LANDGRAF u. SETZER, 2012, 18).

Die geschätzten Biomassezuwachseleistungen der drei italienischen Klone AF 2, AF 8 u. Monviso in der vorliegenden Arbeit liegen etwas unter den geschätzten Ertragszuwachergebnissen nach HOCHBICHLER et al. (2011). Nach HOCHBICHLER et al. erreichten die italienischen Klone im ersten Umtrieb Zuwächse von ca. 3100 bis ca. 6200 kg TM_{atro}/ha a. Eine mit den Ergebnissen der Studie von HOCHBICHLER et al. ebenfalls vergleichbare Zuwachseleistung erreicht der Klon Kornik der vorliegenden Untersuchung als Steckrute mit knapp 3500 kg TM_{atro}/ha a (HOCHBICHLER et al, 2011, 50). Der Standort der Untersuchung von HOCHBICHLER et al. (2011) ist hinsichtlich klimatischer und bodenkundlicher Bedingungen aufgrund einer höheren Jahresmitteltemperatur und einer höheren nFK von 150 – 220 mm bei einer gleichzeitig geringeren Jahresniederschlagssumme von etwa 600 mm (pannonisches Klima) nicht vergleichbar mit dem Standort Sattlgai-Waldhausen (www.zamg.ac.at; <http://www.bmwfj.gv.at>). Nach LIEBHARD (2010a) ist jedoch im pannonischen Klimaraum gegenüber semihumiden Standorten erwartungsgemäß mit geringeren Erträgen im Bereich der Feldholzproduktion zu rechnen (LIEBHARD, 2010a, 68).

Die standörtlichen Rahmenbedingungen der Versuchsfläche im Sattlgai-Waldhausen erfüllen hinsichtlich klimatischer bzw. bodenkundlicher Bedingungen grundsätzlich die Mindestvoraussetzungen für den Anbau von Pappeln in Form von Feldholzanlagen (Quellen siehe Kapitel 2.2.1.1 Allgemeine Standortansprüche). Jedoch stellen die Rahmenbedingungen nicht das Optimum für den Pappelanbau und insbesondere nicht für den Anbau von Schwarzpappeln und deren Hybride dar. Bis auf den Klon NE 42, Sektion Tacamahaca, sind alle anderen sieben untersuchten Klone Kreuzungsprodukte der Sektionen Aigeiros (Schwarzpappeln) und

Tacamahaca (Balsampappeln) (AF 2 Schwarzpappelhybrid) (DILLEN et al., 2011, 279). Daher ist es verwunderlich, dass gerade die wärmebedürftigeren Klone, insbesondere die drei italienischen Klone, die in wärmeren Regionen gezüchtet und selektiert wurden, verhältnismäßig gut hinsichtlich ihrer Ertragsleistung lagen. Die geringe Ertragsleistung des Klons NE 42 ist offensichtlich auf das schlechte Anwuchsverhalten zurückzuführen. Ausfälle spiegeln sich in den Hochrechnung der geschätzten Erträge pro Hektar wieder.

6 CONCLUSIO

Im Rahmen dieser Arbeit kann kein signifikanter Unterschied in der Anwuchsrate von fünf unterschiedlichen Pappelklonen in Abhängigkeit von der Pflanzgutart (Steckholz, Steckrute) auf dem Standort Sattlgai nachgewiesen werden. Das bedeutet für den Langzeitversuch, dass der Einfluss der Pflanzgutart (Steckholz, Steckrute) auf das Anwuchsverhalten am Standort unter den gleichen Bedingungen (Bodenvornutzung, Bodenvorbereitung, Klima, Boden) eine eher untergeordnete Rolle spielt. Somit ist eine vergleichbare Ausgangslage bezüglich der Anwuchsraten der zwei verwendeten Pflanzgutarten für weitere Untersuchungen gegeben. Die Resultate dienen in erster Linie dem Feldversuch unter den gegebenen Bedingungen sowie dem vorliegenden Stichprobenumfang. Um aber differenziertere und allgemein gültige Aussagen über die Anwuchsrate in Abhängigkeit von der Pflanzgutart machen zu können, bedarf es weiterführender Untersuchungen an unterschiedlichen Standorten mit diversen verfügbaren Pappelklonen und Pflanzenbestände mit höherer Stockzahl.

Die am Standort Sattlgai-Waldhausen erreichte prozentuale durchschnittliche Anwuchsrate der Steckholzbestände von 87,5% ist als sehr gut einzustufen. Ebenso ist die prozentuale mittlere Anwuchsrate der Steckrutenbestände mit 97% als sehr hoch einzustufen. Auffällig geringe Anwuchsraten ergaben die Klon NE 42 (58,1%) als Steckholzbestand und Klon Pannonia (72,7%) als Steckholzbestand. Für den Feldversuch bedeutet das ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis. Somit entfallen fragwürdige Nachpflanzungen, die meist nur geringe Erfolge aufweisen.

Im Rahmen der Untersuchung konnte kein signifikanter, relativer Ertragsunterschied von fünf unterschiedlichen Pappelklonen auf dem Standort Sattlgai-Waldhausen in Abhängigkeit von der Pflanzgutart (Steckholz, Steckrute) nach zwei Vegetationsperioden nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass die Zuwachsleistungen beider Pflanzgutarten relativ gesehen je Klon gleich waren. Somit ist eine vergleichbare Ausgangsbedingung bezüglich der relativen Ertragsleistung der zwei verwendeten Pflanzgutarten für weitere Untersuchungen im ersten Umtrieb gegeben. Folgeuntersuchungen werden klären, ob es in Abhängigkeit von der Pflanzgutart zu Ertragsunterschieden bzw. Unterschieden in der Bestockung nach der ersten Ernte kommt.

Hinsichtlich der relativen Ertragsleistung aber auch der absoluten mittleren Zuwachsleistung haben die drei italienischen Klone (beider Pflanzgutarten) AF 2, AF 8 und Monviso für den Standort Sattlgai-Waldhausen die besseren Werte erreicht. Der Klon Pannonia (beide Pflanzgutarten) war, relativ gesehen (z-standardisiert), den italienischen Klonen hinsichtlich des Ertrags am untersuchten Standort signifikant unterlegen.

Weiterführende Untersuchungen im dritten bis fünften Vegetationsjahr im ersten Umtrieb sowie ab der Zweiten Rotation werden zeigen, wie sich die einzelnen Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart in der ersten Rotation bzw. nach der ersten Ernte bezüglich Ertragsleistung und Qualitätskriterien entwickeln werden. In diesem Zusammenhang wird auch geprüft werden, ob Steckhölzer (Verband 0,5 m* 3 m) im Vergleich zu Steckruten (Verband 1,5 m* 3 m) in Abhängigkeit vom Klon, speziell an diesem Standort, in der Lage sind, geforderte Stammdurchmesser (Zopfdurchmesser) in max. 7 Jahren Umtriebszeit zu erreichen.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Für eine optimale Nutzung des Rohstoffes Holz aus Feldholzanlagen im Kurzumtrieb muss zunehmend das Prinzip der kaskadischen Nutzung im Bereich der Erntegutverwertung von Feldholzanlagen umgesetzt werden. Das bedeutet eine zunächst stoffliche Nutzung des Erntegutes als Industrieholz, und erst am Ende der kaskadischen Nutzungskette folgt eine energetische Verwertung. Um speziell bei der Pappelfeldholzproduktion den Anforderungen an Industrieholz hinsichtlich Dimension und Qualität gerecht zu werden, bedarf es geeigneter Pappelklone mit entsprechenden Wuchseigenschaften bei gleichzeitig hoher Biomassezuwachsleistung. Um derartige Klone zu selektieren, dient der neu angelegte Langzeitversuch (Pappel-Feldholzanlage) in Oberösterreich, bei dem untersucht wird, welche praxistauglichen Pappel-Pflanzgutarten und verfügbaren Pappel-Klone für eine Industrieholzproduktion bei einer Umtriebszeit von ca. acht Jahren und weniger hinsichtlich Anwuchsverhalten, Ertragsleistung und Qualitätskriterien geeignet sind.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Anwuchs- u. Ertragsleistung ausgewählter Pappelklone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart auf der Versuchsfläche mit Grenzertragsboden in Oberösterreich zu beurteilen (Momentaufnahme vor dem Ende des ersten Umtriebes).

Die Versuchsfläche liegt auf etwa 450 m Seehöhe. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt ca. 8,9 °C und die mittlere Jahresniederschlagssumme etwa 800 bis 900 mm. Der Boden ist eine kalkfreie Felsbraunerde mit hohem Grobanteil. Der Boden ist leicht (ls, sL), sauer und tiefgründig (>70 cm), mit geringer nFK von ca. 60 bis 140 mm. Eine Besonderheit der Versuchsfläche ist die hohe Erosionsgefahr, bedingt durch die Hanglage und eine starke Wasserabführung im Oberboden.

