

Versuchsflächen mit schnellwachsenden Baumarten in Brandenburg – Ertragskundliche Ergebnisse für 2006 bis 2015

Rainer Schleppehorst*, Holger Hartmann* und Dieter Murach*

Zusammenfassung

Es werden ertragskundliche Ergebnisse von schnellwachsenden Baumarten vorgestellt, die im Kurzumtrieb auf acht Versuchsflächen der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde von 2006 bis 2015 im Land Brandenburg bewirtschaftet wurden. In den randomisierten Sortenversuchen wurden neun Pappelklone (*Populus spec.*), 19 Weidenklone (*Salix spec.*), zwei Herkünfte von Robinie (*Robinia pseudoacacia*) sowie Grau-Erle (*Alnus incana*) und Eschenblättriger Ahorn (*Acer negundo*) bis zum Ende der zweiten Umtriebszeit untersucht. Die Rotationslänge beträgt drei Jahre, der Pflanzverband ist eine Doppelreihe mit ca. 14.815 Pflanzen pro ha. Die Versuchsflächen repräsentieren ein breites Standortsspektrum, mit sandigen bis lehmigen Böden, mit und ohne Grundwasseranschluss. Zur zweiten Ernte weisen bei den Weiden die schwedischen Klone Tora und Tordis mit im Mittel von knapp $10 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ die höchsten Erträge auf. Bei den Pappeln sind es die Klone Hybride 275 mit $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und Max 3, Max 4 und AF 2 mit knapp über $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die die höchsten durchschnittlichen Erträge aufweisen. Die Überlebensraten aller Weidensorten am Ende der 1. Rotation liegen bei extensiver Pflege über 80 %. Bei den Pappeln konnten nur die drei Max-Klone sowie Hybride 275 solche hohe Werte erreichen. Eine gründliche Flächenvorbereitung zur Pflanzung und eine intensive Pflege in der Etablierungsphase haben einen erheblichen Einfluss auf den Ertrag und die Überlebensrate der Gehölze.

Stichwörter: Sortenversuche, schnellwachsende Baumarten, Pappel, Weiden, Robinien, Kurzumtrieb, Erträge, Statistik

Abstract

Yield of fast-growing tree species in northeast Germany: results of research with experimental plots (2006 to 2015)

We are presenting results from 10 years of research from a network of short-rotation plantations with fast-growing tree species in the federal state of Brandenburg, in the Northeastern Lowlands of Germany, from 2006 to 2015. At eight experimental sites, randomized variety trials including 19 willow clones (*Salix spec.*), nine poplar clones (*Populus spec.*), two provenances of black locust (*Robinia pseudoacacia*) and grey alder (*Alnus incana*), as well as ash-leaved maple (*Acer negundo*) were used to determine yield potentials during the first and second rotation, each lasting three years. Trials greatly differed in their site characteristics, ranging from sandy to loamy soils, sites with groundwater availability to very dry sites. All trials were planted in double rows with a plant density of 14.815 plants per ha. Our results showed that among willows biomass production at the end of the second rotation was highest in the two Swedish clones Tora and Tordis, averaging $9,9$ and $9,7 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ over all plots. Among poplar clones the Hybrid 275 ($11,1 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), Max 3 ($9,3 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), Max 4 and AF 2 ($9,2 \text{ t DM ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) performed best. Survival rates during the first three years exceeded 80 % in willows but only the poplar clones Max 1, Max 3, Max 4 and Hybrid 275 showed similar success with establishment. Proper management techniques, including thorough soil preparation before planting as well as maintenance during the establishment phase, proved to have a significant impact on yield and survival rates.

Keywords: Variety trials, fast-growing trees, poplar, willow, black locust, short rotation coppice, yield, growth rates, survival rates

* Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde

1 Einleitung

Im Projekt BIODEM hat die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde am Fachbereich für Wald und Umwelt von 2006 bis 2015 Versuchs- und Demonstrationsflächen zum Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen in Brandenburg betrieben. Die Flächen sollten klären helfen, welche schnellwachsenden Baumarten und Klone sich als besonders geeignet für einen Anbau unter brandenburgischen Standortverhältnissen erweisen. Dazu wurden kleinparzellierte Sortenversuche mit schnellwachsenden Baumarten angelegt und die Zuwächse sowie die Vitalität der einzelnen Prüfglieder jeweils am Ende der 1. und 2. Rotationsperiode ausgewertet.

Der Energieholzanbau in Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf landwirtschaftlichen Flächen stellt eine Möglichkeit dar, holzartige Biomasse in kurzen Zeiträumen zu produzieren. Es werden dabei ausschließlich Baumarten mit einer raschen Jugendentwicklung verwendet, also vor allem züchterisch bearbeitete Pappel- oder Weidensorten, Robinien oder Erlen. Bei der Anlage von KUP werden die Bäume in einem an maschinentechnischen Erfordernissen orientiertem Pflanzverband angebaut. Bereits bei der Konzeption einer Plantage müssen sowohl die gewünschten Baum-Zieldimensionen als auch die Umtriebszeit und die Pflanzendichte sowie die geeignete und zur Verfügung stehende Erntetechnik berücksichtigt werden. Je nach gewählter Umtriebszeit und Baumart können von weniger als 1.000 bis über 20.000 Bäume pro ha angepflanzt werden. KUP können dazu beitragen, eine prognostizierte Bedarfslücke für Dendromasse in der EU zu verringern (Mantau et al., 2010). Vom Deutschen Biomasseforschungszentrum (Thrän et al., 2010) wurde geschätzt, dass zur Deckung der vorgenannten „Holzlücke“ zwischen

einem deutlich steigenden Holzverbrauch und der bei weiterhin nachhaltiger Nutzung der Waldressourcen nur mäßig ansteigenden Holzbereitstellung bis zum Jahr 2020 der Anbau von KUP auf ca. 1,3 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche in Deutschland notwendig wäre. Dies entspräche 10 % der Ackerfläche von etwa 12 Mio. ha. Der Flächenumfang für Kurzumtriebsplantagen beläuft sich in der EU allerdings bisher nur auf etwa 30.000 ha (Mantau et al., 2010). Deutschlandweit wurden in 2015 nur etwa 6.700 ha Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen bewirtschaftet (INVEKOS, 2015), von denen sich etwa ein Drittel in Brandenburg und Berlin befinden (ETI, 2013). Im Projekt DENDROM wurden vor diesem Hintergrund bereits von 2005 bis 2008 systemische Analysen, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwendung von Dendromasse aus Wald- und Agrargehölzen für Brandenburg entwickelt (Murach et al., 2008). Die ertragskundlichen Daten, die in DENDROM für die Szenarien verwendet wurden, stammten in Ermangelung an Daten weitgehend von Versuchsflächen außerhalb Brandenburgs. Mit BIODEM sollte diese Lücke geschlossen und ertragskundliche Daten für KUP unter Brandenburger Verhältnissen erhoben werden.

2 Material und Methodik

2.1 Anlage der Sortenversuche

Seit dem Frühjahr 2006 sind in BIODEM insgesamt acht kleinparzellierte Sortenversuche als randomisierte Parzellenversuche etabliert worden (vgl. Tabelle 1). Die Versuche wurden als eigenständige Versuchsflächen von 0,5 bis 0,7 ha auf zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Stilllegungsflächen angelegt und mit Wildschutzzaun geschützt.

Tabelle 1

Daten zur Anlage und standortkundliche Parameter der Sortenversuche

Standort	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden	Kummerow 1
Landkreis	Dahme-Spreewald	Spree-Neiße	Oberspreewald-Lausitz	Uckermark
Etablierungsjahr	2007	2008	2008	2008
langjähriges Niederschlagsmittel 1981 - 2010	553 mm (DWD-Station Giessmannsdorf)	609 mm (DWD-Station Komptendorf)	553 mm (DWD-Station Giessmannsdorf)	563 mm (DWD-Station Passow)
Höhe über NN	61 m	90 m	55 m	7 - 8 m
Ackerzahl	27 bis 30	28 bis 29	36	12
MMK	D2b	D1a	D2b	D1
Bodenart (nach Ad-hoc AG Boden, 2005)	Sl4, Sl2, Su2	Ss, Su2	St2	Ss, St2
Humusgehalt bis 30 cm Bodentiefe	0,86 bis 1,16 %	2,05 bis 3,74 %	5,38 bis 6,51 %	1,21 - 2,87 %
pH - Wert	H ₂ O 6,37 bis 6,92 KCl 5,94 bis 6,48	H ₂ O 5,73 KCl 5,39	H ₂ O 5,51 bis 5,91 KCl 4,54 bis 4,57	H ₂ O 5,13 - 6,46 KCl 3,83 - 5,55
Grundwassertiefe	> 2 m u. Flur	1,5 - 2,0 m u. Flur	1 - 1,5 m u. Flur	1,5 - 1,8 m u. Flur
Vornutzung	Acker	Stilllegung	Stilllegung	Stilllegung
Bodenvorbereitung:	Pflugfurche	Grubber	Pflugfurche	Grubber
Unkrautbekämpfung in der Etablierungsphase:	mechanisch, intensiv	PSM-Applikation ('Flexidor', 'Fusilade Max'), mechanisch, extensiv	PSM-Applikation ('Flexidor'), mechanisch, extensiv	mechanisch, extensiv

Fortsetzung Tabelle 1

Standort	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa
Landkreis:	Uckermark	Uckermark	Uckermark	Elbe-Elster
Etablierungsjahr:	2007	2008	2006	2007
langjähriges Niederschlagsmittel 1981 - 2010	563 mm (DWD-Station Passow)	563 mm (DWD-Station Passow)	544 mm (DWD-Station Uckerland-Karlstein)	593 mm (DWD-Station Elsterwerda)
Höhe über NN	5 bis 6 m	6 bis 7 m	85 m	88 m
Ackerzahl	37	20 bis 25	39 bis 45	20 bis 23
MMK	D2b	D1 bis D2b	D5b	D2b
Bodenart (nach Ad-hoc AG Boden, 2005)	St2, Sl2	Ss, St2	Sl3, Sl4, Ls4	Ss, St2, Sl2
Humusgehalt bis 30 cm Bodentiefe	3,00 bis 3,74 %	1,39 bis 3,09 %	0,48 bis 1,71 %	1,74 bis 3,09 %
pH - Wert	H ₂ O 7,11 bis 7,67 KCl 6,76 bis 6,77	H ₂ O 6,77 bis 7,23 KCl 4,23 bis 5,47	H ₂ O 5,8 bis 6,51 KCl 4,6 bis 4,92	H ₂ O 5,93 bis 6,7 KCl 4,97 bis 6,11
Grundwassertiefe	1,5 bis 1,8 m u. Flur	1,5 bis 1,8 m u. Flur	> 2 m u. Flur	1,5 bis 1,8 m u. Flur
Vornutzung	Stilllegung	Stilllegung	Stilllegung	Baumschule
Bodenvorbereitung	Grubber	Grubber	Pflugfurche	Pflugfurche
Unkrautbekämpfung in der Etablierungsphase	mechanisch, intensiv	mechanisch, extensiv	mechanisch, extensiv	PSM-Applikation ('Flexidor'), mechanisch, extensiv
MMK = Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung, hierunter D1 = Geringe Sandböden, grundwasserfern; D1a = Sickerwasserbestimmte Sande; D2b = Grundwasserbestimmte Sande; D5b = Staunässe- und/oder grundwasserbestimmte Lehme und Tieflehme				
Bodenart (nach Ad-hoc AG Boden, 2005): Ss = sandiger Sand, Sl2 = schwach lehmiger Sand, Sl3 = mittel lehmiger Sand, Sl4 = stark lehmiger Sand, St2 = schwach toniger Sand, Ls4 = stark sandiger Lehm, Su2 = schwach schluffiger Sand				

Die Flächenvorbereitung war aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen nicht auf allen Flächen einheitlich. Die Bodenvorbereitung vor der Pflanzung erfolgte überwiegend per Pflugfurche, alternativ aber auch mit Hilfe eines Schwergrubbers. In den Jahren 2007 und 2008 erfolgte in den Wochen nach der Pflanzung der Versuche eine Bewässerung der jungen Pflanzen, um Trockenheitsschäden auf-

grund der vorherrschenden ausgeprägten Frühjahrs-trockenheit zu vermeiden. Pflegemaßnahmen mussten im Etablierungsjahr aufgrund der Einzäunung der Flächen mit Hilfe von Gartentechnik (Einachsschlepper mit angebaute Fräse oder Mulchgerät, Freischneider) oder per Hand erfolgen. In 2008 wurde darüber hinaus eine speziell für die Doppelreihe entwickelte Reihenfräse eingesetzt.

