

forstarchiv 88, 47-54
(2017)

DOI 10.4432/0300-
4112-88-47

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:
helmut.grotehusmann@
nw-fva.de

Eingegangen:
16.11.2016

Angenommen:
01.03.2017

Pappelsortenprüfungen im Projekt FastWOOD – Ergebnisse nach 2. Rotation

Poplar variety trials in the project FastWOOD – Results after 2. rotation

HELMUT GROTEHUSMANN¹, CHRISTOPH STIEHM¹, ALWIN JANSSEN¹, KAI-UWE HARTMANN³, JULIA LIST², MANUEL KAROPKA⁴, MATHIAS MOOS¹, MAREK SCHILDBACH³ und RANDOLF SCHIRMER²

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldgenressourcen, Prof.-Oelkers-Straße 6, 34346 Hann. Münden, Deutschland

² Bayerisches Amt für Saat- und Pflanzenzucht, Forstamtsplatz 1, 83317 Teisendorf, Deutschland

³ Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Referat Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung, Bonnewitzer Straße 34, 01796 Pirna OT Graupa, Deutschland

⁴ Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestraße 4, 79100 Freiburg i. Br., Deutschland

Kurzfassung

Die Ergebnisse nach der zweiten dreijährigen Rotation der Pappelklonprüfung 2010 (Serie 603) werden vorgestellt. In dieser Serie werden neben bekannten Altsorten aus älteren Kreuzungen stammende, bislang jedoch ungeprüfte Klone auf Eignung zur Biomasseproduktion im Kurzumtrieb getestet. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, bestehend aus den beiden bekannten Sorten 'Max 1' und 'Hybride 275' wird in der zweiten Rotation ein im Mittel um 24 % höherer Biomassertrag produziert. Die besten Einzelklone übertreffen die Kontrollgruppe um 50 %.

Schlüsselwörter: Schnellwachsende Baumarten, Züchtung, Pappeln, Sortenprüfung, Kurzumtriebsplantagen, Fastwood

Abstract

The results of the second three-year rotation of the poplar variety trial (series 603) established 2010 are presented. In this series well-known existing varieties are tested for biomass production purpose in addition to already existing but previously untested clones. In contrast to a control group consisting of the well-known clones 'Max 1' and 'Hybride 275', the mean biomass production over all clones is 24% higher. The best clones outperform the control group by 50% after 2nd rotation.

Key words: fast growing tree species, breeding, poplar, clonal test, short rotation coppice, Fastwood

Einleitung

Die Produktion von Biomasse mit Kurzumtriebsplantagen ist ein wichtiger Beitrag im Bemühen, den Anteil an erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bis 2020 auf 18 % (Anonymus 2010) zu erhöhen. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) unterstützt über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) als Projektträger das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“. Im Rahmen dieses Programms koordiniert die Abteilung Waldgenressourcen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt zur Untersuchung dieses Themas das Verbundprojekt „FastWOOD“ (Janßen et al. 2012a, b, 2015) und hat in Zusammenarbeit mit Projektpartnern bereits vier Versuchsserien mit noch nicht geprüften Pappel- und Weidenklonen angelegt. In allen vier Serien werden die getesteten Klone mit bereits zugelassenen und bekannten Sorten verglichen. Als Sorte wird nachfolgend jeder nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) oder Sortenschutzgesetz zugelassene und mit einem Namen versehene Klon bezeichnet. Der Begriff Klon wird allgemein für einen vegetativ vermehrten Genotyp verwendet.

Die erste Serie (603) wurde 2010 abgesteckt und jeweils am Ende der ersten und der zweiten Rotation während der Vegetationsruhe in 2012/13 bzw. 2015/16 aufgenommen. Auf Grundlage der gewonnenen Daten wird für einzelne Klone eine Zulassung nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) angestrebt.

Material und Methoden

Auf sechs Ackerflächen wurde im Frühjahr 2010 deutschlandweit (Abbildung 1) nach einheitlichem Muster die erste Serie einer Klonprüfung zur Eignung für Biomasseproduktion angelegt. Die Standortsverteilung sollte möglichst repräsentativ für künftige Kurzumtriebsplantagen sein und geschah bundesweit. Das Versuchsdesign an allen Flächen ist eine unvollständige Blockanlage (Dreisatzgitter) mit 6 Wiederholungen und insgesamt 234 Einzelparzellen. In allen Versuchen besteht eine Einzelparzelle aus 4 Reihen mit 48 Steckhölzern im Verband 1,8 m x 0,5 m. Die Parzellengröße beträgt somit 43,2 m², und jede einzelne Parzelle ist gekennzeichnet. Informationen zu den einzelnen Flächen gibt die Tabelle 1. Weitere Details zum Flächenlayout werden bei Grotehusmann et al. (2015) gegeben.