Die Feldholzanlage wurde im Frühjahr 2011 auf ca. 4200 m² angelegt. Das Untersuchungsmaterial sind acht Pappelklone (AF 2, AF 8, Monviso, Kornik, Pannonia, Max 4 u. 5 sowie NE 42) die, mit Ausnahme der Klone Max 4, Max 5 und NE 42, als Steckholz- u. Steckrutenbestände ausgepflanzt wurden. Die drei zuletzt genannten Klone liegen nur als Steckholzbestände vor. Pro Klon und Pflanzgutart gibt es je zwei Parzellen. Pro Parzelle wurden drei Pflanzreihen angelegt. Für diese Untersuchung wurden nur die Daten der jeweils mittleren Pflanzreihe erhoben (Nettoparzelle). Der Fahrgassenabstand aller Parzellen (beider Pflanzgutarten) beträgt 3 Meter. Der Pflanzabstand in der Reihe beträgt bei den Steckhölzern 0,5 Meter, bei den Steckruten 1,5 Meter. Die Steckhölzer wurden maschinell, die Steckruten mit Hilfe eines Anbaudorns motormanuell gepflanzt.

Die Datenerhebung erfolgte am 20.12.2012, am Ende der zweiten Vegetationsperiode des Bestandes. Erhoben wurde die Wuchshöhe, der Stammdurchmesser, die Parzellenlänge und die Anzahl lebender bzw.

angewachsener und abgestorbener Individuen. Die erste Rotation wird ca. fünf bis sieben Jahre umfassen.

Um Unterschiede im Anwuchsverhalten der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart zu ermitteln, wurden χ^2 -Tests durchgeführt. Außerdem wurde die Anwuchsrate aller Klone (Bestand) prozentual ermittelt. Die Schätzung der Einzelrutenenerträge erfolgte mit Hilfe einer optimierten, klonspezifischen Biomasseschätzfunktion nach HOCHBICHLER et al. (2011). Für die Prüfung, ob es Unterschiede im relativen Ertrag der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart gibt, wurden die relativen Ertragsmittelwerte mittels einer zweifaktoriellen, univariaten Varianzanalyse untersucht. Zudem wurden die Biomasseerträge nach zwei Vegetationsperioden sowie die mittleren jährlichen Zuwachsleistungen der Klonbestände mathematisch ermittelt.

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine signifikanten (Verteilungs-) Unterschiede in der Anwuchsrate der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart nachgewiesen werden. Für den Langzeitversuch bedeutet das eine vergleichbare Ausgangssituation beider Pflanzgutarten hinsichtlich der Anwuchsraten.

Die durchschnittliche prozentuale Anwuchsrate der Steckhölzer lag bei 87,5%. Die prozentualen Anwuchsraten der Steckholzbestände je Klon lagen zwischen 58,1% bei NE 42 und 100% bei AF 8 und Monviso.

Die durchschnittliche Anwuchsrate der Steckruten lag bei 97%. Die prozentualen Anwuchsraten der Steckrutenbestände je Klon lagen zwischen 90,5% bei Pannonia und 100% bei AF 2, Monviso und Kornik.

Die prozentualen Anwuchsraten aller Klone und beider Pflanzgutarten sind vergleichsweise hoch einzustufen und teilweise auf besonders aufwändige Kulturführungs- u. Pflegemaßnahmen (Bewässerung) des Anlagenbetreibers zurückzuführen. Auffällig mangelhaft im Anwuchsverhalten war lediglich der Klon NE 42 im Steckholzbestand.

Bis Ende des zweiten Vegetationsjahres konnten keine signifikanten Unterschiede im (z-standardisierten) Ertrag der Klone in Abhängigkeit von der Pflanzgutart nachgewiesen werden. Für den Langzeitversuch bedeutet das eine vergleichbare Ausgangssituation beider Pflanzgutarten hinsichtlich des (z-standardisierten) Ertrags.

Die mittleren, jährlichen Zuwachsleistungen der Steckholzbestände lagen im ersten und zweiten Vegetationsjahr zwischen ca. 440 kg TM_{atro}/ha a bei NE 42 und 3520 kg TM_{atro}/ha a bei AF 2. Die mittleren, jährlichen Zuwachsleistungen der Steckrutenbestände reichten von ca. 840 kg TM_{atro}/ha a bei Pannonia bis 4270 kg TM_{atro}/ha a bei Monviso.

Die mittleren Ertragszuwachsleistungen von bis zu etwa 4270 kg TM_{atro}/ha a in jedem Vegetationsjahr im ersten Umtrieb sind als vergleichsweise niedrig, aber standortangemessen, zu beurteilen.

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen sind die drei italienischen Klone AF 2, AF 8 und Monviso hinsichtlich der prozentualen Anwuchsraten beider Pflanzgutarten sowie hinsichtlich des z-standardisierten Ertrags beider Pflanzgutarten und deren absoluten mittleren jährlichen Zuwachsleistungen als die günstigeren Klone für diesen Standort anzuführen.

8 LITERATURVERZEICHNIS

ARNOLD, K., VON GEIBLER, J., BIENGE, K., STACHURA, C., BORBONUS, S. und KRISTOF, K. (2009): Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen- Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal Papers Nr. 180. Veröffentlicht von Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH unter:

http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP180.pdf (Zugriff am 30.09.2012)

ISSN: 0949-5266

BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. und WEIBER, R. (2003): Multivariate Analysemethoden- Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, 151

ISBN: 3-540-00491-2

BAUER, W., BRAUN, W., BRAUGNER, M., DÖRR, T., EBINGER, T., GÖCKEL, C., KAROPKA, M., MANN, P., MORELL, M., SCHMID, R., THUMM, H. und WIENERS, M. (2009): Forst BW-Praxis. Pflanzgut und Pflanzung. Veröffentlicht vom Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum (Hrsg), Stuttgart, unter:

http://www.forstbw.de/fileadmin/forstbw_mediathek/forstbw_praxis/Broschuere_Pflanzgut_Schlussredaktion.pdf (Zugriff am 29.09.2012)

BECKER, R., SCHOLZ, V. und WEGENER, J. (2010): Maschinen und Verfahren für die Ernte von Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD- Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 88- 102

ISBN: 978-3-89998-159-9

BEMMANN, A., GEROLD, D. und MANTAU, U. (2010) : Kapitel 5.1 Perspektiven von Kurzumtriebsplantagen für den Holzmarkt. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD- Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 251-252

ISBN: 978-3-89998-159-9

BFW (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft), Aufsichtsbehörde des Bundesamtes für Wald: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. eBOT (digitale Bodenkarte) unter:

http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD
(29.12.2012)

BLUMAUER, E. (2011a): Anlage und Pflege von Kurzumtriebsflächen. In: Schuster Karl, NÖ-Landeslandwirtschaftskammer (Hrsg.): Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz 68-77. Veröffentlicht von BLT Francisco Josephinum. Wieselburg, unter:

<http://energiewald.org/downloads/Tagungsheft%20Biomassetag%20kompr.pdf>
(Zugriff am 30.09.2012)

BLUMAUER, E. (2011b): Anlage und Pflege von Kurzumtriebsflächen - Mechanisierung, Logistik und Kosten, 16. Österreichischer Biomasse-Tag. Veröffentlicht von BLT Francisco Josephinum Wieselburg, unter:

http://www.blt.bmlfuw.gv.at/vero/veranst/058_InnovativeEnergiepflanzen/Vortraege/01_Blumauer_AnlageundPflege.pdf (Zugriff am 26.11.2012)

BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (s. a.): Bodenkarte 140 (Grein) (1: 25.000), Blatt 35/ 3S

BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1992): Erläuterungen zur Bodenkarte (1:25.000) - Kartierungsbereich Grein (KB 140). Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

BMLFUW-LE.1.1.8/0014-II (2010): 2. Änderung SRL ÖPUL- GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0014-II/8/2010

(Änderung von GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0073-II/8/2007

und GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0008-II/8/2008). Veröffentlicht vom BMLFUW unter:

http://www.lebensministerium.at/land/laendl_entwicklung/rechtsinfo/OEPUL.html
(Zugriff am 31.12.2012)

BMWFJ (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND): Klimadatenbank zur Ermittlung koordinatenabhängiger Klimadaten unter:

<http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/seiten/klimadaten.aspx> (Zugriff am 23.12.2012)

DEIM, F. (2011): Nachwachsende Rohstoffe in Österreich – Produktionstechnische und rechtliche Anforderungen sowie Optimierungsansätze zur Holzproduktion im Kurzumtrieb. Wien: Dissertation. Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Universität für Bodenkultur.