Tabelle 2

Eingesetztes Arten- und Sortenspektrum

Gattung	Art	Sorte, Klon, Herkunft	Land der Züchtung oder Selektion
<i>Populus spec.</i>	<i>P. x euramericana</i>	AF 2, Monviso	Italien
	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>	Androscoggin, Hybride 275 (Syn. NE 42)	USA
	<i>P. trichocarpa</i>	Muhle-Larsen	Belgien
	<i>P. trichocarpa</i>	Weser 6	Deutschland
	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	Max 1, Max 3, Max 4	Japan
<i>Salix spec.</i>	<i>S. purpurea</i>	1013	Polen
	<i>S. viminalis</i>	1023, 1033, 1047, 1053, 1054, 1056, 1156	Polen
	<i>S. viminalis</i>	Sprint, Start, Turbo	Polen
	<i>S. viminalis</i>	S 178, S 182, S 183, S 184	Deutschland
	<i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i>	Inger	Schweden
	<i>S. viminalis</i> x (<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>)	Sven	Schweden
	<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>	Tora	Schweden
(<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) x <i>S. viminalis</i>	Tordis	Schweden	
<i>Acer spec.</i>	<i>Acer negundo</i>		
<i>Alnus spec.</i>	<i>Alnus incana</i>		
<i>Robinia spec.</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Nyriségi (Ungarn), Müncheberg	

Bewässerung und Unkrautbekämpfung wurden allerdings nicht auf allen Flächen mit der gleichen Intensität und Häufigkeit durchgeführt. Pflanzenschutzmittel wurden nach der Pflanzung in den Versuchen bei Drieschnitz, Groß Rad den und Zeischa verwendet.

2.2 Prüfglieder

Insgesamt wurden 33 verschiedene Prüfglieder in den Sortenversuchen eingesetzt (vgl. Tabelle 2). Die Auswahl der einzelnen Baumarten und Klone wurde vor der Anlage der ersten Versuche im Jahr 2006 mit Experten abgestimmt. Dabei waren die nachhaltigen Ertragsleistungen der Baumarten und Klone und die standörtlichen Voraussetzungen auf den Versuchsflächen die bestimmenden Selektionskriterien. Dabei kamen auch Pappelklone zum Einsatz, die für den kommerziellen Anbau in Deutschland nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) noch nicht zugelassen sind. Der Klon Weser 6 ist beispielsweise nicht für einen kommerziellen Anbau zugelassen, für den Versuchs anbau jedoch verwendbar. Der Anbau von Weidenklonen wird von dem Forstvermehrungsgutgesetz nicht eingeschränkt.

2.3 Versuchslayout, Pflanzverband, Rotationslänge und Pflanzgut

Alle Versuchsanlagen wurden als randomisierte Parzellenversuche mit fünf Wiederholungen pro Prüfglied konzipiert. In 2006 wurden pro Parzelle 28 Bäume in vier Reihen mit jeweils sieben Bäumen gepflanzt, in 2007 und 2008 wurden 40 Bäume pro Parzelle in vier Reihen zu je 10 Bäumen gepflanzt (Tabelle 3 und Abbildung 1). Die Pflanzung der Bäume erfolgte immer in einer Doppelreihe. Zwei Baumreihen wurden dabei im Abstand von 75 cm nebeneinander gepflanzt. Der Abstand von einer Doppelreihe zur nächsten Doppelreihe betrug 150 cm. Der Abstand zwischen den einzelnen Bäumen in der Reihe war immer 60 cm (vgl. Tabelle 3). Daraus resultierte eine Pflanzdichte von 14.815 Bäumen pro ha. Es existieren Unterschiede in der Anzahl der Prüfglieder, die auf den verschiedenen Versuchsflächen angebaut wurden.

Ertragskundliche Messungen (vgl. Kapitel 2.5) fanden nur an den Bäumen in der sogenannten Kernparzelle eines Plots statt, also in dem inneren Bereich, der von Randeffekten der benachbarten Prüfglieder weitgehend abgeschirmt ist (vgl. Abbildung 1 und 2). Die Kernparzellen in den Versuchen aus dem Jahr 2006 umfassten zehn Bäume, bei den Versuchen

Tabelle 3
Übersicht über Parameter der Sortenversuche

Jahr der Etablierung	Bäume pro Plot	Abstand zwischen den Doppelreihen	Abstand in der Baumreihe	Anzahl Bäume pro ha	Anzahl Wiederholungen
2006	28	150 cm	60 cm	14.815	5
2007, 2008	40	150 cm	60 cm	14.815	5

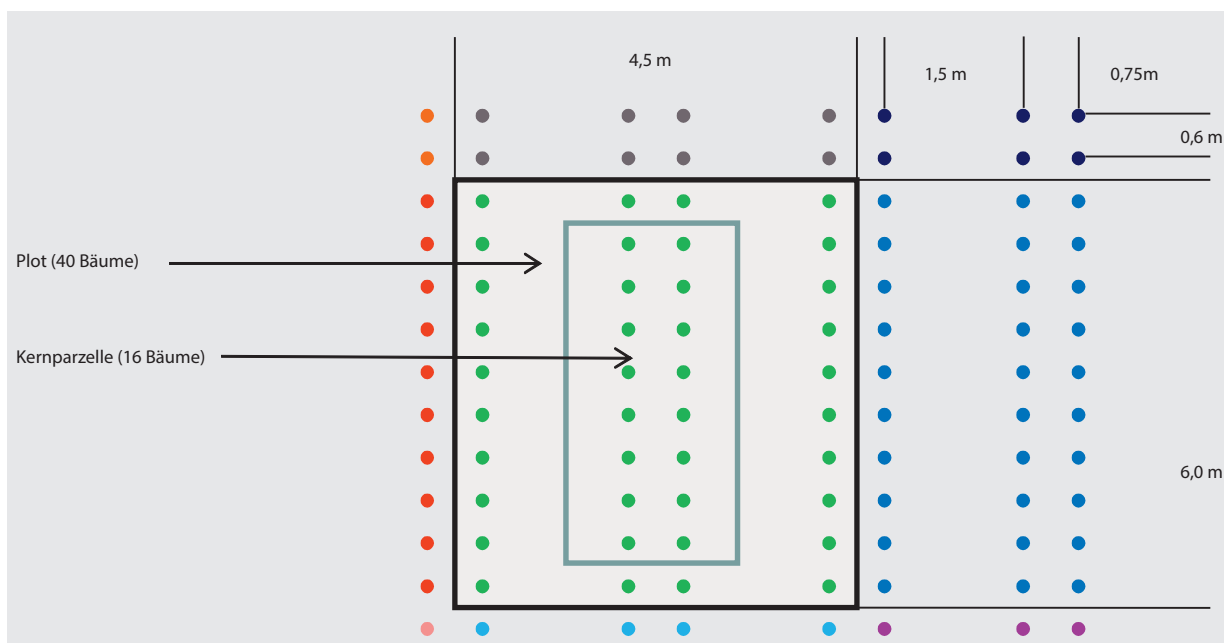


Abbildung 1
Layout der Sortenversuche im Kurzumtrieb von 2007 bis 2008

aus den Jahren 2007 und 2008 dagegen 16 Bäume. Als Pflanzgut kamen bei Pappeln und Weiden in der Regel 20 cm lange Steckhölzer zum Einsatz, übrige Baumarten wurden als einjährige Sämlinge gepflanzt. Lediglich der Versuch Kummerow 1 wurde in 2008 mit 80 cm langen Setzruten begründet, die mit Hilfe eines Erdbohrers 60 cm tief gepflanzt wurden. Auf diesem sehr armen Standort waren Anpflanzungen mit 20 cm langen Stecklingen in den trockenen Frühjahren 2006 und 2007 nahezu vollständig vertrocknet. Die Pflanzung der Bäume erfolgte per Hand, meist unter Zuhilfenahme von Spaten oder ähnlichen Pflanzhilfen. Zeitpunkt der Pflanzung war in der Regel das zeitige Frühjahr, also die Zeit von Mitte März bis Ende April. Alle Versuche wurden durch einen Zaun gegen Wildverbiss geschützt. Die Versuche wurden in einer dreijährigen Umtriebszeit bewirtschaftet.

2.4 Bodenuntersuchungen

Auf allen Versuchsflächen erfolgten Bodenuntersuchungen zur grundlegenden Charakterisierung des Standortes (vgl. Tabelle 4)

Tabelle 4

Durchgeführte Bodenanalysen zur Charakterisierung der Versuchsstandorte

Parameter	Methodik
pH H ₂ O und 1 M KCl	Aufschlännen und Potentiometrie (Gutachterausschuss Forstliche Analytik, 2005; A3.1.1.2 u. -4 in Anlehnung DIN ISO 10390; HBU 11.11a u. b, 3.5.1a)
C _{org}	Glühen, Gravimetrie (Gutachterausschuss Forstliche Analytik, 2005; A3.4.1 in Anlehnung DIN EN 12879)
Humusgehalt	Berechnung nach der Formel Corg * 1,72, nach Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005)
Schluff- und Tonanteil	Dispergierung, Siebung, Gravimetrie (Schnellmethode, Hausmethode)

2.5 Biomassebestimmung mit Hilfe der Regressionsmethode

Am Ende jeder Rotationsperiode, also nach jeweils drei Vegetationsperioden, erfolgte in allen Sortenversuchen eine Bonitur des Wachstums auf allen Plots. Dazu wurden die Durchmesser aller Triebe mit einem Mindestdurchmesser von 8 mm in 100 cm Höhe über dem Erdboden mit Hilfe von Messschiebern an den Bäumen in der Kernparzelle bestimmt. Die maximale Triebhöhe dieser Bäume wurde mit Hilfe einer Höhenmesslatte erfasst. Die Bonitur erfolgte nur auf Plots, mit einer Anwuchsrate von mindestens 75 % in der Kernparzelle und 75 % im Randbereich. Darüber hinaus wurde auf allen Parzellen die Überlebensrate aufgenommen, also auch auf den Parzellen, die nicht bonitiert wurden.

Die aufstockende Biomasse von Kurzumtriebsplantagen lässt sich mithilfe der Regressionsmethode weitgehend

zerstörungsfrei ermitteln (z. B. Verwijst und Telenius, 1999; Röhle, 2009 und 2013). Dabei werden Dimensionsvariablen der aufstockenden Bäume, wie beispielsweise der Triebdurchmesser, in Beziehung zu ihrem Gewicht gesetzt. Auf Basis dieser allometrischen Beziehungen werden klon-spezifische Biomassefunktionen entwickelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese zusätzlich auch abhängig von der Bestandeshöhe und -dichte sein können, was Röhle (2013) für die Pappel zeigen konnte.