Diese bislang ungeprüften Klone entstanden aus gelenkten Kreuzungen der Jahre 1985 oder davor bzw. aus freier Abblüte bekannter Mutterbäume (Hofmann 2005). Sechs Vegetationsperioden nach Anlage der Versuche erfolgte die zweite Aufnahme aller Prüfungen während der Vegetationsruhe 2015/16. Der Rückschnitt nach der ersten dreijährigen Rotation hatte zu einem starken Stockausschlag geführt, der bei einer Vollaufnahme der einzelnen Flächen zu einer erheblichen Zunahme der Arbeitsbelastung geführt hätte. Nach Abwägung verschiedener Alternativen wurden für die zweite Aufnahme die nach der 1. Rotation leistungsfähigsten Klone ausgewählt und nur diese Klone auf allen Flächen gemessen. In Tabelle 2 sind Name und Abstammung dieser Klone angegeben. Hierbei handelt es sich vor allem um Kreuzungen von *Populus maximowiczii* mit *P. tricho-*

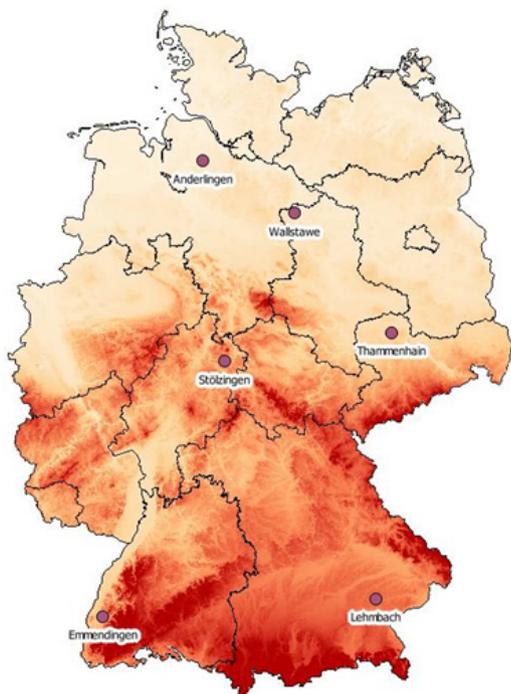


Abb. 1. Lage der Versuchsflächen.
Location of test sites.

carpa (Janßen et al. 2015). In allen Parzellen mit den ausgewählten Klone wurde der Brusthöhendurchmesser in 1,3 m Höhe (BHD) sämtlicher Triebe an maximal 20 Pflanzplätzen der beiden Mittelreihen ohne die jeweils erste und letzte Pflanze (Kernparzelle) gemessen.

Die Schätzung der produzierten Biomasse erfolgte mit der Regressionsmethode (Hartmann 2006, Röhle et al. 2006, Röhle 2009). Nach den Datenerhebungen wurden die Frisch- und Trockengewichte aller Klone bestimmt. Dazu wurde auf jeder Fläche für jeden Klon

eine sogenannte Kluppliste erstellt. Auf jeder Fläche wurden sämtliche gemessenen Triebe eines Klons nach BHD absteigend sortiert und 12 Triebe in gleichmäßigen Abständen über das gesamte BHD-Spektrum (inklusive des stärksten; absteigend bis mindestens 10 mm BHD) ausgewählt, 5 cm über dem Boden abgeschnitten und frisch gewogen.

Die 12 Probetriebe wurden einzeln gemessen und gewogen. Danach wurde jeder Trieb in 3 gleichlange Sektionen zersägt. Aus der Mitte jeder Sektion wurden mehrere gleichlange (ca. 3 cm) kleine Proben entnommen und als Mischprobe sofort frisch auf 1 g genau gewogen. Beide Mischproben eines Klons sollten jeweils ein Gesamtgewicht von etwa 1.000 g aufweisen. Sie wurden in einen mit Parzellen- und Pflanzplatznummer beschrifteten Beutel gefüllt und nach Vorgaben der Norm DIN EN 14774-1 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2010) im Labor bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und danach noch einmal gewogen.

Aus Frisch- und Trockengewicht der Mischprobe wurden der Wassergehalt und die Trockenmasse der einzelnen Probetriebe ermittelt. Aus den Trockenmassen der 12 Probetriebe und deren vorher gemessenen BHD wurde für jeden Einzelversuch und jeden Klon eine allometrische Biomassefunktion der Form

$$TM_{(Et)} = a_0 \cdot BHD_{(Et)}^{a_1} \tag{1}$$

aus BHD und Trockenmasse erstellt (nach Röhle et al. 2006).

Dabei ist $TM_{(Et)}$ die Trockenmasse des Einzeltriebs, $BHD_{(Et)}$ der BHD des Einzeltriebs, und a_0 bzw. a_1 sind die aus der Regressionsfunktion erhaltenen Koeffizienten. Mittels dieser Biomassefunktionen werden die Trockenmassen aller gekluppten Triebe eines Klons je Fläche berechnet. Aus der Summe der Trockenmasse aller gekluppten Triebe eines Klons und der Größe der Fläche (A), auf der die Vollklupplung erfolgte, errechnet sich die gesamte Trockenbiomasse pro Hektar (BM) nach 3 Jahren bzw. der durchschnittliche jährliche Gesamtzuwachs (dGZ).

$$BM = \frac{\sum_{i=1}^n (a_0 \cdot BHD_i^{a_1})}{A} \quad dGZ = \frac{BM}{3} \tag{2}$$

Tab 1. Standortbeschreibung der Versuchsflächen und Versuchsdesign der Serie 603.
Description of trial sites and design of series 603.