DILLEN, S. Y., KASMIQUI, O. EL., MARRON, N., CALFAPIETRA, C. and CEULEMANS, R. (2011): Kapitel 14 Poplar. In: HALFORD, N. and KARP, A. (Hrsg): Energy Crops. Royal Society of Chemistry. Cambridge, 275-299

ISBN: 978-1-84973-032-7

ISSN: 2044-0774

EUROPÄISCHER WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS (2006): Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses zum Thema „Nachwachsende Rohstoffe — Entwicklungsperspektiven für die stoffliche und energetische Nutzung“ . Veröffentlicht vom Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, Brüssel, unter:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2006:110:0049:0059:DE:PDF>
(Zugriff am 30.09.2012)

ENGLISCH, M., WRESOWAR, M., SPIEGEL, H., REITER, R. und KATZENSTEINER, K. (2009): Energiewälder im Kurzumtrieb – Möglichkeiten und Grenzen. BFW- Praxisinformation, Wien, (18): 15-17

ELTROP, L., HÄRDTLEIN, M., KÖNIG, A., BRENNDÖRFER, M. und FRÖBA, N. (2006): Kapitel VIII (1-3) Allgemeine Kennwerte. In: KTBL (Hrsg.): Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenabbaus, Darmstadt, 358-371

ISBN 13: 978-3-939371-21-2 (ab 01.01.2007)

ISBN 10: 3-939371-21-1

FIELD, A. (2009): Discovering Statistics using SPSS. 3rd Edition SAGE Publications: Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, 374

ISBN: 978-1-84787-906-6

FORSTGESETZ (1975): Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird (Forstgesetz 1975). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010371> (Zugriff am 31.12.2012)

FORSTLICHES VERMEHRUNGSGUTGESETZ (2002): Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002089> (Zugriff am 31.12.2012)

GALLARDO, D., HOFMANN, M. und RÖHLE, H. (2012): Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenhybriden. In: BORSCHER, M., FEY-WAGNER, C., JANSSEN, A. (Red). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb - Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Band 8. Fachtagung vom 21. Bis 22.09.2011 in Hann. Münden, 91- 102

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

GEOLAND.AT: Geodatenportal der österreichischen Länder unter:

<http://www.geoland.at/> (Zugriff am 23.12.2012)

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2006): Geologische Karte Oberösterreich (1: 200.000), Wien.

GEROLD, D., LANDGRAF, D., WOLF, H. und SCHILDBACH, M. (2009): Kapitel 7. Bewirtschaftungsstrategien von Kurzumtriebsplantagen. In: REEG T., BEMMANN A., KONOLD, W., MURACH, D. und SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 73-83

ISBN: 978-3-527-32141-4

GROßE, W., BÖCKER, L., LANDGRAF, D. und SCHOLZ, V. (2010): Rückwandlung von Plantagenflächen in Ackerland. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD- Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 130-138

ISBN: 978-3-89998-159-9

GRÜNEWALD, H. und REEG, T. (2009): Kapitel 21, Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland. In: REEG, T., BEMMANN, A., KONOLD, W., MURACH, D. und SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 233-293

ISBN: 978-3-527-32141-4

HANDLER, F. (2011): Ernte und Logistik von Kurzumtriebholz - Mechanisierung, Logistik und Kosten 78- 85/ 16. Österreichischer Biomasse-Tag. Veröffentlicht von BLT Wieselburg, Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum, Wieselburg, unter:

http://www.blt.bmlfuw.gv.at/vero/veranst/058_InnovativeEnergiepflanzen/Vortraege/ReferentenVortraege.pdf (Zugriff am 30.09.2012)

HARTMANN, K.U. (2010): Entwicklung eines Ertragsschätzers für Kurzumtriebsbestände aus Pappel. Dresden: Dissertation. Technische Universität.

HELBIG, C. u. MÜLLER, M. (2009): Kapitel 8, Abiotische und biotische Schadfaktoren in Kurzumtriebsplantagen. In: REEG, T., BEMMANN, A., KONOLD, W., MURACH, D. und SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 83-97

ISBN: 978-3-527-32141-4

HELBIG, C. u. MÜLLER, M. (2010): Kapitel 2.2, Naturale Risiken und Grundzüge des Schadenmanagements in Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 74-87

ISBN: 978-3-89998-159-9

HOCHBICHLER, E., BELLOS, N., DIWOLD, G., HOFMANN, H., ZEITLHOFER, C., und LIEBHARD, P. (2011): Produktionsmodelle und Bewirtschaftungs-Biomassefunktionen für Pappel und Weide zur Ermittlung von Ertragsleistung und Produktivität auf Kurzumtriebsflächen. In: Schuster Karl, NÖ-Landeslandwirtschaftskammer (Hrsg.): Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz. BLT Francisco Josephinum. Wieselburg, 46-51

(<http://energiwald.org/downloads/Tagungsheft%20Biomassetag%20kompr.pdf>)

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

ISBN: 3-927194-05-0

HOFMANN, M. (2007): Schnellwachsende Baumarten - Lösungen und Probleme. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“- Symposium Energiepflanzen 2007. Band 31. Verlag TH. MANN GmbH u. Co. KG: Gelsenkirchen, 185-194

ISBN: 978-3-9803927-2-3

HOFMANN, M. und DOHRENBUSCH, A. (2007): Extensive Kulturbegründung mit Pappel-Setzstangen. Veröffentlicht von der dlV Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH (ForstPraxis.de; Forstarchiv 78, 35-40), München unter:

<http://media.repro-mayr.de/10/548210.pdf>

oder: http://www.forstarchiv.de/hefte_artikel/2007/maerzapril/pappelsetzstangen.htm
(Zugriff am 26.11.2012)

HOFMAN, M., GALLARDO A, D. und SIEBERT. C. (2012): Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten. In: BORSCHER, M., FEY-WAGNER, C., JANSSEN, A. (Red). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb - Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Band 8. Fachtagung vom 21. Bis 22.09.2011 in Hann. Münden, 9-20

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

INVEKOS-CC-V (2010): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem im Bereich der Direktzahlungen, über die Einhaltung der anderweitigen Verpflichtungen (Cross Compliance) und über sonstige horizontale Regeln (INVEKOS-CC-V 2010), StF: BGBl. II Nr. 492/2009. Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20006622/INVEKOS-CC-V%2C%A02010%2c%20Fassung%20vom%2031.12.2012.pdf> (Zugriff am 31.12.2012)

KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., und HOFBAUER, H. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

KLUG, P. (2011): Chemische Beikrautregulierung in Energiepflanzen- Was geht?- Was ist erlaubt?. In: Schuster Karl, NÖ-Landeslandwirtschaftskammer (Hrsg.): Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz. Veröffentlicht von BLT Francisco Josephinum. Wieselburg, 58

KNUST, C. (2009): Kapitel 1.2, Definition und Entwicklung von Kurzumtriebsplantagen. In: REEG, T., BEMMANN, A., KONOLD, W., MURACH, D. und SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 4-5

ISBN: 978-3-527-32141-4

LANDGRAF, D u. SETZER, F. (2012): Kurzumtriebsplantagen - Holz vom Acker. DLG-Verlag GmbH: Frankfurt am Main

ISBN (13): 978-3-7690-2005-2

LEONHARTSBERGER (2012): Schriftliche Mitteilung.

LEONHARTSBERGER (2012): Mündliche Mitteilung.

LIEBHARD, P. (2010a): Energieholz im Kurzumtrieb- Rohstoff der Zukunft. 2. Auflage, Leopold Stocker Verlag. Graz

ISBN: 978-3-7020-1150-5

LIEBHARD, P. (2010b): Einjährig bewurzelte Schösslinge als Pflanzgut für die Holzproduktion im Kurzumtrieb. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-Veterinär- und Agrarwesen (ALVA) (Hrsg.), Tagungsbericht 2010 (65. ALVA-Tagung), Wels, 115-117

ISSN: 1606-612X

LIEBHARD, P., DEIM, F., GROISS, R., REFENNER, K., und HOCHBICHLER, E. (2011): Ausgewählte ökologische Aspekte in der Hackgut- und Holzproduktion im Kurzumtrieb in Österreich. In: Schuster Karl, NÖ-Landeslandwirtschaftskammer (Hrsg.): Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz 37- 45. Veröffentlicht von BLT Francisco Josephinum. Wieselburg, unter:

(<http://energiewald.org/downloads/Tagungsheft%20Biomassetag%20kompr.pdf>)

(Zugriff am 30.09.2012)

LIESEBACH, M., SCNECK, V. und WOLF, H. (2012): Züchtung von Aspen für den Kurzumtrieb. In: BORSCHER, M., FEY-WAGNER, C., JANSSEN, A. (Red). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb- Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Band 8. Fachtagung vom 21. Bis 22.09.2011 in Hann. Münden, 71-88

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

NAUJOKS, G. und KRAKAU, U. K. (2011): Der Baum aus der Pille – Untersuchung zur Pillierung von Aspen-Saatgut. In: BORSCHER, M., FEY-WAGNER, C., JANSSEN, A. (Red). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb- Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Band 8. Fachtagung vom 21. Bis 22.09.2011 in Hann. Münden, 411-417

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

NEBENFÜHR, W. (s.a.): Biomassegewinnung durch Pappel und Weide im Kurzumtrieb- eine Frage der Sorte. Veröffentlicht von Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft. Institut für Genetik, Abteilung Genomforschung, s. l., unter:

http://bfw.ac.at/050/pdf/Folien_Nebenfuehr.pdf (Zugriff am 30.09.2012)

NEMESTOTHY, K. (2012): Die Bedeutung von Holz als erneuerbarer Energieträger. BFW- Praxisinformation, Wien, (28): 5-8