Zur Herleitung dieser Funktionen erfolgte in BIODEM jeweils am Ende einer Umtriebszeit klonbezogen eine selektive Entnahme von einzelnen Trieben, welche das gesamte vorkommende Durchmesserpektrum repräsentierten.

Je nach Prüfglied und Rotation wurden zwischen 16 und 130 Triebe beprobt, mit Ausnahme der Robinie (Herkunft Müncheberg). Die unterschiedliche Anzahl ist darauf zurückzuführen, dass einzelne Prüfglieder (z. B. Weide S 178) nur auf wenigen Versuchsflächen angepflanzt worden sind, während andere Prüfglieder (z. B. Pappel Max 1), auf allen Versuchsflächen angepflanzt wurden.

Diese Triebe wurden frisch gewogen und vermessen. Es wurde der Durchmesser in 100 cm Höhe über dem Erdboden erfasst und die Grundfläche berechnet.

Anschließend wurde das Trockengewicht (atro-Gewichte) durch Trocknung von Teilproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz und anschließender Wägung berechnet. Die Herleitung der Erträge der einzelnen Prüfglieder erfolgte über die Durchmesser-Vollaufnahmen jedes bonitierten Plots unter Verwendung der Biomassefunktionen. Die errechneten Baumgewichte konnten anschließend unter Berücksichtigung der Größe der Kernparzelle als Flächenbezug auf Hektarwerte hochgerechnet werden. Anhand dieser Trockenmassewerte kann der durchschnittliche Gesamtzuwachs (dGZ in t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹) für die Rotationsperiode berechnet werden.

Bei der Bonitur am Ende der zweiten Umtriebszeit wurde eine Wuchsraumkorrektur durchgeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Wuchsdynamik der einzelnen Baumarten und Sorten konnten, trotz der Beschränkung der Datenaufnahme auf die Kernparzelle, Randeffekte in dem kleinparzellierten Versuchsaufbau nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Bei starkem Konkurrenzdruck mit zunehmendem Bestandesschluss, ist der Wuchsraum nicht immer identisch mit dem vorgegebenen Standraum der Bäume auf den Parzellen. So konnte insbesondere bei benachbarten Parzellen mit deutlich unterschiedlichem Wuchs der Prüfglieder eine Verschiebung des Wuchsraumes durch Konkurrenzverhältnisse beobachtet werden (vgl. Abbildung 2). Die mittlere Abweichung des Wuchsraumes vom vorgegebenen Standraum konnte jeweils vor der Ernte durch eine Ablotung der Kronenspitze der Randbäume an allen vier Seiten der Plots ermittelt werden. Daraus wurde der zur Verfügung stehende Wuchsraum für jeden Baum auf dem Plot abgeleitet. Je nach Wuchs der aufstockenden Bäume erfolgte anschließend ein Flächenzu- oder -abschlag zur Kernparzellenfläche bei der Hochrechnung der Biomasserträge.

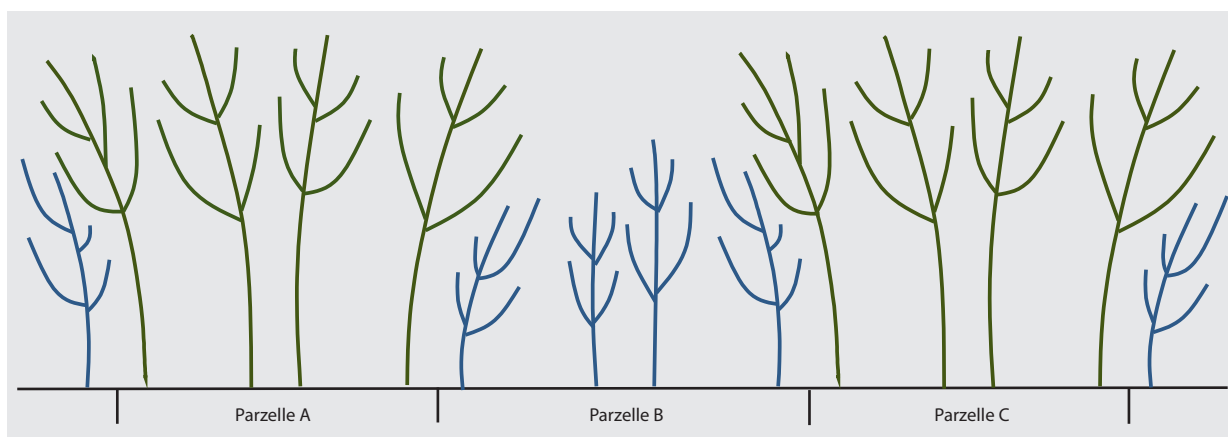


Abbildung 2

Schematische Darstellung der Wuchsräumverschiebung durch die unterschiedliche Wuchsdynamik der Prüfglieder. In den Plots A und C ist der Wuchsräum größer als der Standraum, also die Parzellenfläche. Bei Parzelle B ist der Wuchsräum entsprechend kleiner als die Parzellenfläche.

2.6 Statistische Auswertung

Die Auswertung und grafische Darstellung der erhobenen Ertragsdaten erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel 2010 und IBM SPSS Statistics 19. Dabei erfolgte zunächst eine Berechnung der mittleren Erträge (dGZ in $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) eines jeden Prüfgliedes auf den einzelnen Versuchsflächen. Um die Wuchsleistungen der Klone miteinander vergleichen zu können, wurden daraufhin für jede Versuchsfläche paarweise Vergleiche der dGZ -Mittelwerte der einzelnen Prüfglieder durchgeführt. Es wurde die Hypothese geprüft, ob im Pärchenvergleich ein Prüfglied einen signifikant größeren durchschnittlichen Gesamtwuchs aufweist. Dabei wurden alle auf der jeweiligen Versuchsfläche angebauten Klone miteinander verglichen. Im Idealfall, wenn beide Prüfglieder des jeweiligen Paarvergleiches auf allen acht Versuchsflächen angepflanzt waren, resultierte daraus eine Zahlenreihe mit acht Wertepaaren. Da einige Prüfglieder aber nicht auf allen Flächen angepflanzt wurden (z. B. Weidenklone S 178, S 182, S 183, S 184) oder aufgrund zu hoher Ausfälle in allen Plots eines Prüfgliedes von einzelnen Versuchsflächen keine Daten vorlagen (z. B. Robinie, Pappelklon Weser 6), standen nicht immer acht Wertepaare zur Verfügung. Um für eine statistische Überprüfung der Daten eine vertretbare Mindeststichprobenanzahl verfügbar zu halten, wurden nur Prüfglieder in die Auswertung einbezogen, von denen mindestens sechs dGZ -Vergleiche vorlagen. Dieser paarweise Auswertungsansatz eliminiert den Einfluss des Standortes bei dem Vergleich der Ertragsleistungen der Klone. Eine Überprüfung der Ertragsunterschiede von Klonen mit Hilfe eines Mittelwerts- oder Varianzvergleichs über alle Standorte hinweg kann aufgrund des dominierenden Einflusses des Standortes auf die Ertragsleistung nicht zielführend sein. Daher erfolgte im vorliegenden Fall eine Überprüfung von Ertragsunterschieden zwischen zwei Klonen mit einem Test auf Binomialverteilung, mit dessen Hilfe beobachtete Häufigkeiten von beiden Kategorien einer dichotomen Variablen mit den Häufigkeiten verglichen werden, die unter einer Binomialverteilung mit einem angegebenen Wahrscheinlichkeitsparameter

zu erwarten sind. Zu diesem Zweck wurden die errechneten Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern zunächst in dichotome Variablen überführt (hier: 1 = Prüfglied 1 hat höheren Ertrag, als Prüfglied 2; 0 = Prüfglied 1 hat niedrigeren Ertrag, als Prüfglied 2). Mit Hilfe eines Binomialtests wurde für jeden Klon untersucht, ob die beobachteten Zuwächse sich systematisch von einer Binomialverteilung mit $p = 0,5 = 50\%$ unterscheiden, d. h. ob der betrachtete Klon systematisch besser ist, als der Vergleichspartner. Als Signifikanzniveau wurde 10% ($\alpha = 0,1$) gewählt, um den heterogenen Versuchsbedingungen (Standort, Unkrautbekämpfung, Witterungssituation in den jeweiligen Etablierungsjahren) gerecht zu werden.

3 Ergebnisse

3.1 Überlebensraten der Prüfglieder

Eine hohe Überlebensrate ist die Voraussetzung für gute Erträge. In Abhängigkeit vom Pflanzenwachstum und der Ausgangspflanzenzahl können Ausfälle bis zu einem gewissen Anteil auch durch benachbarte Bäume kompensiert werden. Wichtig ist jedoch eine gleichmäßige Verteilung der Bäume um den Wuchsräum optimal ausnutzen zu können. In der Etablierungsphase nach der Pflanzung verfügen die schnellwachsenden Gehölze über eine geringe Konkurrenz- und Begleitwuchsregulierung sollte deshalb eine hohe Priorität eingeräumt werden.

In Tabelle 5 sind die mittleren Überlebensraten der einzelnen Baumarten am Ende der ersten Umtriebszeit unter den Anwuchs- und Pflegebedingungen von BIODEM dargestellt.

Mäßige Überlebensraten von weniger als 70% wurden auf den Versuchsflächen Lindhorst, Cahnsdorf, Groß Radden und Drieschnitz erreicht und zwar insbesondere bei den Baumarten Grau-Erle und Robinie. Auf diesen Flächen beschränkten sich die Ausfälle auf abgegrenzte Flächenbereiche, die in der Folge nicht für die Ertragsberechnung verwendet

Tabelle 5

Überlebensraten (% vitale dreijährige Pflanzen) am Ende der 1. Rotation auf den Versuchsflächen

Prüfglied	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Rad den 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert [%]
<i>A. negundo</i>	98,0	87,5	90,0	-	99,0	84,0	52,9	98,0	87,1
<i>A. incana</i>	75,3	23,5	37,0	-	94,0	9,0	48,6	86,0	53,3
<i>R. pseudoacacia</i> (Deutschland)	50,3	77,5	90,5	-	80,5	90,5	44,3	87,0	74,4
<i>R. pseudoacacia</i> (Ungarn)	67,8	49,5	65,5	-	90,0	92,5	56,4	77,0	71,2
1013	81,3	72,0	79,0	99,4	91,5	84,0	97,1	98,5	87,8
1023	79,5	63,5	84,5	98,8	98,0	93,0	94,3	96,0	88,4
1033	89,3	80,0	85,5	98,8	94,2	94,0	91,4	98,0	91,4
1047	84,0	66,0	83,0	100,0	98,0	94,5	86,4	92,5	88,1
1053	94,5	83,0	82,0	100,0	98,0	96,5	74,3	96,5	90,6
1054	89,8	67,5	92,5	99,4	83,5	95,5	80,7	99,5	88,5
1056	87,8	70,0	82,5	100,0	98,0	93,5	58,6	93,0	85,4
1156	90,5	73,5	92,5	99,4	90,5	97,5	82,9	100,0	90,8
Inger	78,5	65,5	91,0	100,0	93,0	92,5	71,4	96,0	86,0
S 178	79,3	-	-	-	98,5	-	-	-	88,9
S 182	78,5	-	-	-	97,5	93,5	-	-	89,8
S 183	93,8	-	-	-	95,0	-	-	-	94,4
S 184	79,5	-	-	-	85,5	-	-	-	82,5
Sprint	90,3	78,5	90,0	99,4	89,5	98,0	90,0	99,5	91,9
Start	88,3	79,5	64,5	100,0	98,0	96,5	87,1	96,5	88,8
Sven	78,8	80,0	89,0	100,0	96,9	97,5	-	94,0	90,9
Tora	79,0	73,5	98,5	99,4	93,5	96,0	80,6	95,5	89,5
Tordis	88,0	66,0	80,5	100,0	97,5	99,5	78,6	98,5	88,6
Turbo	76,5	71,0	78,0	100,0	99,0	98,0	70,0	93,5	85,8
Mittelwert Weide [%]	84,6	72,6	84,9	99,6	94,5	95,0	81,7	96,5	88,8
AF 2	70,3	53,5	75,5	91,9	90,0	55,5	67,1	89,0	74,1
Androscoggin	46,3	41,0	67,0	96,3	73,5	77,0	63,6	76,0	67,6
Hybride 275	76,0	72,0	71,0	99,4	96,0	80,0	69,3	94,5	82,3
Max 1	54,3	94,5	84,0	98,8	89,0	96,5	87,1	87,5	86,5
Max 3	60,5	86,5	87,5	100,0	81,5	90,0	80,7	94,5	85,2
Max 4	62,8	89,0	79,0	100,0	91,5	97,0	81,4	92,5	86,6
Monviso	73,5	52,0	78,0	90,6	83,5	83,5	57,1	95,0	76,7
Muhle-Larsen	53,5	55,5	61,5	96,9	67,5	59,0	67,1	73,0	66,8
Weser 6	32,3	37,5	42,5	69,4	50,0	54,0	77,9	81,0	55,6
Mittelwert Pappel [%]	58,8	64,6	71,8	93,7	80,3	76,9	72,4	87,0	75,7