	Stölzingen	Wallstawe	Anderlingen	Leimbach	Emmendingen	Thammenhain
mittlere Jahrestemp. [°C]	9,3	8,4	8,8	9,6	11,5	8,5
mittlerer jährl. Niederschlag [mm]	703	548	768	730	766	575
Bodentyp	Pelosol-Braunerden	Pseudogleye	Pseudogleye	Parabraunerde-Pseudogleye	Parabraunerde-Pseudogleye	Pseudogleye
Bodenart	toniger Lehm	lehmiger Sand über Staukörper bei 70 cm	lehmiger Sand über Staukörper bei 50 cm	sandig, schluffiger Lehm über Ton bei 150 cm	schluffiger Lehm	sandiger Lehm, Staukörper bei 70 cm
Wasserhaushalt	frisch/sehr frisch	frisch/staunass	frisch/staunass/anmoorig	frisch/staunass	frisch/sehr frisch mit Grundwasser	frisch/staunass
Nährstoffhaushalt	gut, kein Kalk	gut bis sehr gut	gut	gut	gut bis sehr gut	gut, kein Kalk
Skelettanteil	mittel-hoch	gering	gering	gering	gering	gering
Verband [m]	1,8 x 0,5	1,8 x 0,5	1,8 x 0,5	1,8 x 0,5	1,8 x 0,5	1,8 x 0,5
Anlagezeitraum	09.–12.04.2010	13.–14.04.2010	27.04.–29.04.2010	20.04.2010	01.04.2010	01.04.2010
Datum d. Messung	20.–26.10.2015	04.–05.11.2015	03.–04.11.2015	02.–05.11.2015	28./29.12.2015, 04.01.–07.01.2016	29.10.–19.11.2015
Probenahme Wassergehalte	18.–26.11.2015	07.–10.12.2015	30.11.–03.12.2015	12.–14.01.2016	30.11.–04.12.2015	08.–14.12.2015

Tab. 2. Liste der nach 2. Rotation gemessenen Prüfglieder (Sorten der Kontrollgruppe).
List of measured entries after 2nd rotation (Varieties of control group).

NW_Nr/Sorten-Name	Register-Nr.	Abstammung	Neuer Sorten-Name
AF 2	20052687	<i>P.delt</i> x <i>P.nigra</i> *	
Hybride 275	062 900 01 905 4	<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
Max 1	062 900 01 312 4	<i>P.nigra</i> x <i>P.max</i>	
Matrix 11	062 900 01 316 4	<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
Matrix 49	062 900 01 318 4	<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
NW07-0017 C		<i>P.trichocarpa</i>	
NW07-0177 T		<i>P.trichocarpa</i>	
NW07-0018 D		<i>P.trichocarpa</i>	
NW07-0197 S	062 953 07 001 4	<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	FastWood 1
NW07-0200 V		<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
NW07-0204 A		<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
NW07-0226 B	062 953 08 001 4	<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	FastWood 2
NW07-0234 L		<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
NW07-0244 X		<i>P.(P.nigra</i> x <i>P.max)</i> x <i>P.max</i>	
NW07-0255 L		<i>P.max</i> x frei	
NW07-0375 D		<i>P.(P.trich</i> x <i>P.koreana)</i> x <i>P.max</i>	
NW07-0061 E		<i>P.trich</i> x <i>P.koreana</i>	
NW07-0072 T		<i>P.max</i> x <i>P.trich</i>	
NW07-0091 R		<i>P.trichocarpa</i>	
Weser 4		<i>P.trichocarpa</i>	

* *P.* = *Populus*, *P.delt* = *Populus deltoides*, *P.max* = *Populus maximowiczii*, *P.trich* = *Populus trichocarpa*

Die Auswertung erfolgte in zwei Stufen nach einem praxisüblichen Verfahren (Federer et al. 2001, Möhring und Piepho 2009, Möhring et al. 2014), wobei zunächst die Einzelversuche auf der Basis von Parzellenmittelwerten nach dem gemischten Modell berechnet wurden. Anders als nach der ersten Aufnahme, bei der alle Prüfglieder in die Verrechnung einbezogen wurden und diese dann als unvollständige Blockanlage ausgewertet wurde, durfte dies aufgrund der kleineren Prüfgliedzahl und der daraus resultierenden ungleichen Zusammensetzung der unvollständigen Blöcke nach der 2. Aufnahme nicht erfolgen. Daher wurde die 2. Aufnahme als vollständig randomisierter Blockversuch nach dem gemischten Modell ausgewertet, wobei die Prüfgliedeffekte als „fix“ und die Blöcke (= Wiederholungen) als „zufällig“ angesehen wurden. Das biometrische Modell lautet:

$$x_{ij} = \mu + \gamma_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (3)$$

x_{ij} ist der beobachtete phänotypische Wert von Prüfglied i in Wiederholung j . μ ist das Gesamtmittel der betrachteten Versuchsfläche, γ_i der Effekt von Prüfglied i , β_j der Effekt von Wiederholung j und ϵ_{ij} der Versuchsfehler. Die für die varianzanalytischen Berechnungen benötigten Parzellenmittelwerte und die Schätzungen der Biomasse wurden mit dem nls2-Paket von R ermittelt (Grothendieck 2013). In einem zweiten Schritt wurde die flächenübergreifende Verrechnung der Gesamtserie mit den gewichteten Prüfgliedwerten der Einzelversuche nach folgendem Modell vorgenommen:

$$x_{ij} = \mu + \gamma_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

Dabei ist x_{ij} der Wert von Prüfglied i am Ort j , μ das Gesamtmittel der Versuchsreihe, γ_i der Effekt von Prüfglied i , β_j der Effekt von