OÖ. ALM- UND KULTURFLÄCHENSCHUTZGESETZ (2011): Landesgesetz über den Schutz und die Entwicklung der Almen und der landwirtschaftlichen Kulturflächen in Oberösterreich (Oö. Alm- und Kulturflächenschutzgesetz). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LROO&Gesetzesnummer=10000664> (Zugriff am 31.12.2012)

OÖ. BAUORDNUNG (1994): Landesgesetz vom 5. Mai 1994, mit dem eine Bauordnung für Oberösterreich erlassen wird (Oö. Bauordnung 1994 – Oö. BauO 1994). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LROO&Gesetzesnummer=10000411&ShowPrintPreview=True> (Zugriff am 31.12.2012)

OÖ. JAGDGESETZ (1964): Gesetz vom 3. April 1964 über die Regelung des Jagdwesens (Oö. Jagdgesetz). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LROO&Gesetzesnummer=10000063&ShowPrintPreview=True> (Zugriff am 31.12.2012)

OÖ. NATUR- UND LANDSCHAFTSSCHUTZGESETZ (2001): Landesgesetz über die Erhaltung und Pflege der Natur (Oö. Natur- und Landschaftsschutzgesetz 2001 – Oö. NSchG 2001). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrOO&Gesetzesnummer=20000147> (Zugriff am 31.12.2012)

OÖ. STARKSTROMWEGEGESETZ (1970): Gesetz vom 9. November 1970 über elektrische Leitungsanlagen (Oö. Starkstromwegegesetz 1970). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrOO&Gesetzesnummer=10000094&ShowPrintPreview=True> (Zugriff am 31.12.2012)

OÖ. STRASSENGESETZ 1991 (2012): Landesgesetz vom 24. Mai 1991 über die öffentlichen Straßen mit Ausnahme der Bundesstraßen in seiner aktuellen Fassung LGBI.Nr.61/2008. Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LROO&Gesetzesnummer=10000313&ShowPrintPreview=True> (Zugriff am 31.12.2012)

PETZOLD, R., FEGER, K. und RÖHLE, H. (2010): Kapitel 1.3 Standörtliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 44-53

ISBN: 978-3-89998-159-9

PFLANZENSCHUTZMITTELGESETZ (2011): Bundesgesetz über den Verkehr mit Pflanzenschutzmitteln und über Grundsätze für die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelgesetz 2011). Veröffentlicht vom Bundeskanzleramt (Rechtsinformationssystem) unter:

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007152> (Zugriff am 31.12.2012)

RAT DER EU (2009): VERORDNUNG (EG) Nr. 73/2009 DES RATES vom 19. Januar 2009. Veröffentlicht vom Amtsblatt der Europäischen Union (L30/16) unter:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:030:0016:0016:DE:PDF> (Zugriff am 31.12.2012)

RUHM, W. und SCHUSTER, K. (2012): Kurzumtriebsflächen. BFW-Praxisinformation, Wien, (28): 15-16

RÖHLE, H., HARTMANN, K., STEINKE, C. und MURACH, D. (2009): Kapitel 5, Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. In: REEG T., BEMMANN, A., KONOLD, W., MURACH, D. und SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 41-55

ISBN: 978-3-527-32141-4

RÖHLE, H., ALI, W., HARTMANN, K. und STEINKE, C. (2010): Wachstum und Biomasseproduktion schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD- Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 103-116

ISBN: 978-3-89998-159-9

RÖHLE, H., und SKIBBE, K. (2012): Ertragsschätzung in Kurzumtriebsplantagen aus Pappel und Weide. In: BORSCHER, M., FEY-WAGNER, C., JANSSEN, A. (Red). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg.). Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb - Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Band 8. Fachtagung vom 21. Bis 22.09.2011 in Hann. Münden, 105-117

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

SCHACHNER, F. (2012): Mündliche Mitteilung. Gärtnerei SCHACHNER, Loosdorf 11 3354 Wolfsbach (20.12.2012)

SCHADAUER, K. (2012): Hilft die Holznutzung dem Klima?. BFW-Praxisinformation, Wien, (28): 3-4

SCHWEINBERGER, J. (2011): Praktische Aspekte bei der Anlage von Kurzumtriebsflächen. In: Schuster Karl, NÖ-Landeslandwirtschaftskammer (Hrsg.): Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz, 34-36. Veröffentlicht vom BLT Francisco Josephinum. Wieselburg, unter:

(<http://energiewald.org/downloads/Tagungsheft%20Biomassetag%20kompr.pdf>)

(Zugriff am 30.09.2012)

SCHWEINBERGER, J. (2012): Schriftliche Mitteilung (05. und 21.12.2012)

SCHILDBACH, M., GRÜNEWALD, H., WOLF, H. und SCHNEIDER, B-U. (2009): Kapitel 6, Begründung von Kurzumtriebsplantagen - Baumartenwahl und Anlageverfahren. In: REEG, T., BEMMANN A., KONOLD W., MURACH D. und SPIECKER H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 57-71

ISBN: 978-3-527-32141-4

SCHILDBACH, M., HOFMANN, M., u. WOLF, H. (2010): Kapitel 2.1, Anlage und Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 65-73

ISBN: 978-3-89998-159-9

SCHOLZ, V. (2006): Kapitel IV (12), Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb. In: KTBL (Hrsg.): Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenbaus, Darmstadt, 290- 329

ISBN 13: 978-3-939371-21-2 (ab 01.01.2007)

ISBN 10: 3-939371-21-1

SCHOLZ, V., LORBACHER, F. und SPIKERMANN, H. (2009): Technologien der Ernte und Rodung von Kurzumtriebsplantagen. In: REEG, T., BEMMANN A., KONOLD W., MURACH D. und SPIECKER H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 99-111

ISBN: 978-3-527-32141-4

STOLL, B. (2011): Vergleich unterschiedlicher Anbaumethoden von Energieholzplantagen. Göttingen: Dissertation. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Georg-August-Universität

TUBES, M. und SCHIRMER, R. (2012): Sind alte Pappelsorten für den Kurzumtrieb geeignet?. In: BORSCHER, M., FEY-WAGNER, C., JANSSEN, A. (Red). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb- Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Band 8. Fachtagung vom 21. Bis 22.09.2011 in Hann. Münden, 165- 180

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

WENKEL, K., KERSEBAUM, K. (2009): Kapitel 3.5, Anbau von nachwachsenden Rohstoffen und Klimawandel. In: EITZINGER, J., KERSEBAUM, K. und FORMAYER, H.: Landwirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen und

Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft. Agrimedia GmbH (Hrsg.). 1. Auflage. Wien: 326-337

ISBN: 978-3-86037-378-1

WEINGARTMANN, H. (2011): Trocknung von Kurzumtriebsholz. In: Schuster Karl, NÖ-Landeslandwirtschaftskammer (Hrsg.): Innovative Energiepflanzen – Erzeugung und Verwendung von Kurzumtriebsholz, 86-87. Veröffentlicht vom BLT Francisco Josephinum. Wieselburg, unter:

(<http://energiewald.org/downloads/Tagungsheft%20Biomassetag%20kompr.pdf>)
(Zugriff am 30.09.2012)

WINDSPERGER, A. (2006): Einleitung zu: Effizienter Umgang mit der Ressource Biomasse notwendig. In: LIGNOVISIONEN Band 13 .Hochleistungswerkstoffe aus der Natur. TEISCHINGER, A. (Hrsg.), ZUKAL, ML., STINGL, R. (Red.). Veröffentlicht vom Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Universität für Bodenkultur Wien unter:

http://www.map.boku.ac.at/fileadmin/_/H89/H891/dokumente/LIGNOVISIONEN/Band_14/LIG_14_Download_Einleitung_Windsperger.pdf (Zugriff am 30.09, 2012)

WOLF, H., SCHILDBACH, M und HARTMANN, K.U.: (2010) : Kapitel 1.2, Plantagenbaumarten und deren Züchtung. In: BEMMAN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD- Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 30-43

ISBN: 978-3-89998-159-9

ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,), Abteilung für Klimatologie. Klimadaten von Österreich (1971-2000), Wien (2002) unter:

<http://www.zamg.ac.at> (Zugriff am 23.12.2012)

ZEITLHOFFER, C., (2012): Schriftliche Mitteilung.