wurden. Relativ hohe Überlebensraten wurden dagegen auf den Flächen Kummerow 1, 2 und 3 (mit Ausnahme der Grau-Erle) sowie in Zeischa erreicht. Im Versuch Kummerow 2 hat eine intensivere Pflege stattgefunden und im Versuch Kummerow 1 wurden tiefgesetzte Ruten bei der Pflanzung verwendet. Höchste Überlebensraten wurden im Mittel über alle Flächen mit der Weide (89 %) und mit dem Eschenblättrigen Ahorn (87 %) erreicht. Auffällig ist die niedrige

Überlebensrate von im Mittel 53 % bei der Grau-Erle. Dies geht vor allem auf die drei Versuchsflächen Drieschnitz, Groß Rad den 2 und Kummerow 3 zurück. Da alle drei Flächen im Jahr 2008 gepflanzt wurden, ist zu vermuten, dass das Pflanzmaterial in diesem Jahr nicht optimal war.

Die mittleren Überlebensraten der Weidenklone lagen am Ende der 1. Rotation auf allen untersuchten Flächen auf einem hohen Niveau (> 80 %) mit relativ geringen

Unterschieden zwischen den einzelnen Prüfgliedern. Lediglich am Standort Drieschnitz konnten nur 72,6 % der Weiden überleben. Hervorzuheben sind die Klone 1033, 1156, S 183 und Sprint mit über 90 % vitaler Pflanzen im Mittel über alle Versuchsflächen.

Bei den Pappeln hatten nur die vier Klone Max 1, Max 3, Max 4 und Hybride 275 Überlebensraten über 80 % im Mittel erreicht. Die italienischen Schwarzpappelhybriden Monviso und AF 2 lagen im Mittel zwischen 70 und 80 %. Die Balsampappeln Androscoggin, Muhle-Larsen und Weser 6 blieben mit der Überlebensrate im Versuchsflächenmittel unter 70 %, wobei Weser 6 mit 53 % am schlechtesten abschnitt.

3.2 Biomassefunktionen

Zur Herleitung der Erträge der einzelnen Prüfglieder am Ende der 1. und 2. Rotation wurden allometrische Biomassefunktionen erstellt. In Tabelle 6 sind die einzelnen Funktionen für die 2. Rotation mit ihren statistischen Kennwerten dargestellt.

3.3 Ertragsspannen der Prüfglieder

Alle Weidenklone wiesen am Ende der 1. Rotation durchschnittliche Gesamtzuwächse von unter $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf. Am Ende der 2. Rotation reichten die Erträge von $0,4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Turbo, Versuchsfläche Drieschnitz) bis zu $23,1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Tordis, Fläche Groß Radden 2; vgl. Tabelle 7).

Tabelle 6

Allometrische Biomassefunktionen und das zugehörige Bestimmtheitsmaß zur Herleitung der Erträge am Ende der 2. Rotation

Baumart	Prüfglied	Funktion	N (x)	R ²
<i>A. negundo</i>	A. negundo	$y = 99,723x^{1,1979}$	85	0,9586
<i>A. incana</i>	A. incana	$y = 156,18x^{0,9459}$	35	0,988
<i>R. pseudoacacia</i>	Herkunft Müncheberg	$y = 87,45x^{1,2481}$	5	0,9862
	Herkunft Ungarn	$y = 152,82x^{1,0827}$	15	0,9815
<i>Salix spec.</i>	1013	$y = 111,05x^{1,2582}$	77	0,9623
	1023	$y = 105,47x^{1,2816}$	79	0,9845
	1033	$y = 101,56x^{1,321}$	78	0,9683
	1047	$y = 95,708x^{1,2906}$	64	0,963
	1053	$y = 104,56x^{1,3024}$	100	0,9658
	1054	$y = 106,35x^{1,3368}$	84	0,9791
	1056	$y = 104,26x^{1,2484}$	74	0,9756
	1156	$y = 105,13x^{1,3034}$	79	0,9728
	Inger	$y = 92,486x^{1,2463}$	75	0,9784
	S 178	$y = 119,09x^{1,2059}$	48	0,9465
	S 182	$y = 121,92x^{1,1563}$	40	0,9658
	S 183	$y = 91,565x^{1,3924}$	67	0,9571
	S 184	$y = 113,34x^{1,2262}$	44	0,9864
	Sprint	$y = 105,69x^{1,2888}$	84	0,9715
	Start	$y = 105,65x^{1,2859}$	79	0,9762
	Sven	$y = 95,146x^{1,2911}$	79	0,984
	Tora	$y = 90,979x^{1,2613}$	63	0,9869
	Tordis	$y = 91,205x^{1,2972}$	79	0,9827
	Turbo	$y = 110,45x^{1,2785}$	65	0,9862
<i>Populus spec.</i>	AF 2	$y = 80,962x^{1,1683}$	58	0,9766
	Androscoggin	$y = 101,86x^{1,1886}$	30	0,9911
	Hybride 275	$y = 105,59x^{1,1382}$	74	0,9863
	Max 1	$y = 95,516x^{1,1752}$	55	0,9927
	Max 3	$y = 97,115x^{1,1838}$	48	0,9865
	Max 4	$y = 96,624x^{1,1662}$	60	0,9856
	Monviso	$y = 78,335x^{1,2381}$	32	0,9714
	Muhle-Larsen	$y = 112,69x^{1,1001}$	30	0,9679
Weser 6	$y = 116,47x^{1,1594}$	35	0,9926	

x = Triebgrundfläche (cm²) in 1 m Höhe; y = Triebgewicht

Tabelle 7

Durchschnittliche Erträge ($t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) der Weidenklone der 2. Rotation

Klon	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert
1013	12,1	7,3	10,0	1,9	8,2	6,3	11,6	4,7	7,8
1023	9,6	4,2	9,6	2,6	10,1	5,4	11,4	3,9	7,1
1033	6,4	2,2	9,1	2,2	5,8	4,8	12,4	1,0	5,5
1047	10,0	n.v.	8,7	1,5	10,1	4,4	7,6	3,2	6,5
1053	10,4	2,5	11,0	2,5	11,2	4,9	8,9	1,6	6,6
1054	10,3	3,8	8,9	2,5	10,7	5,1	11,5	3,8	7,1
1056	9,3	2,1	7,9	3,0	9,5	3,8	6,1	4,7	5,8
1156	10,1	4,4	13,5	2,6	9,4	4,4	10,0	4,1	7,3
Inger	11,1	2,9	14,8	2,3	8,8	4,0	12,0	4,6	7,6
Sven	12,1	7,3	18,1	2,5	13,1	4,4	-	5,2	9,0
Tora	13,4	5,6	13,2	3,8	13,0	8,9	12,4	8,9	9,9
Tordis	9,6	3,8	23,1	3,4	10,8	5,6	15,8	5,5	9,7
Sprint	10,4	4,7	12,9	4,3	9,9	4,6	9,0	4,8	7,6
Start	8,8	2,1	12,7	2,3	8,8	5,3	10,4	3,6	6,8
Turbo	7,3	0,4	7,5	1,8	6,4	3,1	9,8	4,9	5,1
S 178	7,9	-	-	-	8,2	5,7	-	-	7,3
S 182	9,8	-	-	-	9,7	-	-	-	9,7
S 183	6,5	-	-	-	5,1	-	-	-	5,8
S 184	9,4	-	-	-	8,3	-	-	-	8,9

Über alle Versuchsflächen hinweg betrachtet, wiesen Tora und Tordis mit 9,9 bzw. 9,7 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei den Weiden die höchsten mittleren Erträge auf. Die restlichen Klone konnten im zweiten Umtrieb durchschnittliche Erträge zwischen 5,1 und 9,0 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erzielen, was etwa eine Verdoppelung gegenüber dem ersten Umtrieb darstellt. Die geringsten Erträge wurden für Turbo (5,1 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), 1033 (5,5 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und 1056 (5,8 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) gefunden.

Auch bei den Pappelklonen lagen die mittleren Erträge aller Prüfglieder am Ende der 1. Rotation deutlich unter 5 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die höchsten mittleren Erträge von 3 bis 4 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ konnten dabei für die italienischen Schwarzpappelhybriden AF 2 und Monviso nachgewiesen werden.

Im zweiten Umtrieb fand bei fast allen Sorten eine deutliche Ertragssteigerung statt. Wie auch bei den Weiden wiesen die Erträge der Pappelklone auf den verschiedenen Versuchsflächen aufgrund der Standortsunterschiede eine breite Streuung auf. In Tabelle 8 sind dazu die Mittelwerte der einzelnen Versuchsflächen dargestellt. Die durchschnittlichen Gesamtschwüchse reichten von 1,7 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Monviso und Muhle-Larsen, Versuch Kummerow 1) bis zu 21,7 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Hybride 275, Versuch Lindhorst).

Für Hybride 275 (11,1 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Max 3 (9,3 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Max 4 (9,2 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und AF 2 (9,2 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) konnten am Ende der 2. Rotation im Mittel über alle Versuchsflächen die höchsten Erträge nachgewiesen werden. Der Klon Monviso, der am

Tabelle 8

Durchschnittliche Erträge ($t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) der Pappelklone der 2. Rotation

Klon	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert
AF 2	13,3	12,1	-	5,1	7,4	-	13,6	4,0	9,2
Monviso	13,8	-	7,5	1,7	5,2	3,4	-	3,0	5,8
Max 1	-	8,9	6,2	2,3	9,4	6,9	18,3	7,7	8,5
Max 3	11,0	9,4	12,2	2,7	9,6	5,2	17,1	7,1	9,3
Max 4	10,6	10,3	9,4	2,7	11,4	7,1	16,6	5,6	9,2
Hybride 275	17,8	11,8	-	3,4	9,1	6,0	21,7	7,6	11,1
Androscoggin	-	-	14,5	2,8	6,6	8,3	13,8	2,1	8,0
M.-Larsen	8,9	-	-	1,7	6,9	2,3	12,1	2,8	5,8
Weser 6	-	-	-	3,1	-	5,9	13,6	10,9	8,4

Tabelle 9

Durchschnittliche Erträge ($t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) der sonstigen Baumarten nach der 2. Rotation

Art, Herkunft	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert
<i>A. negundo</i>	4,6	0,7	5,1	5,1	6,6	1,0	0,7	1,8	3,2
<i>A. incana</i>	6,0	-	-	-	4,3	n.v.	8,8	3,4	5,6
<i>R. pseudoacacia</i> (Deutschland)	-	7,7	4,9	-	4,3	3,2	-	4,4	4,9
<i>R. pseudoacacia</i> (Ungarn)	-	-	-	-	5,6	2,7	-	7,0	5,1

Ende der 1. Rotation zu den wüchsigsten Klonen gehörte, wies zum Ende der 2. Rotation dagegen nur einen vergleichsweise geringen Ertragsanstieg auf durchschnittlich $5,8 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf. In dieser Größenordnung lagen auch die Werte für Muhle-Larsen, womit diese beiden Klone die geringsten Erträge bei den Pappeln aufwiesen.