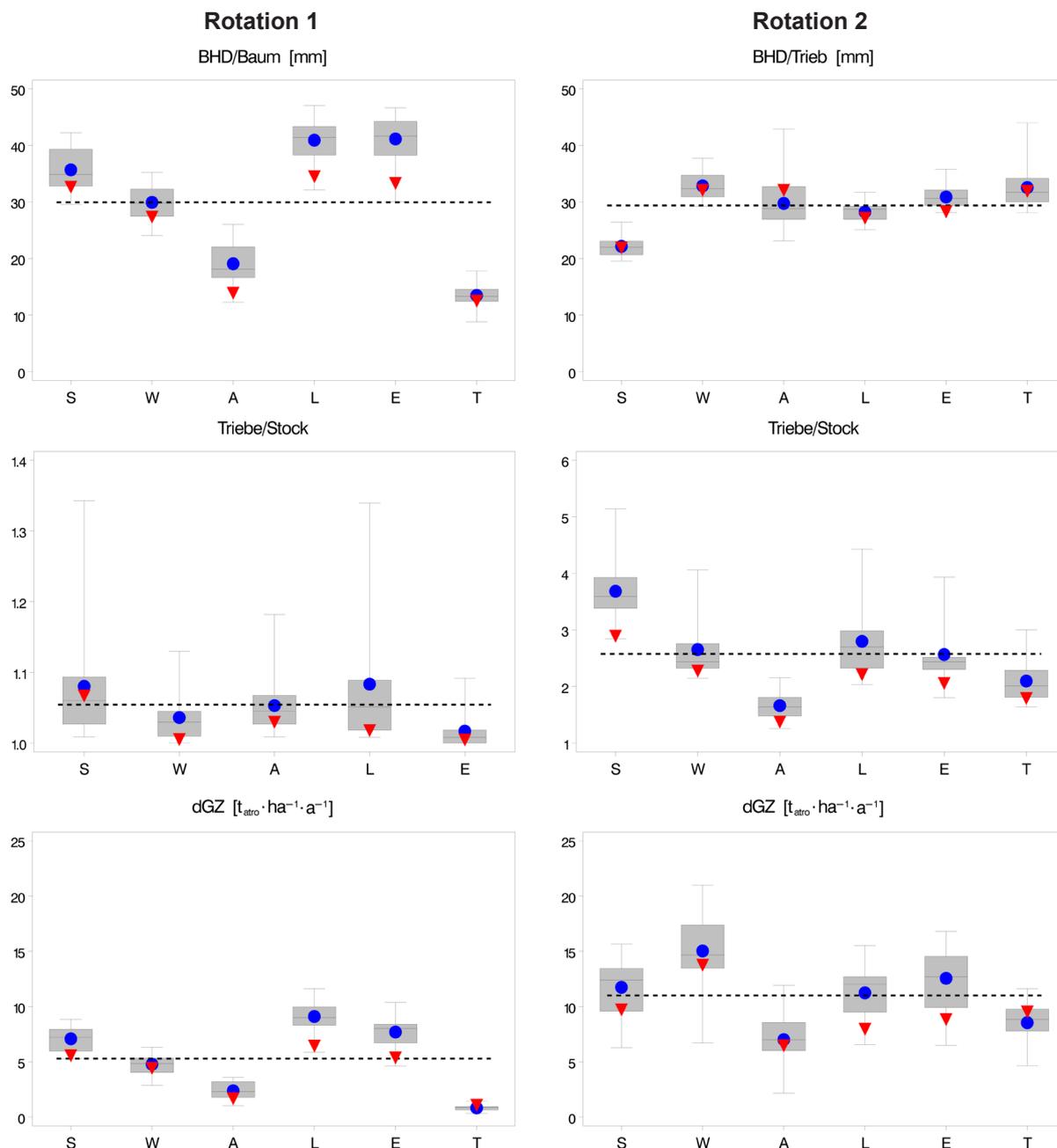
Ort j und ϵ_{ij} der Versuchsfehler. Die Gewichtung der Prüfgliedmittel je Versuch erfolgte mit dem Kehrwert des Standardfehlers der Mittelwertschätzung (Federer et al. 2001, Moll und Piepho 2001).

Die an den Einzelversuchen und über die Gesamtserie berechneten Prüfgliedwerte wurden mit einer Kontrollgruppe bestehend aus 'Max 1' und 'Hybride 275' verglichen. Diese beiden Sorten stehen in einer deutschlandweiten, sogenannten „ProLoc“-Versuchsserie an 38 Standorten. Die italienische Sorte 'AF 2' ist ebenfalls in der deutschlandweiten Serie vertreten und wurde bei der Auswertung der 1. Rotation der Serie 603 noch in die Vergleichsgruppe eingerechnet. Nach der 2. Rotation dieser Serie schneidet 'AF 2' aber derart schlecht ab, dass sie hier nicht als Referenz für eine Eignung zur Biomasseerzeugung herangezogen werden kann.

Die varianzanalytischen Verrechnungen wurden mit der Prozedur PROC MIXED des Programmpakets SAS vorgenommen. Die aus den Vergleichen zur Kontrollgruppe berechneten Signifikanzen wurden nach dem Sidak-Test ermittelt.