ZEITLHOFER, C., DIWOLD, G., HOCHBICHLER, E., SCHWEINBERGER, J. und LIEBHARD, P. (2009): Ertragsschätzung bei Weide und Pappel im Kurzumtrieb und Erträge in der ersten Rotation. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-Veterinär- und Agrarwesen (ALVA). (Hrsg.), Landwirtschaft - Grundlage der Ernährungssicherung: regional oder global?, Tagungsbericht 2009, 74-76

ISSN 1606-612X

ZIEGLER, S., HALLER, P., KRUG, D., TOBISCH, S. und BERGER, A. (2010): Kapitel 5. 2, Stoffliche Einsatzmöglichkeiten von Holz aus Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN, A. und KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag: Berlin, 256- 270

ISBN: 978-3-89998-159-9

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1-1 Schematische Darstellung des Prinzips der Kaskadennutzung	19
Abbildung 2.2-1 Hackgut-Vollerntemaschinen	59
Abbildung 2.2-2 Maschinen und Verfahren für die Ernte von Feldholzanlagen.....	61
Abbildung 2.2-3 Enzym- u. säurekatalysierte Verzuckerung	66
Abbildung 2.3-1 Gliederung bed. Arten und Hybride der Gattung Populus nach Sektion.....	68
Abbildung 2.3-2 Kreuzbarkeit der Sektionen der Gattung Populus.....	68
Abbildung 2.3-3 Die Historie der Pappelzüchtung	69
Abbildung 2.3-4 Gegenüberstellung einiger Züchtungsziele für Pappel in Abhängigkeit vom Verwendungszweck	69
Abbildung 3.1-1 Kartenausschnitt mit Kartierungsbereichen und Versuchsflächenstandort	83
Abbildung 3.1-2 Kartierungsbereich Grein	84
Abbildung 3.1-3 Graphische Darstellung der in Tab. 3.1-4: dargestellten Niederschlagsdaten der Messstation Pabneukirchen.....	86
Abbildung 3.1-4 Sonnenschein-Monatssummen und Tage mit Sonnenscheindauer	88
Abbildung 3.1-5 Graphische Darstellung der Tab. 3.1-8, Windverhältnisse (m/s), Messstation Pabneukirchen.....	89
Abbildung 3.1-6 Anteil (in %) der Windrichtungen der Messstation Pabneukirchen	89
Abbildung 3.1-7 Kartenausschnitt der Geologischen Karte Oberösterreichs mit Standortmarkierung.....	90
Abbildung 3.1-8 Ausschnitt aus der Bodenkarte (BK) 140 (Kartierungsbereich Grein)	91
Abbildung 3.1-9 Bodenprofilschema und bodenkundliche Parameter der Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen, zusammengefasst (Bodenform 13 sFB)	92
Abbildung 4.1-1 Vergleich der Anwuchsraten der 8 Steckholz-Klonbestände.....	103
Abbildung 4.1-2 Vergleich der Anwuchsraten der 5 Steckruten-Klonbestände.....	103
Abbildung 4.1-3 Gegenüberstellung der Anwuchsraten der Steckholzbestände vs. der Steckrutenbestände	104
Abbildung 4.2-1 Geschätzte Biomasse der acht Steckholzbestände nach zwei Vegetationsperioden (Sattlgai, 2012).....	105
Abbildung 4.2-2 Geschätzte Biomasse der fünf Steckrutenbestände nach zwei Vegetationsperioden (Sattlgai, 2012).....	105
Abbildung 4.2-3 Gegenüberstellung der geschätzten Biomasse der Steckholzbestände vs. Steckrutenbestände nach zwei Vegetationsperioden (Sattlgai, 2012).....	106
Abbildung 4.2-4 Geschätzte Ertragszuwachsleistungen der acht Steckholzbestände in kg TM_{atro} / ha a (Sattlgai, 2012)	106
Abbildung 4.2-5 Geschätzte Ertragszuwachsleistung der fünf Steckrutenbestände in kg TM_{atro} / ha a (Sattlgai, 2012)	107
Abbildung 4.2-6 Gegenüberstellung der geschätzten Ertragszuwachsleistungen der Steckholzbestände vs. der Steckrutenbestände (Sattlgai, 2012)	107
Abbildung 4.2-7 Interaktionsdiagramm für Ertrag (z-stand.) in Abhängigkeit von Pflanzgutart und Klon.....	109

10 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.2-1 Umtriebszeiten	30
Tabelle 2.2-2 Pappel- Steckholzanzahl in Abhängigkeit von Umtriebszeit und Pflanzverband..	32
Tabelle 2.2-3 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach BLUMAUER (2011a, 68) für Pappel.	33
Tabelle 2.2-4 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2006, 294) für Pappel	34
Tabelle 2.2-5 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2006, 294) für Pappel	34
Tabelle 2.2-6 Möglicher Einreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2009, 294) für Pappel	35
Tabelle 2.2-7 Mögliche Einreihen-Pflanzverbände nach KALTSCHMITT et al. (2009, 90) für Pappel.....	35
Tabelle 2.2-8 Möglicher Doppelreihen-Pflanzverband nach SCHILDBACH et al. (2010, 70) für Pappel:.....	36
Tabelle 2.2-9 Möglicher Doppelreihen-Pflanzverband nach SCHOLZ (2006, 294) für Pappel ..	37
Tabelle 2.2-10 Möglicher Doppelreihen-Pflanzverband nach KALTSCHMITT et al. (2009, 90) für Pappel:.....	37
Tabelle 2.2-11 Blattelementgehalte (Referenzwerte) zur Beurteilung des Ernährungszustandes bei Pappel:.....	44
Tabelle 2.2-12 Jährliche Nährstoffentzugsgehalte (Referenzwerte) im Durchschnitt in kg/ (ha a) auf Flächen mit Kurzumtrieb-Anlagen in Abhängigkeit vom Ertragsniveau:.....	45
Tabelle 2.2-13 Referenzwerte für Nährstoffentzugsmengen je t Erntegut (atro):	45
Tabelle 2.2-14 Zusammenfassung möglicher abiotischer Schadfaktoren und deren Ursachen, Symptome und Folgen.....	49
Tabelle 2.2-15 Bedeutende pilzliche, bakterielle und virale Krankheitserreger an Pappel und Weide.....	53
Tabelle 2.2-16 Bedeutende Schadinsekten für Pappel-Feldholzanlagen	56
Tabelle 2.2-17 Ausbeutung verschiedener Holzarten durch Pyrolyse	65
Tabelle 2.3-1 Steckholz	72
Tabelle 2.3-2 Lege-Steckholz	72
Tabelle 2.3-3 Bewurzeltes Steckholz.....	72
Tabelle 2.3-4 Einjährige Schösslinge aus Steckhölzern.....	73
Tabelle 2.3-5 Steckruten	73
Tabelle 2.3-6 Setzstangen.....	73
Tabelle 2.3-7 Lege- Ruten/ Stangen.....	73
Tabelle 2.3-8 Einjährige/ mehrjährige Pflanzen	74
Tabelle 2.3-9 Grünstecklinge	74
Tabelle 2.3-10 Wurzelstecklinge	74
Tabelle 2.3-11 Sämlinge	74
Tabelle 2.3-12 In-vitro-vermehrte Pflanzen /Meristem-vermehrte Pflanzen.....	75
Tabelle 2.3-13 Anforderungen an die Größenverteilung für Holzhackgut (ÖNORM M7133/ 9-154).....	82
Tabelle 3.1-1 Koordinaten der Versuchsfläche (Sattlgai-Waldhausen) (Oberösterreich) in der Marktgemeinde Waldhausen im Strudengau nach WGS 84.....	83
Tabelle 3.1-2 Koordinaten der Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen	85
Tabelle 3.1-3 Koordinatenabhängig ermittelte Monatsmittelwerte der Temperatur (Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen, 450 m Seehöhe)	85
Tabelle 3.1-4 Niederschlagsdaten in mm (langjähriger Durchschnitt 1971-2000) der Messstation ¹ Pabneukirchen.....	86
Tabelle 3.1-5 Legende zu Tab. 3.1-4 und Abb. 3.1-3, Messstation Pabneukirchen.....	87
Tabelle 3.1-6 Langjähriger Durchschnitt 1971-2000 der Strahlung, Pabneukirchen.....	87
Tabelle 3.1-7 Legende zu Tab. 3.1-6 und Abb. 3.1-4, Messstation Pabneukirchen.....	88

Tabelle 3.1-8 Windverhältnisse (langjährige Daten 1971-2000), Pabneukirchen	88
Tabelle 3.1-9 Legende zu Tab. 3.1-8 und Abb. 3.1-5, Windverhältnisse (m/s), Messstation Pabneukirchen	89
Tabelle 3.1-10 Bodenkundliche Parameter der Versuchsfläche Sattlgai-Waldhausen (Bodenform 13 sFB)	92
Tabelle 3.2-1 Untersuchungsmaterial (Klone) am Standort Sattlgai-Waldhausen.....	93
Tabelle 3.2-2 Bodenvorbereitung am Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen	94
Tabelle 3.2-3 Pflanzverfahren am Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen	94
Tabelle 3.2-4 Pflanzverband und Pflanzdichte, Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen	95
Tabelle 3.2-5 Versuchsanlage-Skizze, Pappel und Weide (Klone und Parzellennummer), Sattlgai-Waldhausen	95
Tabelle 3.2-6 Bestandsführung- und Pflege in der Etablierungsphase, Versuchsstandort Sattlgai-Waldhausen	97
Tabelle 3.3-1 Parameter der klonspezifischen Biomassefunktionen 1 und 2	99
Tabelle 4.1-1 Nach Steckhölzern und Steckruten differenziertes Anwuchsergebnis der fünf Einzelklone (Chi²-Wert kursiv)	102
Tabelle 4.1-2 Nach Steckhölzern und Steckruten differenziertes Anwuchsergebnis aller acht Einzelklone.....	102
Tabelle 4.2-1 Kennwerte der Ertragsmenge in Abhängigkeit von der Faktorstufenkombination	108