Bei den sonstigen Baumarten außer Pappel und Weide lagen die durchschnittlichen Erträge der beiden Robinienherkünfte und der Grau-Erle nach der 1. Rotation zwischen 2 und $3 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und am Ende der 2. Rotation bei 4,9 bzw. $5,1 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Robinienherkünfte 'Müncheberg' und 'Ungarn' und $5,6 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Grau-Erle. Tabelle 9 zeigt die Spannweite der mittleren Erträge auf den einzelnen Versuchsflächen. Der Eschenblättrige Ahorn erzielte mit durchschnittlich $1 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ am Ende des ersten Umtriebs und $3,2 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nach dem zweiten Umtrieb relativ niedrige Erträge.

3.4 Ertragsentwicklung auf den einzelnen Versuchsflächen

Cahnsdorf

Der Standort der Versuchsfläche Cahnsdorf weist schluffige, lehmige Sande auf und bietet somit günstige Bodenvoraussetzungen für den Agrarholzanbau. Das Grundwasser ist allerdings nicht erreichbar für die Baumwurzeln. Das Ertragsniveau lag bei der ersten Ernte im Mittel bei 1 bis $3 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für alle Prüfglieder. Die zweite Ernte brachte besonders bei der Pappel einen deutlichen Ertragsanstieg auf mittlere Erträge von $15 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; beste Erträge lieferte hier die Sorte Hybride 275 mit $18 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (vgl. Tabelle 8). Bei der Weide lagen die Erträge der zweiten Ernte im Mittel bei $10 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, höchste Erträge erzielte die Weidensorte Tora mit $13 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (vgl. Tabelle 7). Bei der Grau-Erle waren die mittleren Erträge nach der zweiten Ernte auf $6 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und beim Eschenblättrigen Ahorn auf $5 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gestiegen (vgl. Tabelle 9). Die Robinie wurde wegen erhöhter Ausfälle in der 2. Rotation nicht mehr für die Ertragsberechnung berücksichtigt.

Drieschnitz

Die Versuchsfläche Drieschnitz ist charakterisiert durch sandige Böden mit mittleren Humusgehalten (nach Ad-hoc AG Boden, 2005) und Grundwasser in 1 bis 2 m Tiefe unter Flur.

Auf einigen Teilbereichen der Fläche wurde keine ausreichende Anwuchsrate erzielt, sodass die entsprechenden Parzellen nicht in die Ertragsberechnung einbezogen wurden. Auf den vollständigen Parzellen blieben die mittleren Erträge der ersten Ernte nach drei Vegetationsperioden bei Weide und dem Eschenblättrigen Ahorn unter $1 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, bei der Pappel und der Robinie konnten mittlere Erträge von 2 bis $3 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht werden. Mit der zweiten Ernte wurde ein starker Ertragsanstieg bei der Pappel auf $10 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und der Robinie auf $8 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Mittel erreicht. Die Weide blieb mit $4 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in der 2. Rotation unter den Erwartungen und auch der Eschenblättrige Ahorn blieb unter $1 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Höchste Erträge wurden bei der Pappel durch die Sorten AF 2 und Hybride 275 mit $12 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und bei der Weide mit den Sorten 1013 und Sven mit $7 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht (vgl. Tabelle 7, 8 und 9).

Groß Radden

Die Versuchsfläche Groß Radden befand sich auf einem anmoorigen Standort mit relativ hohen Humusgehalten und hohem Grundwasserstand von 0,5 bis 1 m unter Flur. Entsprechend gut sind die Wuchsbedingungen für schnellwachsende Baumarten. Bei der ersten Ernte nach drei Vegetationsperioden konnten hier bei Pappel und Weide mittlere Erträge von $5 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und bei Robinie und Eschenblättrigem Ahorn von $3 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht werden. Deutliche Ertragszuwächse sind mit der zweiten Ernte vor allem bei der Weide mit im Mittel $12 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht worden, bester Klon war Tordis mit $23 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (vgl. Tabelle 7). Bei der Pappel waren die mittleren Erträge mit $9 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (beste Sorten Androscoggin und Max 3 mit $14 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $12 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) nicht ganz so hoch, vor allem sind in der 2. Rotation auch höhere Ausfälle zu verzeichnen. Die Ursache hierfür lag wahrscheinlich in der starken Konkurrenz durch eine massive Begleitvegetation auf der Fläche. Die Robinie und der Eschenblättrige Ahorn konnten den mittleren Ertrag bei der zweiten Ernte auf $5 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ steigern (vgl. Tabelle 9).

Kummerow 1

Die Versuchsfläche Kummerow 1 befand sich in der Welse-Niederung und war durch arme Sande und relativ hoch anstehendes Grundwasser (1,5 bis 1,8 m unter Flur) gekennzeichnet. Auf dieser Versuchsfläche wurden Pappeln und Weiden abweichend von der Methodik bei den übrigen

Standorten als Ruten gepflanzt, um einen guten Anwuchserfolg zu erreichen, da der sandige Boden nur über eine geringe Wasserspeicherkapazität verfügt. Dabei wurden mit Hilfe eines Erdbohrers 80 cm lange, einjährige Pflanzruten 60 cm tief gepflanzt. Auf dieser Fläche konnten nur relativ geringe Erträge realisiert werden (vgl. Tabelle 7 und 8). Die Unterschiede zwischen den Weiden und Pappelsorten sind nur marginal. So wurden in der 1. Rotation mittlere Erträge von 1 bis $2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und in der 2. Rotation mittlere Erträge von 2 bis $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht. Höchste Erträge wurden auf dieser Fläche bei den Pappeln durch die Sorte AF 2 mit $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und bei der Weide durch die Sorte Sprint mit $4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht. Obwohl bereits vor der ersten Ernte einzelne Bäume ein deutlich besseres Wachstum zeigten und gefolgert werden konnte, dass diese bereits das Grundwasser erreicht haben und somit in ihrem Wachstum nicht mehr durch die geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens limitiert sind, blieb dieser Effekt auch in der 2. Rotation auf einzelne Bäume beschränkt und schlug sich nicht in den Flächenerträgen nieder. Durch das Auftreten von Trockenheitsschäden während anhaltender Dürrephasen muss davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Bäume auch mit 6-jährigem Wurzelsystem noch keinen Zugang zum Grundwasser erreicht hatte.

Kummerow 2

Kummerow 2 bietet im Vergleich zu Kummerow 1 durch erhöhte Humusgehalte (h3 – mittel humos), höhere Schluffgehalte und erreichbares Grundwasser in ca. 1,5m Tiefe gute Voraussetzungen für den Anbau von schnellwachsenden Gehölzen im Kurzumtrieb. Durch die intensive mechanische Pflege während der Etablierungsphase sind mit der ersten Ernte bei Pappel und Weide mittlere Erträge von $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, mit der zweiten Ernte von $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erzielt worden. Bei der zweiten Ernte waren die besten Pappelsorten Max 1, Max 3, Max 4 und Hybride 275 mit 9 bis $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die ertragsstärksten Weidensorten Sven und Tora mit $13 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (vgl. Tabelle 7 und 8). Robinie, Grau-Erle und Eschenblättriger Ahorn blieben mit mittleren Erträgen von 2 bis $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei der ersten Ernte und 4 bis $7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei der zweiten Ernte deutlich unter den Erträgen von Weide und Pappel, wobei beim Eschenblättrigen Ahorn eine deutliche Ertragssteigerung von 2 auf $7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ beobachtet werden konnte (vgl. Tabelle 9).

Kummerow 3

Kummerow 3 lag zwischen den beiden Versuchsflächen Kummerow 1 und Kummerow 2. Der Standort kann als Übergangsbereich zwischen diesen beiden Flächen angesehen werden. Dieser Übergang ließ sich am Wachstum der Gehölze nachvollziehen. So war das Wachstum in der südlichen Hälfte des Versuches, die an Kummerow 2 angrenzt, deutlich besser als in der nördlichen Hälfte. Die Bekämpfung der Konkurrenzvegetation im Etablierungsjahr erfolgte rein mechanisch. Sie war allerdings nicht ausreichend intensiv, sodass ein konstanter Bewuchs mit Bodenvegetation vorhanden war. Die Erträge auf dieser Fläche lagen bei Pappel, Weide und Robinie bei der ersten Ernte im Mittel bei 1 bis

$2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, beim Eschenblättrigen Ahorn unter $1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Mit der zweiten Ernte wurden bei der Pappel mittlere Erträge von $6 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, bei der Weide $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, bei der Robinie $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und beim Eschenblättrigen Ahorn $1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erzielt (vgl. Tabelle 7, 8 und 9). Auf dieser Fläche konnten höchste Erträge bei der Pappel durch die Sorte Androcoggin ($8 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und bei der Weide durch die Sorte Tora ($9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) erreicht werden.

Lindhorst

Lindhorst weist aufgrund hoher Anteile an Lehm und stark lehmigen Sand für Brandenburger Verhältnisse vergleichsweise hohe Ackerzahlen auf. Dies spiegelte sich allerdings nicht in den relativ niedrigen Erträgen der ersten Ernte (1 bis $2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Mittel bei Pappel, Weide und Grau-Erle) wider. Dies ist wohl insbesondere auf das extensive Pflegemanagement während der Etablierungsphase im Jahr 2006 zurückzuführen. Umso deutlicher fiel der Ertragsanstieg in der 2. Rotation aus. Hier konnten bei der Pappel mittlere Erträge von $16 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und bei der Weide von $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht werden (vgl. Tabelle 7 und 8). Höchste Erträge konnten bei Pappel durch die Sorten Hybride 275 ($22 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Max 1 ($18 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) sowie bei Weide durch die Sorte Tordis ($16 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) erzielt werden. Bei der Grau-Erle traten relativ starke Pflanzenausfälle auf. Auf einer vollständigen Parzelle konnte allerdings ein dGZ von $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ berechnet werden. Die Robinie konnte aufgrund stärkerer Ausfälle in der 2. Rotation nicht mehr für die Ertragsberechnung berücksichtigt werden. Bei dem Eschenblättrigen Ahorn war in der 2. Rotation nur ein geringer Ertragsanstieg möglich. Der Ertrag dieser Art blieb somit im Mittel bei $1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (vgl. Tabelle 9).