Ergebnisse

Die an den einzelnen Versuchen nach beiden Rotationen ermittelten Messwerte sind für die ausgewählten Prüfglieder in Abbildung 2 dargestellt. Beide Rotationen können miteinander verglichen werden, da in den Abbildungen für die 1. Rotation (linke Spalte) nur diejenigen Prüfglieder berücksichtigt wurden, die auch in der 2. Rotation (rechte Spalte) gemessen wurden. In Thammenhain lag die Anzahl Triebe je Wurzelstock in der 1. Rotation durchgängig bei 1, es gab keinerlei Variation, und daher wurde dieses Merkmal nicht



bb. 2. Mittelwerte (●) und Spannweiten nach 1. Rotation (links) und 2. Rotation (rechts) in Stölzingen (S), Wallstawe (W), Anderlingen (A), Lehmbach (L), Emmendingen (E) und Thammenhain (T), ▼ : Kontrollgruppe (Hybride 275, Max 1), --- : Mittel). Means (●) and ranges after 1st rotation (left) and 2nd rotation (right) at Stölzingen (S), Wallstawe (W), Anderlingen (A), Lehmbach (L), Emmendingen (E) and Thammenhain (T), ▼ : control group (Hybride 275, Max 1), --- : mean.

verrechnet. Der jeweilige Ortsmittelwert wird durch einen blauen Punkt symbolisiert. Zu Vergleichszwecken sind die Werte der Kontrollgruppe (rotes Dreieck) bestehend aus 'Hybride 275' und 'Max 1' angegeben. Der Serienmittelwert beim BHD ist nach beiden Rotationen gleich. Allerdings ist die Schwankungsbreite um das Serienmittel in der 1. Rotation deutlich größer als im 2. Umtrieb. Die Versuche in Lehmbach und Emmendingen lagen im 1. Umtrieb weit oberhalb, die Versuche in Anderlingen und Thammenhain dagegen weit unterhalb des Serienmittels. Nach der 2. Rotation weicht nur ein Versuch (Stölzingen) nennenswert vom Serienmittel ab.

Durch den Rückschnitt nach der 1. Rotation hat sich die mittlere Anzahl Triebe je Wurzelstock mehr als verdoppelt und dadurch den dGZ der 2. Rotation stark erhöht. Die Rangfolge der Versuche hat sich nach der 2. Rotation stark verändert. Die Pflanzen am relativ trockenen Standort Thammenhain haben sich inzwischen etabliert und nutzen die vorhandenen Ressourcen besser aus.

Wallstawe, der zweite Standort mit geringen Jahresniederschlägen, ist bei der jährlich produzierten Trockenmasse je Hektar ($TM_{t_{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) von der 4. Stelle nach der 1. Rotation an die Spitze der Versuchsserie vorgerückt. In Wallstawe ist das in etwa 1 m unter