11 ANHANG

Abb. A: Qualitätsrelevante Eigenschaften biogener Festbrennstoffe:

Qualitätsmerkmal	Wichtige Auswirkungen
<i>Elementgehalte</i>	
Kohlenstoff (C)	Heizwert, Brennwert, Luftbedarf, Partikelemissionen
Wasserstoff (H)	Heizwert, Brennwert, Luftbedarf
Sauerstoff (O)	Heizwert, Brennwert, Luftbedarf
Stickstoff (N)	NO _x -, und N ₂ O-Emissionen
Kalium (K)	Ascheerweichungsverhalten, Hochtemperaturkorrosion, Partikelemissionen
Magnesium (Mg)	Ascheerweichungsverhalten, Ascheeinbindung von Schadstoffen, Ascheverwertung, Partikelemissionen
Kalzium (Ca)	Ascheerweichungsverhalten, Ascheeinbindung von Schadstoffen, Ascheverwertung, Partikelemissionen
Schwefel (S)	SO _x -Emissionen, Hochtemperaturkorrosion, Partikelemissionen
Chlor (Cl)	Emissionen von HCl und halogenorganischen Verbindungen (z. B. PCDD/F), Hochtemperaturchlorkorrosion, Partikelemissionen
Schwermetalle	Ascheverwertung, Schwermetallemissionen, z. T. katalytische Wirkung (z. B. bei PCDD/F-Bildung), Partikelemissionen
<i>Brennstofftechnische Eigenschaften</i>	
Wassergehalt	Heizwert, Lagerfähigkeit (Verluste durch biologischen Abbau, Selbstentzündung), Brennstoffgewicht, Verbrennungstemperatur
Heizwert	Energieinhalt des Brennstoffs, Anlagenauslegung
Aschegehalt	Partikelemission (Staub), Rückstandsbildung und -verwertung
Ascheerweichungsverhalten	Schlackebildung und -ablagerungen, Betriebssicherheit und -kontinuität, Wartungsbedarf
<i>Physikalisch-mechanische Eigenschaften</i>	
Stückigkeit (Abmessung, Geometrie)	Zuordnung zu mechanischen Systemen und Feuerungsanlagentypen, Aufbereitungsbedarf, Zündfähigkeit, Trocknungsvermögen
Größenverteilung / Feinanteil	Störungen in Förderelementen, Rieselfähigkeit, Brückenbildungsneigung, Belüftungs- und Trocknungseigenschaften, Staubentwicklung, Explosionsgefahr
Brückenbildungsneigung	Fließfähigkeit, Störungen bei Umschlagprozessen und Lagerentnahme
Schütt- bzw. Lagerdichte	Lager- und Transportaufwendungen, Leistung der Förderelemente, Vorratsbehältergröße usw.
Rohdichte (Teilchendichte)	Schütt- und Lagerdichte, pneumatische Fördereigenschaften, Brenneigenschaften (spezifische Wärmeleitfähigkeit usw.)
Abriebfestigkeit	Feinanteil (Staubentwicklung, Entmischung)

(Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 334)

Abb. B: Nährstoffgehalte naturbelassener biogener Festbrennstoffe:

Brennstoff/Biomasseart	C	H	O	N	K	Ca	Mg	P	S	Cl
in % der Trockenmasse										
Steinkohle	72,5	5,6	11,1	1,3					0,94	<0,13
Braunkohle	65,9	4,9	23,0	0,7					0,39	<0,1
Fichtenholz (mit Rinde)	49,8	6,3	43,2	0,13	0,13	0,70	0,08	0,03	0,015	0,005
Buchenholz (mit Rinde)	47,9	6,2	45,2	0,22	0,15	0,29	0,04	0,04	0,015	0,006
Pappelholz (Kurzumtrieb)	47,5	6,2	44,1	0,42	0,35	0,51	0,05	0,10	0,031	0,004
Weidenholz (Kurzumtrieb)	47,1	6,1	44,3	0,54	0,26	0,68	0,05	0,09	0,045	0,004
Rinde (Nadelholz)	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	1,27	0,14	0,05	0,085	0,019
Roggenstroh	46,6	6,0	42,1	0,55	1,68	0,36	0,06	0,15	0,085	0,40
Weizenstroh	45,6	5,8	42,4	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,082	0,19
Triticalestroh	43,9	5,9	43,8	0,42	1,05	0,31	0,05	0,08	0,056	0,27
Gerstenstroh	47,5	5,8	41,4	0,46	1,38	0,49	0,07	0,21	0,089	0,40
Rapsstroh	47,1	5,9	40,0	0,84	0,79	1,70	0,22	0,13	0,27	0,47
Maisstroh	45,7	5,3	41,7	0,65					0,12	0,35
Sonnenblumenstroh	42,5	5,1	39,1	1,11	5,00	1,90	0,21	0,20	0,15	0,81
Hanfstroh	46,1	5,9	42,5	0,74	1,54	1,34	0,20	0,25	0,10	0,20
Roggenganzpflanzen	48,0	5,8	40,9	1,14	1,11		0,07	0,28	0,11	0,34
Weizenganzpflanzen	45,2	6,4	42,9	1,41	0,71	0,21	0,12	0,24	0,12	0,09
Triticaleganzpflanzen	44,0	6,0	44,6	1,08	0,90	0,19	0,09	0,22	0,18	0,14
Roggenkörner	45,7	6,4	44,0	1,91	0,66		0,17	0,49	0,11	0,16
Weizenkörner	43,6	6,5	44,9	2,28	0,46	0,05	0,13	0,39	0,12	0,04
Triticalekörner	43,5	6,4	46,4	1,68	0,62	0,06	0,10	0,35	0,11	0,07
Rapskörner	60,5	7,2	23,8	3,94					0,10	
Miscanthus	47,5	6,2	41,7	0,73	0,72	0,16	0,06	0,07	0,15	0,22
Landschaftspflegeheu	45,5	6,1	41,5	1,14	1,49	0,50	0,16	0,19	0,16	0,31
Rohrschwengel	41,4	6,3	43,0	0,87	1,94	0,38	0,17	0,17	0,14	0,50
Weidelgras	46,1	5,6	38,1	1,34					0,14	1,39
Straßengrasschnitt	37,1	5,1	33,2	1,49	1,30	2,38	0,63	0,19	0,19	0,88

(Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 343)

Abb. C: Produkteigenschaften von Hackschnitzeln (Pappel u. Weide):

Produkteigenschaften	Einheit	Pappel	Weide
Heizwert (H_u) wf*	MJ/kg	18,4	18,3
TM-Gehalt nach Trocknung	%	70	70
Heizwert bei TM 70 %	MJ/kg	12,1	12,1
	kWh/kg	3,4	3,4
Heizöläquivalent	l/kg	0,3	0,3

* wf = wasserfrei

(Übernommen aus SCHOLZ, 2006, 299)

Abb. D: Verbrennungstechnische Kenndaten naturbelassener Festbrennstoffe im Vergleich zu Stein- u. Braunkohle:

Brennstoff/ Biomasseart	Heiz- wert	Brenn- wert	Asche- gehalt	flüchtige Bestand- teile	Ascheerweichung ^b		
	in MJ/kg	in MJ/kg	in %	in %	DT ^a in °C	HT ^a in °C	FT ^b in °C
Steinkohle	29,7 ^c		8,3	34,7	1 250		
Braunkohle	20,6 ^c		5,1	52,1	1 050		
Fichtenholz (mit Rinde)	18,8	20,2	0,6	82,9	1 426		1 583
Buchenholz (mit Rinde)	18,4	19,7	0,5	84,0			
Pappelholz (Kurzumtrieb)	18,5	19,8	1,8	81,2	1 335		1 475
Weidenholz (Kurzumtrieb)	18,4	19,7	2,0	80,3	1 283		1 490
Rinde (Nadelholz)	19,2	20,4	3,8	77,2	1 440	1 460	1 490
Roggenstroh	17,4	18,5	4,8	76,4	1 002	1 147	1 188
Weizenstroh	17,2	18,5	5,7	77,0	998	1 246	1 302
Triticalestroh	17,1	18,3	5,9	75,2	911	1 125	1 167
Gerstenstroh	17,5	18,5	4,8	77,3	980	1 113	1 173
Rapsstroh	17,1	18,1	6,2	75,8	1 273		1 403
Maisstroh	17,7	18,9	6,7	76,8	1 050	1 120	1 140
Sonnenblumenstroh	15,8	16,9	12,2	72,7	839	1 178	1 270
Hanfstroh	17,0	18,2	4,8	81,4	1 336	1 420	1456
Roggenganzpflanzen	17,7	19,0	4,2	79,1			
Weizenganzpflanzen	17,1	18,7	4,1	77,6	977	1 155	1 207
Triticaleganzpflanzen	17,0	18,4	4,4	78,2	833	982	1 019
Roggenkörner	17,1	18,4	2,0	80,9	710		810
Weizenkörner	17,0	18,4	2,7	80,0	687	887	933
Triticalekörner	16,9	18,2	2,1	81,0	730	795	840
Rapskörner	26,5		4,6	85,2			
Miscanthus	17,6	19,1	3,9	77,6	973	1 097	1 170
Landschaftspflegeheu	17,4	18,9	5,7	75,4	1 061		1 228
Rohrschwengel	16,4	17,8	8,5	72,0	869	1 197	1 233
Weidelgras	16,5	18,0	8,8	74,8			
Straßengrasschnitt	14,1	15,2	23,1	61,7	1 200	1 270	1 286

(Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 360)

Abb. E: Rohdichten von Holz (atro) (inkl. Volumenschwund):

Weichhölzer (bis 0,55 g/cm ³)		Harthölzer (über 0,55 g/cm ³)	
Fichte	0,43 g/cm ³	Eiche	0,67 g/cm ³
Tanne	0,41 g/cm ³	Bergahorn	0,50 g/cm ³
Weißkiefer	0,49 g/cm ³	Esche	0,67 g/cm ³
Douglasie	0,47 g/cm ³	Buche	0,68 g/cm ³
Lärche	0,55 g/cm ³	Birke	0,64 g/cm ³
Erle	0,49 g/cm ³	Hainbuche/Weißbuche	0,75 g/cm ³
Linde	0,49 g/cm ³	Schwarzkiefer	0,56 g/cm ³
Aspe/Espe/Zitterpappel	0,45 g/cm ³	Hasel	0,56 g/cm ³
Pappel	0,41 g/cm ³	Robinie	0,73 g/cm ³
Weide	0,52 g/cm ³	Ulme	0,64 g/cm ³

(Übernommen aus KALTSCHMITT et al., 2009, 373)

Abb. F: Stoffkennndaten von Pappel und Weide:

Parameter	Einheit	Holz					
		Pappel		Weide			
		Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Physikalische Eigenschaften							
Wassergehalt ¹⁾ (w) bei Ernte	%	50	55	60	50	55	60
Rohdichte ²⁾ (ρ _R)	kg/m ³	760	890	1 050	800	1 110	1 300
	kg TM/m ³	380	400	420	480	500	520
HS-Schüttdichte ³⁾ (ρ _S)	kg/m ³	250	300	400	250	300	400
	kg TM/m ³	110	135	180	110	135	180
Heizwert ⁴⁾ (H _{u,atro})	MJ/kg TM	17,0	18,3	18,5	17,8	18,2	18,4
Brennwert (H _{o,atro})	MJ/kg TM	19,8			19,7		
Asche-Sinterpunkt (t _S)	°C	1 280–1 325					
Asche-Erweichungspunkt (t _A)	°C	1 430–1 435			1 283		
Asche-Schmelzpunkt (t _B)	°C	1 480					
Asche-Fließpunkt (t _C)	°C	1 480–1 500					
Inhaltsstoffe (in % der TM)							
Asche	%	1,6 ... 1,9 ... 2,2			1,7 ... 2,2 ... 2,4		
Flüchtige Bestandteile	%	81,2			80,3		
Elementaranalyse (in % der TM) ⁵⁾							
Kohlenstoff (C)	%	47,5			47,1		
Wasserstoff (H)	%	6,2			6,1		
Sauerstoff (O)	%	43,1			43,2		
Stickstoff (N)	%	0,20	0,64	1,41	0,25	0,46	1,04
Phosphor (P)	%	0,03	0,11	0,22	0,03	0,09	0,18
Kalium (K)	%	0,10	0,33	0,61	0,14	0,24	0,56
Magnesium (Mg)	%	0,05	0,08	0,10	0,05	0,07	0,08
Kalzium (Ca)	%	0,50	0,53	0,60	0,20	0,53	0,80
Blei (Pb)	mg/kg TM	< 1,0			< 1,0		
Chlor (Cl)	mg/kg TM	20	140	1 500	20	160	2 000
Eisen (Fe)	mg/kg TM	10	15	26	9	11	14
Kadmium (Cd)	mg/kg TM	0,82	1,15	1,35	1,32	1,60	2,18
Kupfer (Cu)	mg/kg TM	2,60	2,90	3,40	3,40	3,70	3,90
Mangan (Mn)	mg/kg TM	13	16	21	21	23	32
Schwefel (S)	mg/kg TM	200	440	900	300	470	900
Zink (Zn)	mg/kg TM	43	53	58	82	92	105

¹⁾ Zusammenhang zwischen Wassergehalt w und der im Forst gebräuchlichen Feuchte u: $w = u/(1+u)$ bzw. $u = w/(1-w)$.

²⁾ Angabe des Holzvolumens auch in Festmeter für Stammholz (Fm) und in Raummeter für Stapel (Rm).

³⁾ Angabe der Schüttevolumens der Hackschnitzel (HS) auch in Schüttraummeter (Sm³ oder srm) Allgemeine Umrechnungsfaktoren für Holzvolumina: 1 Fm = 2,43 Sm³ = 1,4 Rm.

⁴⁾ Berechnung des (unteren) Heizwertes H_u des feuchten Holzes aus dem Heizwert $H_{u, atro}$ des absolut trockenen Holzes: $H_u = H_{u, atro} (1-w/100) - 2,44 w/100$ mit 1 MJ = 0,278 kWh = 238,9 kcal (1 l Heizöl entspricht ca. 37,6 MJ).

⁵⁾ 10 000 mg/kg TM = 1 %.

(Übernommen aus ELTROP et al., 2006, 358)

Abb. G: Legende zur Geologischen Karte Oberösterreichs 1:200.000:



(Quelle: GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2006): Geologische Karte Oberösterreich (1:200.000))

Abb. H Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

AF 2	Pflanzgut art	Parzelle	Parameter	Mittelwert	Median	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
	Steckholz	16 (N= 30)	Wuchshöhe	4,5	4,8	1,0	1,6	5,6
			D ₁₀	3,6	3,8	1,1	1	5,1
			Ertrag	1	0,801	0,808	0,030	1,666
				2	0,841	0,854	0,036	1,71
		11 (N= 23)	Wuchshöhe	5,0	5,3	0,7	3,4	5,9
			D ₁₀	4,0	4,2	1,0	2,3	5,5
			Ertrag	1	1,023	1,033	0,235	2,00
				2	1,067	1,083	0,259	2,05
		Bestand (N= 53)	Wuchshöhe	4,7	4,9	1,0	1,6	5,9
			D ₁₀	3,8	4	1,1	1	5,5
			Ertrag	1	0,897	0,917	0,030	2,00
				2	0,939	0,965	0,036	2,053
	Steckrute	34 (N= 11)	Wuchshöhe	6,1	6,4	0,8	3,7	6,7
			D ₁₀	6,4	6,8	1,0	4,1	7,3
			Ertrag	1	2,99	3,380	0,974	4,024
				2	3,014	3,394	1,023	4,016
		29 (N= 10)	Wuchshöhe	6,6	6,8	0,4	6	7
			D ₁₀	7,5	7,6	0,6	6,5	8,3
			Ertrag	1	4,341	4,444	3,025	5,518
				2	4,318	4,420	3,050	5,445
		Bestand (N= 21)	Wuchshöhe	6,3	6,5	0,7	3,7	7
			D ₁₀	6,9	7,1	1,0	4,1	8,3
			Ertrag	1	3,635	3,758	0,974	5,518
				2	3,635	3,760	1,023	5,445

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. I Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

AF 8	Pflanzgut art	Parzelle	Parameter	Mittelwert	Median	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
	Steckholz	20 (N=25)	Wuchshöhe	4,9	5,1	0,6	2,6	5,5
			D ₁₀	4,2	4,3	0,8	1,8	5,3
			Ertrag	1	1,075	1,095	0,128	1,831
				2	1,121	1,145	0,145	1,880
		13 (N= 31)	Wuchshöhe	4,2	4,9	1,2	1,8	5,4
			D ₁₀	3,3	3,9	1,1	1,4	4,7
			Ertrag	1	0,679	0,861	0,069	1,363
				2	0,716	0,908	0,080	1,414
		Bestand (N= 56)	Wuchshöhe	4,5	5	1,0	1,8	5,5
			D ₁₀	3,7	4	1,0	1,4	5,3
			Ertrag	1	0,856	0,917	0,069	1,831
				2	0,897	0,965	0,080	1,880
	Steckrute	36 (N= 8)	Wuchshöhe	5,1	4,8	0,4	4,5	5,6
			D ₁₀	6,0	5,9	0,4	5,4	6,5
			Ertrag	1	2,487	2,384	1,917	3,025
				2	2,525	2,424	1,965	3,050
		31 (N= 11)	Wuchshöhe	5,4	5,5	0,4	4,7	5,8
			D ₁₀	6,8	7	0,7	5,8	7,6
			Ertrag	1	3,423	3,630	2,286	4,443
				2	3,433	3,636	2,328	4,419
		Bestand (N= 19)	Wuchshöhe	5,3	5,4	0,4	4,5	5,8
			D ₁₀	6,5	6,3	0,7	5,4	7,6
			Ertrag	1	3,029	2,801	1,917	4,443
				2	3,050	2,832	1,965	4,419

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. J Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