Zeischa

Der Standort bei Zeischa ist charakterisiert durch arme Sande und Grundwassernähe, in einem Teilbereich sind auch erhöhte Humusgehalte von bis zu 3,1 % und zeitweilig höher anstehendes Grundwasser bis etwa 50 cm unter Flur zu verzeichnen. Bei der ersten Ernte lagen die mittleren Erträge aller Prüfglieder bei 1 bis $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, wobei Pappel, Robinie und Grau-Erle im Schnitt bessere Ergebnisse lieferte als Weide und Eschenblättriger Ahorn. Mit der zweiten Ernte konnten sich zwar die Erträge etwa verdoppeln bis verdreifachen, blieben aber trotzdem aufgrund der geringen Standortgüte auf einem relativ geringem Niveau von im Mittel $4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei der Weide, $6 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei der Pappel, $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei der Robinie, $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei der Grau-Erle und $2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ beim Eschenblättrigen Ahorn (vgl. Tabelle 7, 8 und 9). Beste Pappel- und Weidenklone auf diesem Standort waren Weser 6 und Tora mit $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

3.5 Ertragsstärkste Pappel- und Weidenklone auf den einzelnen Versuchsflächen

In den Tabellen 10 und 11 sind die jeweils vier ertragsstärksten Pappel- und Weidenklone pro Versuchsfläche aufgelistet. Zudem wurde der durchschnittliche Gesamtzuwachs dieser vier Klone auf der jeweiligen Fläche berechnet. Einer der

ertragsstärksten Pappelklone auf allen Versuchsflächen – bis auf Groß Radden, hier ausgefallen – war Hybride 275 (vgl. Tabelle 10). Bis auf den Standort Kummerow 1 können zur Gruppe der ertragsstarken Klone auch die Max-Klone gezählt werden. Die Balsampappelhybride Weser 6 hat auf einigen Versuchsflächen relativ hohe Erträge aufgewiesen, ist aber auch durch relativ hohe Pflanzenausfälle im Pflanzjahr auf allen Versuchsflächen aufgefallen. Die Schwarzpappelhybriden AF 2 und Monviso sind zwar auch als ertragsstarke Klone in der Tabelle aufgeführt, können aber aufgrund ihrer verbreitet beobachteten Anfälligkeit gegenüber dem Rindenbrandpilz (*Dothichiza populea* Sacc. et Briard) ausdrücklich nicht für einen Anbau auf Standorten in Brandenburg empfohlen werden, da hier das Anbaurisiko zu hoch ist.

Tabelle 10
Pappelklone mit überdurchschnittlichem Wachstum

Versuchsfläche	Pappelklone mit überdurchschnittlichem Wachstum	mittlerer dGZ (t _{stro} ha ⁻¹ a ⁻¹)
Cahnsdorf	Hybride 275, Monviso, AF 2, Max 3	14,0
Drieschnitz	AF 2, Hybride 275, Max 4, Max 3	10,9
Groß Radden 2	Androscoggin, Max 3, Max 4, Monviso	10,9
Kummerow 1	AF 2, Hybride 275, Weser 6, Androscoggin	3,6
Kummerow 2	Max 4, Max 3, Max 1, Hybride 275	9,9
Kummerow 3	Androscoggin, Max 4, Max 1, Hybride 275	7,1
Lindhorst	Hybride 275, Max 1, Max 3, Max 4	18,4
Zeischa	Weser 6, Max 1, Hybride 275, Max 3	8,3

Bei den Weidensorten ragen insbesondere die schwedischen Züchtungen Tora, Tordis, Inger und Sven heraus. Die polnische Züchtung 1013 kann das Spektrum durchaus erweitern (vgl. Tabelle 11), da auch dieser Klon noch relativ hohe Zuwächse erzielt, es wurde jedoch auf nicht eingezäunten Flächen beobachtet, dass diese Sorte selektiv stärker vom Wild verbissen wird.

Tabelle 11
Weidenklone mit überdurchschnittlichem Wachstum

Versuchsfläche	Weiden mit überdurchschnittlichem Wachstum	mittlerer dGZ (t _{stro} ha ⁻¹ a ⁻¹)
Cahnsdorf	Tora, Sven, 1013, Inger	12,2
Drieschnitz	Sven, 1013, Tora, Sprint	6,2
Groß Radden 2	Tordis, Sven, Inger, 1156	17,4
Kummerow 1	Sprint, Tora, Tordis, 1056	3,6
Kummerow 2	Sven, Tora, 1053, Tordis	12,0
Kummerow 3	Tora, 1013, S 182, Tordis	6,6
Lindhorst	Tordis, 1033, Tora, Inger	13,2
Zeischa	Tora, Tordis, Sven, Turbo	6,1

3.5.1 Vergleich der Wuchseistung aller Prüfglieder

Die zweiseitigen Signifikanzen des Tests auf Binomialverteilung schwanken von 0,01 bis 1.

Abbildung 3 zeigt den Anteil der als signifikant eingestuft Ergebnisse des Tests auf Binomialverteilung der

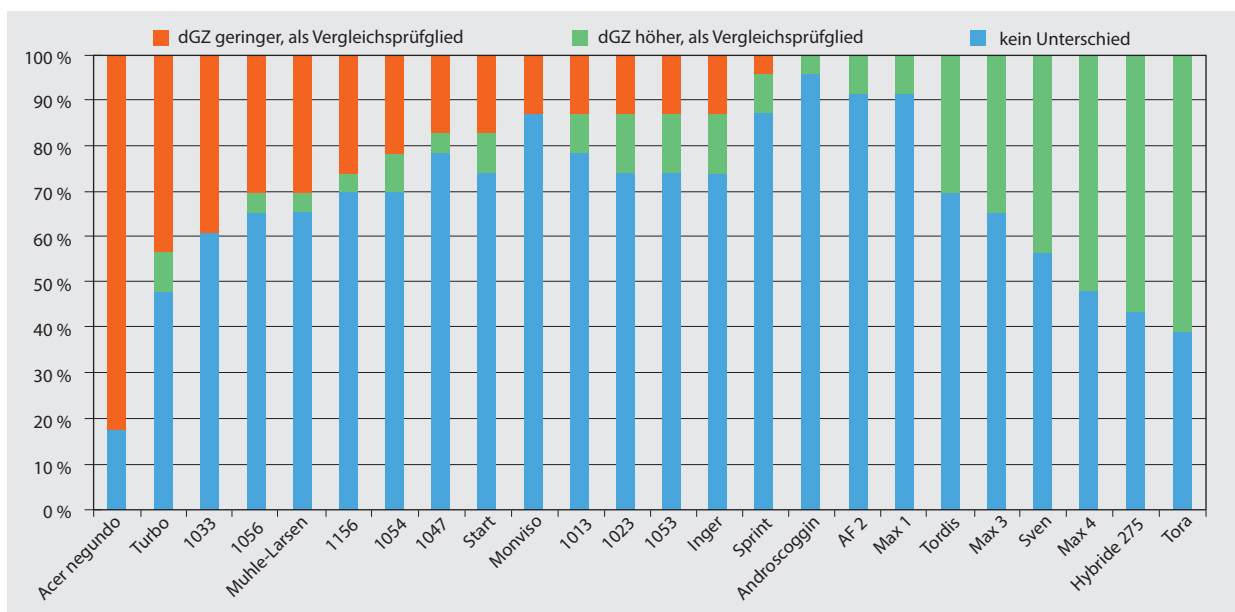


Abbildung 3
Anteile der als signifikant eingestuft Ergebnisse des Tests auf Binomialverteilung der einzelnen getesteten Prüfglieder an der Gesamtzahl der Paarvergleiche mit dem jeweiligen Prüfglied

einzelnen getesteten Prüfglieder an der Gesamtzahl der Vergleiche mit dem jeweiligen Prüfglied. 100 % der Fälle entsprechen 23 Paarvergleichen. Demnach konnten z. B. für den Pappelklon Hybride 275 in 57 % der Paarvergleiche signifikant höhere Erträge belegt werden als für die jeweiligen Vergleichspartner. Der Weidenklon Tora hatte beispielsweise in 61 % der Vergleiche signifikant höhere Erträge. *Acer negundo* war dem Vergleichs-Prüfglied dagegen in 83 % der Fälle signifikant unterlegen. Tora, Hybride 275, Max 4, Sven, Max 3 und Tordis sind demzufolge als die ertragstärksten schnellwachsenden Baumarten unter den in BIODEM erfassten Brandenburger Standortsverhältnissen und angewandten pflanzenbaulichen Maßnahmen einzustufen.

4 Diskussion

Auffällig bei den dargestellten Versuchsergebnissen sind die hohen Ertragsunterschiede zwischen der ersten und zweiten Ernte, vor allem bei den relativ ertragsstarken Standorten wie Lindhorst oder Cahnsdorf. Durch die anfangs meist extensiv betriebene Unkrautbekämpfung (rein mechanisch, keine Herbizide) in BIODEM wurde das Standortspotenzial mit den Versuchen dieser 1. Phase wahrscheinlich nicht voll ausgeschöpft und die Etablierung der Pflanzen am Standort benötigte längere Zeit. Zwar werden die Überlebensraten von BIODEM in der Höhe und den Unterschieden zwischen Pappeln und Weiden auch durch die Untersuchungen von Amthauer Gallardo (2014) bestätigt, nachfolgende Sortenversuche der HNEE, die unter Praxisbedingungen ausgeführt wurden (ohne Zäunung), konnten aber zeigen, dass die Überlebensraten bei Weiden und Pappeln auch unter den ungünstigen Niederschlagsverhältnissen in Brandenburg mit zum Teil ausgeprägten Frühjahrstrockenheiten bei

gelungener Pflege deutlich über 90 % liegen. Berücksichtigt man, dass in die ertragskundlichen Auswertungen von BIODEM alle Parzellen mit einer Anwuchsrate von mindestens 75 % einbezogen wurden, so kann davon ausgegangen werden, dass bei einer optimalen Bestandesbegründung und somit höheren Anwuchsraten eine bessere Flächenausnutzung (Bestandesschluss) zum Zeitpunkt der Ernte erreicht wird und somit gerade für schwächere Standorte höhere Erträge als im Projekt erzielt möglich sein sollten. Die mittleren Werte der jeweils vier besten Klone bei den Weiden und Pappeln, die in den Tabellen 10 und 11 aufgelistet sind, dürften auch vor dem Hintergrund der Ertragsoptimierung durch neue Klone aus aktuellen Züchtungsprogrammen daher eher konservative Schätzwerte für die möglichen Dendromasseerträge bei Weide und Pappel auf Brandenburger landwirtschaftlichen Standorten sein. Für Böden mit einer Ackerzahl von über 20 kann unter Brandenburger Standortsverhältnissen bei Weiden mit einem Ertrag von etwa 6 bis 17 $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Sorten Tora, Tordis und Sven in Mischung und bei Pappeln mit einem Ertrag von etwa 7 bis 18 $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die Sorten Hybride 275 und Max in Mischung gerechnet werden. Diese Pappel- und Weidensorten haben sich unter Brandenburger Verhältnissen für das gesamte untersuchte Standortsspektrum als die ertragstärksten Sorten erwiesen. Bei der Weide kann ggf. Inger und bei der Pappel ggf. Androscoggin das Sortenspektrum bei vergleichbaren Erträgen erweitern.

Da die Niederschläge im Land Brandenburg nur geringen regionalen Schwankungen unterliegen, liegt die Eignung des Standorts für den Agrarholzanbau hauptsächlich in den Bodenkennwerten und der Verfügbarkeit von Grundwasser begründet. Höchste Erträge von 14 bis 18 $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ wurden bei der zweiten Ernte für die vier ertragstärksten Sorten auf den Flächen Lindhorst und



Abbildung 4

Links: im Herbst 2015 ausgegrabener Wurzelstock von einer Pappel (Klon Max 3) von der Versuchsfläche Kummerow 1. Die Pflanzung dieser Pappel erfolgt in 2008, als Steckrute bis in 60 cm Bodentiefe. Der Baum hat tiefgehende Wurzeln mit Anschluss an das Grundwasser ausgebildet und hat sich demzufolge relativ gut entwickelt.