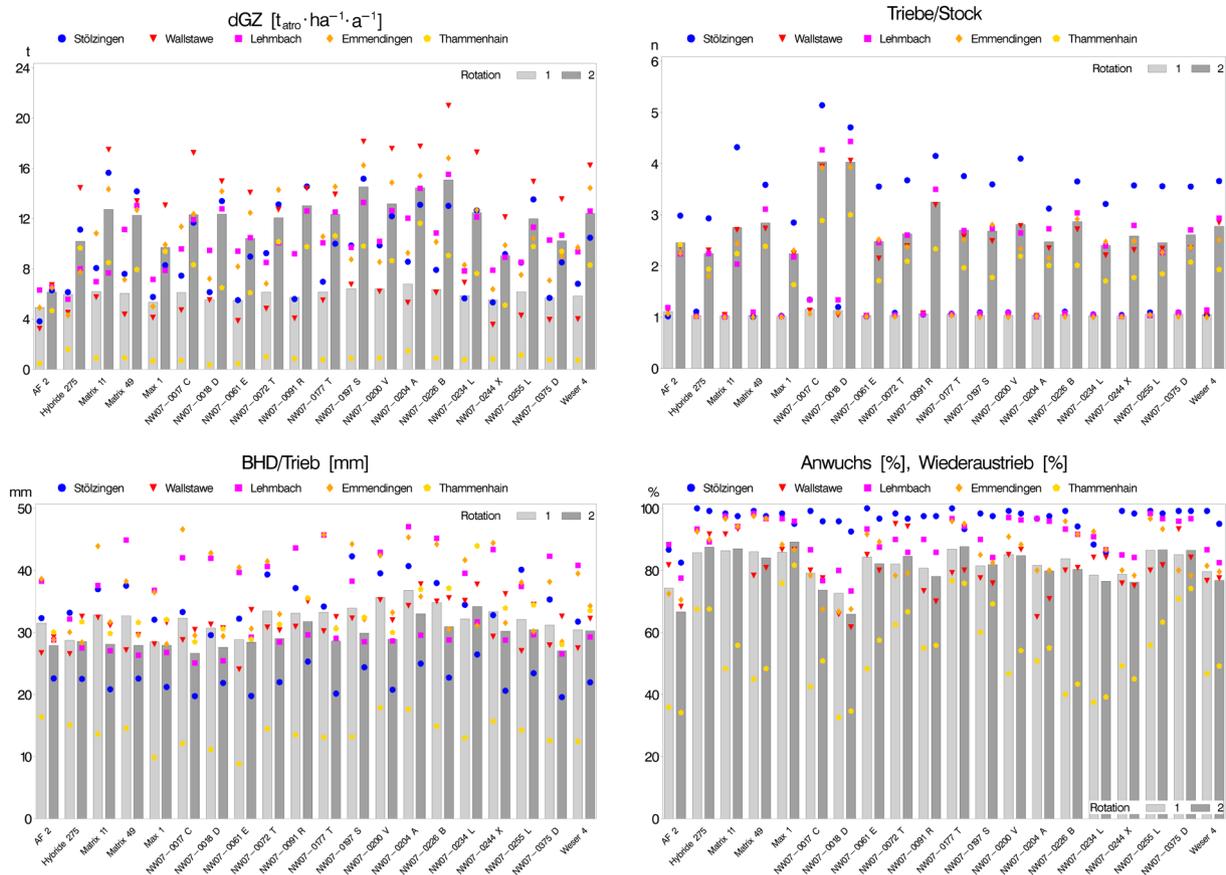


Abb. 3. Klonleistung in Serie über 5 Versuche (Säulen) und an einzelnen Orten (Symbole) nach 1. und 2. Rotation. Performance of clones across 5 trials (bars) and on single sites (symbols) after 1st and 2nd rotation.

Flur anstehende Grundwasser wahrscheinlich der Grund für die Leistungssteigerung in der 2. Rotation. Der Versuch in Anderlingen hingegen bleibt auch nach der 2. Rotation am Ende der Serie. Dieser Versuch ist für den Pappelanbau im Kurzumtrieb ungeeignet, da ein starker Standortgradient die Fläche durchzieht und einzelne Partien stark vernässt sind. Nur in wenigen Fällen übertrifft die Kontrollgruppe das jeweilige Versuchsmittel (Anderlingen, BHD (2. Rotation); Thammenhain, dGZ), sonst ist das Mittel der 18 übrigen Prüfglieder besser.

In Abbildung 3 sind die Mittelwerte an 5 Versuchen für 4 Merkmale der ausgewählten Klone dargestellt. Die Säulen repräsentieren das Klonmittel der Gesamtserie, die Leistung an einzelnen Standorten ist durch Symbole dargestellt. Nach der 2. Rotation haben sich die Prüfglieder besonders beim Trockenmasseertrag und bei der Anzahl Triebe/Stock stark differenziert. Der dGZ variiert von 4,7 ('AF 2', Thammenhain) bis 21,0 t_{astro} ha⁻¹ a⁻¹ ('NW07-0022 B', Wallstawe) und beträgt im Mittel über 5 Versuche 11,8 t_{astro} ha⁻¹ a⁻¹. Besonders auffällig ist die Zunahme der Triebzahl/Wurzelstock bei den beiden reinen *P. trichocarpa*-Klonen 'NW07-0018 D' und 'NW07-0017 C'. Das letztgenannte Prüfglied erzielt in Stölzingen mit durchschnittlich 5,1 Trieben/Stock den höchsten Wert der Serie. Beim BHD am selben Standort ist es genau umgekehrt, denn der Klon 'NW07-0017 C' weist nach der 2. Rotation in Stölzingen mit 19,7 mm den geringsten Wert in der Serie auf. Das Serienmittel beim BHD beträgt 29,4 mm.

Neben dem Anwuchs nach der Absteckung ist vor allem die Wiederaustriebsrate nach Rückschnitt ein wichtiges Kriterium zur Bewertung der Biomasseproduktion. Ein starker Rückgang bei der

Überlebensrate nach Wiederaustrieb um mehr als 10 % tritt bei der italienischen Sorte 'AF 2' auf, die nach der 2. Rotation im Serienmittel nur noch an 62 % der Pflanzstellen vitale Pflanzen aufweist, wobei diese Sorte in Thammenhain mit 34 % auch das Serienminimum erzielt. Bei drei Klonen ist nach Wiederaustrieb ein leichter Anstieg bei der Überlebensrate festzustellen. Nach der 1. Rotation wurden nur Bäume mit mehr als 1,3 m Höhe gemessen. Vitale Bäume mit geringerer Höhe wurden bei der 1. Aufnahme nicht erfasst und als Ausfälle gewertet. Diese Bäume schlugen nach Rückschnitt wieder aus und wurden bei der 2. Aufnahme erstmalig erfasst.

Die Ergebnisse der Varianzanalysen an Einzelorten und die Berechnungen der Klonmittelwerte sind in Tabelle 3 dargestellt. In allen Versuchen mit Ausnahme von Anderlingen treten bei den 4 Merkmalen signifikante Kloneffekte auf. Die Klonwerte am Ort schwanken innerhalb der angegebenen Spannen, in Anderlingen ist diese Spanne in Relation zum Ortsmittelwert am höchsten. Der heterogene Standardfehler an den einzelnen Orten ist ein Hinweis auf die unterschiedliche Genauigkeit der Mittelwertberechnungen.