Kornik	Pflanzgut art	Parzelle	Parameter	Mittelwert	Median	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
	Steckholz	14 (N= 30)	Wuchshöhe	4,1	4,5	1,3	1,7	5,7
			D ₁₀	3,0	3,1	1,0	1,1	4,4
		Ertrag	1	0,513	0,471	0,334	0,038	1,159
			2	0,547	0,507	0,347	0,045	1,209
		7 (N= 23)	Wuchshöhe	3,5	3,7	1,0	1	4,9
			D ₁₀	2,7	2,8	0,8	0,9	4,3
		Ertrag	1	0,421	0,381	0,278	0,023	1,095
			2	0,452	0,414	0,290	0,028	1,145
		Bestand (N= 53)	Wuchshöhe	3,9	4,3	1,2	1	5,7
			D ₁₀	2,9	2,9	0,9	0,9	4,4
		Ertrag	1	0,473	0,415	0,312	0,023	1,159
			2	0,506	0,450	0,324	0,028	1,209
	Steckrute	33 (N= 10)	Wuchshöhe	6,1	6,2	0,3	5,6	6,4
			D ₁₀	5,9	6	0,6	5,2	6,9
		Ertrag	1	2,408	2,486	0,559	1,747	3,503
			2	2,446	2,524	0,547	1,797	3,514
		28 (N= 10)	Wuchshöhe	7,1	7,1	0,3	6,4	7,4
			D ₁₀	6,7	6,6	0,6	5,8	7,8
		Ertrag	1	3,295	3,085	0,783	2,286	4,736
			2	3,309	3,109	0,757	2,328	4,699
		Bestand (N= 20)	Wuchshöhe	6,6	6,4	0,6	5,6	7,4
			D ₁₀	6,3	6,2	0,7	5,2	7,8
		Ertrag	1	2,851	2,693	0,803	1,747	4,736
			2	2,877	2,727	0,781	1,797	4,699

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. K Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

Max 4	Pflanzgut art	Parzelle (N)	Parameter	Mittelwert	Median	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
	Steckholz	18 (N= 29)	Wuchshöhe	4,3	4,8	1,2	1,7	5,5
			D ₁₀	3,0	3,2	0,9	1,1	4,1
		Ertrag	1	0,509	0,529	0,311	0,038	0,974
			2	0,543	0,568	0,324	0,045	1,023
		9 (N= 25)	Wuchshöhe	2,8	2,9	0,8	1,4	4,3
			D ₁₀	2,0	2	0,8	1	3,8
		Ertrag	1	0,212	0,166	0,188	0,030	0,808
			2	0,232	0,186	0,199	0,036	0,854
		Bestand (N= 54)	Wuchshöhe	3,6	3,6	1,3	1,4	5,5
			D ₁₀	2,5	2,5	1,0	1	4,1
		Ertrag	1	0,371	0,274	0,299	0,030	0,974
			2	0,399	0,302	0,313	0,036	1,023
	Steckrute	k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					
		k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					
		k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. L Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

Max 5	Pflanzgut art	Parzelle	Parameter	Mittelwert	Median	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
	Steckholz	15 (N= 26)	Wuchshöhe	4,3	4,9	1,3	1,5	5,8
			D ₁₀	3,0	3,3	1,1	0,9	4,4
			Ertrag	1 0,536	0,571	0,334	0,023	1,159
				2 0,571	0,611	0,348	0,028	1,209
		6 (N= 26)	Wuchshöhe	4,2	4,5	1,1	1,7	5,3
			D ₁₀	3,1	3,3	0,9	1,4	4,6
			Ertrag	1 0,553	0,571	0,336	0,069	1,293
				2 0,589	0,611	0,348	0,080	1,344
		Bestand (N= 52)	Wuchshöhe	4,2	4,7	1,2	1,5	5,8
			D ₁₀	3,0	3,3	1,0	0,9	4,6
			Ertrag	1 0,545	0,571	0,332	0,023	1,293
				2 0,580	0,611	0,345	0,028	1,344
	Steckrute	k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					
		k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					
		k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. M Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

Monviso	Pflanzgut art	Parzelle	Parameter	Mittelwert	Median	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
	Steckholz	19 (N= 38)	Wuchshöhe	4,0	4,45	1,2	1,5	5,4
			D ₁₀	2,9	3,2	1,1	1,1	4,9
			Ertrag	1 0,525	0,509	0,393	0,038	1,510
				2 0,558	0,548	0,406	0,045	1,561
		17 (N= 42)	Wuchshöhe	4,0	4,3	1,5	1,6	5,9
			D ₁₀	2,7	2,6	1,2	0,8	5,5
			Ertrag	1 0,489	0,303	0,454	0,017	2,00
				2 0,519	0,332	0,468	0,021	2,053
		Bestand (N= 80)	Wuchshöhe	4,0	4,5	1,3	1,5	5,9
			D ₁₀	2,8	3,0	1,1	0,8	5,5
			Ertrag	1 0,506	0,434	0,424	0,017	2,00
				2 0,538	0,469	0,437	0,021	2,053
	Steckrute	35 (N= 10)	Wuchshöhe	5,7	5,7	0,1	5,6	6
			D ₁₀	6,9	6,9	0,8	6,1	8,6
			Ertrag	1 3,589	3,505	1,049	2,588	6,021
				2 3,592	3,515	1,009	2,624	5,923
		25 (N= 10)	Wuchshöhe	6,7	6,7	0,3	6,3	7,1
			D ₁₀	7,2	7,3	0,5	6,6	8,2
			Ertrag	1 3,948	3,957	0,694	3,141	5,356
				2 3,941	3,952	0,667	3,162	5,291
		Bestand (N= 20)	Wuchshöhe	6,2	6,2	0,5	5,6	7,1
			D ₁₀	7,1	7,0	0,7	6,1	8,6
			Ertrag	1 3,768	3,694	0,885	2,588	6,021
				2 3,767	3,698	0,852	2,624	5,923

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. N Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

Pflanzgut art	Parzelle	Parameter		Mittelwert	Median	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
NE 42	Steckholz	21 (N= 21)	Wuchshöhe	2,8	3	0,7	1,5	4
			D ₁₀	2,2	2,1	0,6	0,9	3,6
			Ertrag	1	0,229	0,188	0,023	0,707
				2	0,252	0,209	0,028	0,751
		12 (N=5)	Wuchshöhe	2,1	2,3	0,4	1,7	2,5
			D ₁₀	1,5	1,6	0,3	1,1	1,9
			Ertrag	1	0,085	0,096	0,038	0,147
				2	0,097	0,109	0,048	0,165
		Bestand (N= 26)	Wuchshöhe	2,7	2,8	0,7	1,5	4
			D ₁₀	2,0	2,1	0,6	0,9	3,6
			Ertrag	1	0,201	0,188	0,023	0,707
				2	0,222	0,209	0,028	0,751
	Steckrute	k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					
		k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					
		k. a.	Wuchshöhe					
			D ₁₀					
			Ertrag					

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. O Mittelwert, Median, SD, Minimum und Maximum erhobener u. ermittelter Parameter:

Pflanzgut art	Parzelle	Parameter		Mittelwert	Median	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Pannonia	Steckholz	10 (N= 22)	Wuchshöhe	2,8	3,0	0,9	1,4	4
			D ₁₀	2,2	2,3	0,8	1,1	3,4
			Ertrag	1	0,246	0,224	0,038	0,614
				2	0,269	0,248	0,045	0,656
		8 (N=17)	Wuchshöhe	2,8	2,7	0,6	1,7	3,7
			D ₁₀	2,1	2,1	0,6	1,3	3,1
			Ertrag	1	0,208	0,188	0,057	0,490
				2	0,229	0,209	0,067	0,527
		Bestand (N= 39)	Wuchshöhe	2,8	2,8	0,7	1,4	4
			D ₁₀	2,1	2,1	0,7	1,1	3,4
			Ertrag	1	0,229	0,188	0,0383	0,614
				2	0,252	0,209	0,0452	0,656
	Steckrute	32 (N= 9)	Wuchshöhe	4,1	4,4	1,0	2,1	5,1
			D ₁₀	3,6	4,0	1,0	2,1	4,7
			Ertrag	1	0,757	0,861	0,188	1,363
				2	0,798	0,908	0,209	1,414
		30 (N= 9)	Wuchshöhe	4,1	4,5	0,9	2,7	5,2
			D ₁₀	3,7	4,2	1,2	2,1	5,2
			Ertrag	1	0,896	1,033	0,188	1,747
				2	0,936	1,083	0,209	1,797
		Bestand (N= 19)	Wuchshöhe	4,1	4,4	0,9	2,1	5,2
			D ₁₀	3,7	4	1,1	2,1	5,2
			Ertrag	1	0,847	0,917	0,188	1,747
				2	0,888	0,965	0,209	1,797

(N = Gültige Anzahl Einzelruten (Stichprobenumfang); Wuchshöhe gerundet in Meter (m); Ertrag in kg TM_{atro}; D₁₀ gerundet in Zentimeter (cm); 1, 2: Ertragsergebnisse auf Basis der Funktionen 1 und 2)

Abb. P Anteil der erhobenen Individuen mit zwei oder mehr Einzelruten in % je Steckholzklonbestand