Rechts: Gleichaltriger Wurzelstock vom Pappelklon Hybride 275 von Kummerow 1. Dieser Baum hat keine tiefgehenden Wurzelstränge ausgebildet, hatte keinen Anschluss ans Grundwasser und hat sich demzufolge relativ schlecht entwickelt.



Abbildung 5

Einjähriger Austrieb von Bäumen auf der Versuchsfläche Kummerow 1. Das Wurzelsystem ist vierjährig. Der vergleichsweise kräftige Wuchs des einzelnen Baumes (Max-Klon) ist sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass dieser Baum Anschluss an das relativ hoch anstehende Grundwasser gefunden hat. Die übrigen, schlecht wüchsigen Bäume sind dagegen wahrscheinlich nicht ans Grundwasser angeschlossen.

Cahnsdorf mit der Pappel erreicht. Diese Flächen verfügen nicht über Grundwasseranschluss in Wurzeltiefe der Bäume, dafür aber über bessere Böden mit Lehmantennen. Gute Erträge von durchschnittlich 10 bis 11 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die vier ertragsstärksten Sorten konnten bei der zweiten Ernte auf den Flächen Kummerow 2, Groß Radden 2 und Drieschnitz erreicht werden. Diese Flächen sind gekennzeichnet durch leicht erhöhte Humusgehalte und Grundwassereinfluss. Mittlere Dendromassen um 7 bis 8 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Mittel für die ertragsstärksten Pappeln wurden in der 2. Rotation auf den Flächen Zeischa und Kummerow 3 geerntet. Diese Flächen sind gekennzeichnet durch sandige Böden mit geringem bis mittlerem Humusgehalt. Das Grundwasser steht zwar schon in nur 1,5 bis 2 m Tiefe an, es konnte diese ungünstigen Standortsvoraussetzungen im Oberboden aber bisher nicht kompensieren. Diese Flächen sind mit den bisherigen Ergebnissen als grenzwertig bis ungeeignet für den Agrarholzanbau anzusehen. Evtl. lässt sich eine Steigerung der Erträge durch optimierte Anbauverfahren (z. B. Bodenverbesserung, Sortenzüchtung) oder durch eine längere Etablierung am Standort erreichen. Ein solches Anbauverfahren wurde auf der Fläche Kummerow 1 mit der Verwendung von Setzruten getestet, führte aber nicht zum Erfolg. Trotz der Etablierung mit Setzruten konnte das Grundwasser auch hier nur vereinzelt von den Pappeln erreicht werden, die ein Pfahlwurzelsystem ausgebildet hatten (vgl. Abbildung 4). Der

überwiegende Teil der Bäume hat lediglich ein weitgehend laterales Wurzelsystem angelegt, obwohl das Grundwasser in nur ca. 1,5 m Tiefe erreichbar war. Oberirdisch konnte dies durch deutliche Wuchsunterschiede zwischen den Bäumen mit bzw. ohne Anschluss an das Grundwasser wahrgenommen werden (vgl. Abbildung 5).

4.1 Weiden erträge im Vergleich

Wie im bundesweiten Vergleich, weisen die Weiden- und Pappelklone auch in BIODEM eine hohe Spannweite der dGZ auf. Wenn man Behandlungseinflüsse außer Acht lässt, muss dies auf Standortunterschiede zurückgeführt werden, da es sich beim Pflanzgut um Klonmaterial handelt. Im Vergleich zu anderen Ergebnissen in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen sind die Erträge der BIODEM-Versuche als mittel bis hoch einzuordnen. Ein direkter Vergleich ist aber schwierig, da Unterschiede bei den zur Untersuchung stehenden Klonen, den gewählten Pflanzverbänden und der Umtriebszeit bestehen.

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen mit Weiden in Kurzumtrieb aufgeführt. Weitere Publikationen finden sich bei Amthauer Gallardo (2014).

Die Erträge der Weiden weisen auf den verschiedenen Standorten in Deutschland eine hohe Spannweite auf. Für Standorte mit einer Ackerzahl ab etwa 30 schwanken die

Tabelle 12

Erträge von Weidenklonen im Kurzumtrieb in vergleichbaren Untersuchungen von Dritten

Autor	Standort	Weidenklone	Ertrag (dGZ)	Bemerkungen
Biertümpfel et al. (2009)	Dornburg (Thüringen), Löss, Ackerzahl ca. 60	722/51	3,6 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	dreijährige Rotation
Biertümpfel et al. (2012)	Dornburg (Thüringen), Löss, Ackerzahl ca. 60	verschiedene	7,3 bis 8 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹	13.000 Pflanzen ha ⁻¹ , dreijährige Rotation
Biertümpfel und Rudel (2014)	Bad Salzung, Ackerzahl 32	Tora	16,2 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	13.000 Pflanzen ha ⁻¹ , dreijährige Rotation, relativ hoher Grundwasserstand
Boelcke (2006, 2007)	Gülzow (Mecklenburg-Vor- pommern), lehmiger Sand, Ackerzahl 36	verschiedene	4,7 bis 13,2 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	13.333 Pflanzen ha ⁻¹ , dreijährige Rotation
Grunert und Hirsch (2011)	Krummenhennersdorf (Sachsen), sandig-lehmiger Lössstandort, Ackerzahl 45	Sven, Tora, Tordis	18,4 und 15,1 sowie 19,2 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	
Hofmann (1999)	Canstein (Hessen), sandiger Lehm	verschiedene	3,9 bis 6,8 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹	8.334 Pflanzen ha ⁻¹ , dreijährige Rotation
Scholz et al. (2004)	Potsdam-Bornim (Brandenburg), schwach- lehmiger Sand, Ackerzahl 28 bis 34	83/21/12	dGZ von etwa 5 bis 7,5 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	12.000 Pflanzen ha ⁻¹ , Gras-Un- tersaat zweijährige Rotation, vier Stufen von N-Düngung
Schwarze und Röhricht (2006)	Kalkreuth (Sachsen), stark sandiger Lehm, Ackerzahl 49	Zieverich	17,4 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	17.778 Bäume ha ⁻¹
Stiehm et al. (2015)	BIODEM-Standort Kummerow (Brandenburg), Sand, Ackerzahl 12	Inger, Tordis	2 bzw. 3 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha ⁻¹
Stiehm et al. (2015)	Potsdam-Bornim, schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 35	Inger, Tordis	16 bzw. 17 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha ⁻¹
Stiehm et al. (2015)	Gülzow, lehmiger Sand, Ackerzahl 36	Tordis, Inger	6 bzw. 7 t _{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹ , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha ⁻¹

Erträge zwischen 6 bis 19 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ ab der 2. Rotationsperiode. Sie liegen damit in der gleichen Größenordnung wie die Pappelerträge auf deutschen Standorten. Auch Amthauer Gallardo (2014) kommt bei der Auswertung der Literatur und der eigenen Versuche zu dem Ergebnis, dass die dGZ Werte der Weiden und Pappeln keinen signifikanten Unterschied zeigen.

Die höchsten Erträge werden im Allgemeinen von den schwedischen Sorten und der Sorte Zieverich erreicht (Bärwolf et al., 2012). Eine direkte Abhängigkeit von der Ackerzahl lässt sich nicht erkennen. Die Erträge der jeweils vier wüchsigsten Weidensorten in BIODEM liegen mit Werten von ca. 6 bis 17 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ innerhalb der Spannbreite der Daten der Tabelle 12 für Standorte ab Ackerzahl von ca. 30. Die höchsten Erträge mit im Mittel 17,4 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ wurden in BIODEM mit den Sorten Tordis, Sven, Inger, 1156 auf dem humosen und grundwassernahen Standort Groß Radde erzielt.

4.2 Pappelerträge im Vergleich

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen mit Pappeln im Kurzumtrieb aufgeführt. Weitere Publikationen finden sich bei Amthauer Gallardo (2014).

Wie bei den Weiden liegen auch die dGZ für die Pappeln auf Standorten in der Bundesrepublik überwiegend in einem

Bereich von etwa 6 bis 18 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ für Verbände über 10.000 Pflanzen. Bärwolf et al. (2012) empfehlen die zugelassenen Sorten Hybride 275 (Syn. NE 42), Max (Mehrklonsorte), Matrix 11, 24 und 49, Trichobel und Muhle Larsen für die Praxis. Zu den nachhaltig ertragstärksten Sorten zählen in BIODEM die Max-Klone, Hybride 275, Androscoggin und Weser 6, wobei für die Praxis zu bedenken ist, dass Weser 6 noch nicht zu den zugelassenen Sorten nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) gehört. Die Schwarzpappelklone AF2 und Monviso, die in BIODEM eingesetzt wurden, gehörten auf einigen Standorten in Brandenburg ebenfalls zu den ertragstärksten Sorten (s. Tabelle 10), können aber aufgrund ihrer beobachteten Anfälligkeit gegenüber dem Rindenbrandpilz (*Dothichiza populea* Sacc. et Briard) ausdrücklich nicht für einen Anbau auf Standorten in Brandenburg empfohlen werden. Die höchsten Erträge mit im Mittel 18,4 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ wurden in BIODEM mit den Sorten Hybride 275, Max 1, Max 3, Max 4 auf dem lehmigen aber grundwasserfernen Standort Lindhorst erzielt.

4.3 Sonstige Baumarten

Grünwald (2005) konnte an Robinien, die auf einem Kippenstandort im Tagebau Jänschwalde bei Cottbus in einer dreijährigen Rotation bewirtschaftet wurden, zum Ende der 2. Rotation einen dGZ von etwa 6 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ nachweisen.

Tabelle 13

Erträge von Pappelklonen im Kurzumtrieb in vergleichbaren Untersuchungen von Dritten

Autor	Standort	Pappelklone	Ertrag (dGZ)	Bemerkungen
Biertümpfel et al. (2012)	Dornburg (Thüringen), Löss, Ackerzahl ca. 60	verschiedene	6,3 bis 16 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$	11.111 Pflanzen ha^{-1} dreijährige Rotation
Boelcke (2006, 2007)	Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern), lehmiger Sand, Ackerzahl 36	Max-Klone, Hybride 275	15 bis 18 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ bzw. 25 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ für die zweite Rotation	13.333 Pflanzen ha^{-1} , dreijährige Rotation
Stiehm et al. (2015)	Kummerow (Brandenburg), Sand, Ackerzahl 12	AF 2, Max 1, Hybride 275	1,5, 3 bzw 3,4 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$, für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha^{-1}
Stiehm et al. (2015)	Potsdam-Bornim, schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 35	Max 1, Hybride 275, AF 2	11,5, 12,6 bzw. 13,5 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$, für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha^{-1}
Scholz et al. (2004)	Potsdam-Bornim (Brandenburg), schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 28 bis 34	Hybride 275, Japan 105 (syn. Max)	ca. 4,8 bis ca. 7,6 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ bzw. ca. 10,4 bis 11,2 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ für die zweite Rotation	12.000 Pflanzen ha^{-1} , Gras-Untersaat zweijährige Rotation, vier Stufen von N-Düngung
Stiehm et al. (2015)	Gülzow, lehmiger Sand, Ackerzahl 36	AF 2, Hybride 275, Max 1	5,4, 5,8 bzw. 9,0 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$, für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha^{-1}
Grunert und Hirsch (2011)	Krummenhennersdorf (Sachsen), sandig-lehmiger Lössstandort, Ackerzahl 45	Weser 6, Max 3, Hybride 275	13,3, 17,0 bzw. 18,4 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$, für die zweite Rotation	11.800 Pflanzen ha^{-1}
Hofmann (1999)	Canstein	verschiedene	3,1 bis 7,5 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$	8.334 Pflanzen ha^{-1} dreijährige Rotation

Die Anlage wurde mit 10.929 Bäumen ha^{-1} in einer Doppelreihe angepflanzt. Biertümpfel et al. (2009) berichten für den Lössstandort Dornburg, mit einer Ackerzahl von durchschnittlich 60, für die Robinie von bis zu 14 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ im 5-jährigen Umtrieb mit 6.900 Bäumen pro ha nach der 3. Rotation. Dabei trat aber bereits nach der 2. Rotation verstärkt Wurzelbrut auf, wodurch mechanische Erntearbeiten stark erschwert werden. Von Wurzelbrut und geringen Ertragsleistungen von durchschnittlich 4 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ (Stockausschlag und Wurzelbrut) berichten auch Engel und Knoche (2011) für Brandenburger Waldstandorte. Wurzelbrut und die im Allgemeinen schwachen Ertragsleistungen lassen die Robinie bis auf Extremstandorte, wie Bergbaufolgelandschaften (Kanzler et al., 2014), als wenig geeignet für die Dendromasseproduktion auf Brandenburger landwirtschaftlichen Standorten erscheinen.