Für die zusammenfassende Verrechnung über die Versuche wurde der Versuch in Anderlingen nicht berücksichtigt. Die Prüfgliedwerte der übrigen Orte flossen gewichtet mit dem reziproken Standardfehler der Mittelwertschätzung, in die zusammenfassende Varianzanalyse ein. Die berechneten Klonmittelwerte der Serie wurden gegen die Werte der Kontrollgruppe bestehend aus 'Max 1' und 'Hybride 275' getestet. Das Ergebnis dieser Berechnungen für die 2. Rotation gibt Tabelle 4. Bei der jährlichen Trockenmasseleistung sind 11 Klone und die 3 Sorten 'Matrix 11', 'Matrix 49' sowie 'Weser 4' signifikant besser als die Kontrollgruppe. Eine signifikante Un-

Tab. 3. Merkmalswerte der 2. Rotation an einzelnen Versuchen; mittleres Abweichsquadrat Klone (MQ) und deren F-Test (Signifikanzniveaus: * = 95 %, ** = 99,0 %, *** = 99,9 %, ns = nicht signifikant) Mittelwert (Mittel), Spannweite (Spanne) und Standardfehler der Mittelberechnung (StdErr).

Trait means of 2. rotation at single sites; mean squares of clones (MQ) and F-test (level of significance: * = 95%, ** = 99,0%, *** = 99,9%, ns = not significant), range (Spanne) and standard error of means (StdErr).

Versuchsfläche	dGZ [t_{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹]				BHD/Trieb [mm]			
	MQ _{Klone}	Mittel	Spanne	StdErr	MQ _{Klone}	Mittel	Spanne	StdErr
Stölzingen	39,335 ***	11,7	6,3 - 15,6	0,735	23,052 ***	22,2	19,6 - 26,4	1,146
Wallstawe	53,997 ***	15,0	6,7 - 21,0	1,609	38,286 ***	32,9	29,3 - 37,8	1,594
Anderlingen	30,304 ns	7,0	2,2 - 11,9	2,368	115,386 ns	29,7	23,1 - 42,9	4,040
Lehmbach	34,554 ***	11,2	6,6 - 15,5	1,115	15,780 ***	28,2	25,1 - 31,7	0,970
Emmendingen	48,049 ***	12,6	6,5 - 16,8	1,243	23,589 ***	30,9	28,1 - 35,8	1,306
Thammenhain	19,245 **	8,5	4,7 - 11,6	1,282	84,131 ***	32,5	28,1 - 44,0	2,381
gesamt		11,0	2,2 - 21,0	1,393		29,4	19,6 - 44,0	1,911

Versuchsfläche	Triebe/Stock				Wiederaustrieb [%]			
	MQ _{Klone}	Mittel	Spanne	StdErr	MQ _{Klone}	Mittel	Spanne	StdErr
Stölzingen	2,003 ***	3,7	2,8 - 5,1	0,319	111,184 **	95,4	82,5 - 99,2	3,822
Wallstawe	1,681 ***	2,7	2,1 - 4,1	0,234	427,401 *	80,0	61,7 - 94,2	6,627
Anderlingen	0,268 ns	1,7	1,3 - 2,2	0,191	1.420,593 ***	59,9	21,7 - 81,7	9,373
Lehmbach	2,453 ***	2,8	2,0 - 4,4	0,174	319,705 ***	88,6	73,3 - 96,7	3,856
Emmendingen	1,693 ***	2,6	1,8 - 3,9	0,165	485,257 ***	84,0	67,5 - 96,7	5,052
Thammenhain	0,777 ***	2,1	1,6 - 3,0	0,185	1.074,259 ***	56,1	34,2 - 81,7	8,235
gesamt		2,6	1,3 - 5,1	0,212		77,3	21,7 - 99,2	6,170

Tab. 4. Gewichtete Serienverrechnung der 2. Rotation über 5 Versuche mit ausgewählten Klone (Mittelwerte (Mittel), relativ zu Kontrolle (% K), signifikante Differenzen zu Kontrolle; Signifikanzniveaus: * = 95 %, ** = 99,0 %, *** = 99,9 %).

Weighted means of selected clones in series across 5 sites after 2. rotation (means (Mittel), in relation to control (% K), significant differences vs. control; level of significance: * = 95%, ** = 99,0%, *** = 99,9%.

Klone	dGZ [t_{atro} ha ⁻¹ a ⁻¹]		BHD/Trieb [mm]		Triebe/Stock		Wiederaustrieb [%]	
	Mittel	% K	Mittel	% K	Mittel	% K	Mittel	% K
Max 1	9,2	94,6	27,8	98,7	2,3	101,1	86,1	100,3
Hybride 275	10,3	105,4	28,5	101,3	2,2	98,9	85,5	99,7
Kontrolle	9,8		28,2		2,3		85,8	
AF 2	6,4 (***)	65,4	28,6	101,6	2,5	110,5	68,0 (***)	79,3
Matrix 11	13,3 (***)	136,2	28,3	100,6	2,6 (**)	115,3	86,7	101,1
Matrix 49	13,0 (***)	132,9	28,0	99,4	2,8 (***)	125,9	86,2	100,4
NW07-0017 C	12,0 (*)	123,4	26,8	95,0	4,0 (***)	177,1	73,6 (***)	85,7
NW07-0177 T	11,8 (*)	121,0	28,9	102,6	2,7 (**)	118,1	85,5	99,7
NW07-0018 D	12,8 (***)	131,5	27,6	97,8	4,1 (***)	180,1	68,8 (***)	80,1
NW07-0197 S	14,7 (***)	150,4	30,1 (*)	106,9	2,7 (**)	119,5	80,4	93,7
NW07-0200 V	12,8 (***)	131,7	29,3	104,0	2,7 (***)	120,1	85,6	99,7
NW07-0204 A	14,1 (***)	144,5	32,4 (***)	115,0	2,5	110,8	82,1	95,7
NW07-0226 B	14,4 (***)	147,7	30,2 (*)	107,2	2,9 (***)	128,4	82,2	95,8
NW07-0234 L	12,4 (**)	127,5	33,0 (***)	117,1	2,4	107,5	77,1 (**)	89,8
NW07-0244 X	9,1	93,3	29,8	105,7	2,6 (*)	114,7	78,1 (*)	91,0
NW07-0255 L	12,4 (**)	127,1	30,3 (**)	107,6	2,4	106,7	86,9	101,3
NW07-0375 D	9,7	100,0	27,3	96,8	2,6 (**)	115,3	85,3	99,4
NW07-0061 E	10,0	102,8	28,9	102,6	2,5	109,6	82,1	95,7
NW07-0072 T	12,5 (**)	127,8	29,4	104,3	2,6 (**)	115,1	81,8	95,3
NW07-0091 R	13,7 (***)	140,1	31,5 (***)	111,8	3,3 (***)	143,7	79,4	92,5
Weser 4	11,7 (*)	120,3	30,0 (*)	106,6	2,8 (***)	122,5	77,4 (*)	90,2
Serie	11,8	121,2	29,3	104,1	2,8	122,0	80,9	94,3