Auch im Rahmen von BIODEM konnte die Robinie nicht überzeugen. Als bewurzelte Pflanzen verlangen sie bei der Pflanzung größere Sorgfalt als die Stechhölzer der Pappeln und Weiden, damit es nicht zu größeren Ausfällen kommt. Die Erträge der Robinie konnten lediglich in Zeischa und Drieschnitz die mittleren Werte aller Weiden, also auch der schwachwüchsigen Sorten, erreichen. Robinie, Grau-Erle und Eschenblättriger Ahorn können daher für die Dendromasseproduktion auf landwirtschaftlichen Standorten in Brandenburg ab einer Ackerzahl von 20 nicht empfohlen werden.

5 Schlussfolgerungen für die Praxis

Mit Kurzumtriebsplantagen sind auf Brandenburger Standorten nach der Etablierungsphase (ab dem zweiten Umtrieb) mit den bisher zur Verfügung stehenden Pappel- und Weidensorten Erträge deutlich über 10 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ möglich. Die Beseitigung der Begleitvegetation in der Etablierungsphase von Kurzumtriebsplantagen hat großen Einfluss auf die Überlebensrate und den Ertrag der Gehölze, insbesondere in der 1. Rotation. Die Erfahrungen in BIODEM haben gezeigt, dass bei optimaler Pflege 6-wöchige Frühjahrs-trockenheiten nach der Pflanzung auch ohne Bewässerung überstanden werden können, während schlechte Pflege auch bei normalem Witterungsverlauf zu einem Totalausfall der Pflanzung bzw. zu dauerhaften Ertragseinbußen führen kann. Extensiv gepflegte Plantagen auf Standorten mit hoher Bodengüte können das Ertragspotenzial meist erst in den Folgerotationen erschließen.

Die Weide überzeugt bei den Versuchen durch hohe Überlebensraten auch bei mäßiger Pflege und insbesondere die schwedischen Züchtungen Tora, Tordis, Inger und Sven auch durch hohe Erträge. Wuchsvorteile gegenüber der Pappel hat die Weide auf humusreichen Standorten mit hoch anstehendem Grundwasser (Versuchsfläche Groß Radde).

Die Pappel konnte auf den Standorten mit höheren Schluff- und Tonanteilen und somit besserer Bodengüte

(Lindhorst und Cahnsdorf) im zweiten Umtrieb höchste Erträge liefern. Insbesondere die Klone Hybride 275, Max 3 und Max 4 konnten durch hohe Zuwachsleistungen überzeugen. Zudem konnten Hybride 275 und die drei Max-Klone ihre Eignung für den Anbau im Kurzumtrieb auch durch hohe Überlebensraten beweisen. Hingegen wurden im Vergleich dazu bei dem Klon Weser 6 starke Ausfälle festgestellt.

Robinien und Grau-Erle liegen mit den Erträgen deutlich unter den Erträgen von Weide und Pappel. Für die Eignung dieser Baumarten kommen aufgrund der Verwendung von ein- oder zweijährigen Sämlingen als Pflanzgut, deutlich höhere Preise für Pflanzen und Pflanzung als bei der Verwendung von Steckhölzern einschränkend hinzu. Somit können diese Baumarten nur für den Anbau auf Sonderstandorten (trocken oder nass) empfohlen werden, oder – im Falle der Grau-Erle – zu einer weiteren Diversifizierung der Bestände unter eher naturschutzfachlichen Aspekten genutzt werden. Möglich wäre darüber hinaus ein Anbau mit geringen Stückzahlen im Langumtrieb, um die Kosten zu reduzieren. Weiterhin war sowohl bei der Robinie als auch bei der Grau-Erle auffällig, dass die Überlebensrate zwischen den Pflanzjahren deutlich schwankt, wofür Unterschiede bei der Qualität der Pflanzware in Frage kommen könnten. Der Eschenblättrige Ahorn kann selbst mit den Erträgen von Robinie und Grau-Erle nicht konkurrieren, erweist sich aber sehr robust in der Anpflanzung, da er auch auf den aufgegebenen Versuchsflächen hohe Anwuchsraten erreicht hat. Da Saatversuche im Projekt gezeigt haben, dass Ahorn sehr gut über Saatgut vermehrt werden kann, wird das Potenzial dieser Baumart in der Reduzierung der Begründungskosten über alternative Etablierungsverfahren gesehen. Allerdings ist ein großflächiger Anbau dieser invasiven und nicht heimischen Baumart kritisch zu sehen.

Danksagung

Das Projekt wurde von der PCK Raffinerie GmbH Schwedt, der Volkswagen AG, der Vattenfall Wärme AG und dem Land Brandenburg (EFRE) finanziert. Großer Dank muss allen beteiligten Landwirtschaftsbetrieben und Flächeneigentümern entgegengebracht werden, denn sie stellten Ihr Flächeneigentum der HNEE unentgeltlich zur Nutzung als Versuchsfläche zur Verfügung. Dank gilt auch Prof. Dr. Alfred Schulz, dessen fachliche Unterstützung bei der Konzeption und Umsetzung des statistischen Auswertungsansatzes sehr hilfreich war.

Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart : Schweizerbart, 438 p
- Amthauer Gallardo D (2014) Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenklonen in Kurzumtriebsplantagen [online]. Zu finden in <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/14467/AmthauerGallardo_ges.pdf> [zitiert am 15.08.2017]
- Bärwolff M, Hansen H, Hofmann M, Setzer F (2012) Energieholz aus der Landwirtschaft [online]. Zu finden in <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/e/n/energieholz_dina5_web_4.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Biertümpfel A, Rudel H, Werner A, Vetter A (2009) 15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen [online]. Zu finden in <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/ehol1009.pdf>> [zitiert am 14.08.2017]
- Biertümpfel A, Graf T, Vetter A (2012) Ölfrüchte und Nachwachsende Rohstoffe : Feldversuchsbericht 2010 und 2011 [online]. Zu finden in <http://www.tll.de/ainfo/archiv/fvb_0312.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Biertümpfel A, Rudel H (2014) Etablierung von Energieholzplantagen : Standort- und Sortenwahl, Pflege sowie Versuchsergebnisse unter Thüringer Standortbedingungen [online]. Zu finden in <http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/biot0214.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Boelcke B (2006) Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden spec. in Kurzumtriebsplantagen [online]. Zu finden in <http://www.agrowood.de/download/06_Boelcke_Weide_in_KUP.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Boelcke B (2007) Zur Sortenfrage im Anbauverfahren schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb unter besonderer Beachtung der Pappeln [online]. Zu finden in <<http://www.landwirtschaft-mv.de/Fachinformationen/Nawaro/?id=62&processor=processor.sa.lfaforenbeitrag>> [zitiert am 14.08.2017]
- Engel J, Knoche D (2011) Energie aus dem Stock : zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb [online]. Zu finden in <http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lfe_robinie_energieholz/lfe_robinie_energieholz_originalartikel.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- ETI - Brandenburgische Energie Technologie Initiative (2013) Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen : Leitfaden für Produzenten und Nutzer im Land Brandenburg [online]. Zu finden in <http://www.eti-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/downloads_2013/KUP_Leitfaden_2013_lowres.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Grünwald H (2005) Anbau schnellwachsender Gehölze für die energetische Verwertung in einem Alley-Cropping-System auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere. Cottbus : Brandenburg Techn Univ, 124 p, Cottbuser Schr Bodenschutz Rekultivierung 28
- Grunert M, Hirsch M (2011) Kurzumtriebsplantagen : Stand in Sachsen und Erfahrungen im LfJULG [online]. Zu finden in <http://www.energieholz-portal.de/files/03_-_grunert_-_kup_in_sachsen.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Gutachterausschuss Forstliche Analytik (ed) (2005) Handbuch Forstliche Analytik : eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich ; Grundwerk 2005 und spätere Ergänzungen. Berlin : BMELV
- Hofmann M (1999) Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände. Schr Nachwachs Rohstoffe 13:151-239
- INVEKOS (2015) Zentrale InVeKoS Datenbank (ZID) [online]. Zu finden in <<https://www.zi-daten.de/>> [zitiert am 23.08.2017]
- Kanzler M, Böhm C, Quinkenstein A, Steinke C, Landgraf D (2014) Wuchsleistung der Robinie auf Lausitzer Rekultivierungsflächen. AFZ Wald 5:35-37
- Mantau U, Saal U, Prins K, Steierer F, Lindner M, Verkerk H, Eggers J, Leek N, Oldenburger J, Asikainen A, Anttila P (2010) EUwood : real potential for changes in growth and use of EU forests [online]. Zu finden in <http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/187000/1_187099_DV_Realpotential-changes-growth_EN.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- MMK - Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung : 1:100000 ; 1976 bis 1980. Müncheberg : Forschungszentrum Bodenfruchtbarkeit
- Murach D, Knur L, Schultze M (2008) DENDROM : zukunftsrohstoff Dendromasse ; systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz ; Endbericht. Remagen : Kessel, 504 p
- Röhle H (2009) Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen [online]. Zu finden in <http://sektionertragskunde.fvabw.de/band2009/Tag2009_25.pdf> [zitiert am 14.08.2017]

- Röhle H (2013) Standortleistungsschätzung und Biomasseermittlung in Kurzumtriebsplantagen. *Allg Forst Jagdzeitg* 184 (11/12):237-246
- Scholz V, Hellebrand HJ, Höhn A (2004) Energetische und ökologische Aspekte der Feldholzproduktion. *Bornimer Agrartechn Ber* 35:15-32
- Schwarze H, Röhrich C (2006) Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen [online]. Zu finden in <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/2006_11_07_Fachtagung_Anbau_u_Nutzung_vBaeumen_auf_lw_Flaechen_Vortrag.pdf> [zitiert am 14.08.2017]
- Stiehm C, Hofmann M, Janßen A (2015) Verbundvorhaben ProLoc und FastWood: Forschungsprojekte zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb [online]. Zu finden in <<http://proloc-verbund.com/wp-content/uploads/2015/09/2015-05-12-Pr%C3%A4sentation-Ligna.pdf>> [zitiert am 23.08.2017]
- Thrän D, Edel M, Pfeiffer J, Ponitka J, Rode M, Knispel S (2010) Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung [online]. Zu finden in <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/identifizierung-hemmnisse-loesungsansaetze-reduzierung-nutzungskonkurrenzen.pdf?__blob=publicationFile&v=2> [zitiert am 23.08.2017]
- Verwijst T, Telenius B (1999) Biomass estimation procedures in short rotation forestry. *For Ecol Manage* 121(1-2):137-146