terlegenheit bei diesem Merkmal besitzt nur die italienische Sorte 'AF 2'. Beim BHD und bei der Anzahl Triebe je Wurzelstock treten verglichen mit der Kontrollgruppe keine signifikant schlechteren Leistungen auf. Bei der Überlebensrate sind nur drei Klone besser als die Kontrollgruppe, bei zwei Sorten und vier Klonen gibt es sogar signifikant schlechtere Werte. Mit Ausnahme der Sorte 'AF 2' können die übrigen Prüflieder dies jedoch über eine Zunahme bei anderen Merkmalen kompensieren, sodass vier dieser Prüfglieder bei der Trockenmasseleistung trotzdem signifikant besser abschneiden als die Kontrollgruppe.

Diskussion

Fossile Brennstoffe müssen als Beitrag zum Klimaschutz langfristig ersetzt werden. Die Biomasseproduktion in Kurzumtriebsplantagen (KUP) wird vielfach als Alternative gegenüber Biogas aus landwirtschaftlicher Produktion angesehen, und auch unter ökologischen Gesichtspunkten werden KUP wegen einer Steigerung der Phytodiversität positiv beurteilt (Baum et al. 2012). In Deutschland beträgt die für KUP geeignete Anbaufläche mit prognostizierten Erträgen von mehr als $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ etwa 2 Mio ha und verteilt sich zu $\frac{1}{4}$ auf Acker- und zu $\frac{3}{4}$ auf Dauergrünland (Aust et al. 2014).

Die genannten Aspekte waren Anlass, die gegen Ende der 1980er-Jahre in Hann. Münden stark zurückgefahrte Züchtung von Pappeln für den Hochwald mit geänderter Ausrichtung (Biomasseproduktion) wieder aufzunehmen (Janßen et al. 2012a). Allerdings ist eine kurzfristige Änderung des Angebots an deutschen Pappelsorten speziell für den Kurzumtrieb wegen des erwähnten Stillstands in der Pappelzucht unwahrscheinlich (Wolf 2006). Die aktuellen zur Biomasseproduktion verwendeten Sorten sind alte Hochstammzüchtungen, die speziell zur Erzeugung von Biomasse empfohlen werden (Schirmer et al. 2014).

Einige auf dem europäischen Markt vorhandenen Sorten werden auch für die Verwendung in Deutschland empfohlen (Home Page | Alasia Franco Vivai). Dies ist kritisch zu sehen, denn für einen europaweiten Vertrieb von vegetativem Ausgangsmaterial reicht gemäß EU-Richtlinie 1999/105 dessen Zulassung in der Kategorie „Qualifiziert“ aus.

Da aus einer KUP theoretisch Wald entstehen könnte, unterliegt das Material zu deren Begründung dem FoVG mit den strengen deutschen Bestimmungen (Hofmann 2010). Bei vegetativ vermehrtem Ausgangsmaterial sind die im FoVG formulierten Anforderungen an eine Zulassung höher als in der EU-Richtlinie. Vegetativ vermehrtes Material muss hier in gesetzlich vorgeschriebenen Prüfungen an mindestens zwei Standorten eine Überlegenheit nachgewiesen haben und in der Kategorie „Geprüft“ zugelassen sein.

Eine Eignung zum Anbau an bestimmten Standorten ist mit der Einstufung in die Kategorie „Qualifiziert“ nicht garantiert (DLG 2012), und eine Prüfung an 2 Standorten ist lediglich die Minimalanforderung zur Eingruppierung in die Kategorie „Geprüft“. Die Prüfergebnisse werden verlässlicher, je mehr Standorte eine Serie umfasst. Wenn Vergleichsprüfglieder mit allgemein bekanntem Leistungsvermögen in die Prüfungen einbezogen werden, kann das Potenzial der Testkandidaten besser eingeschätzt werden. Im Ausland zugelassene Sorten sollten vor der Empfehlung zum Anbau in Deutschland zunächst auf hiesigen Flächen auf Anbaueignung getestet werden.

Am Beispiel der italienischen Sorte 'AF 2' wird auch in dieser Serie das Anbauisiko bei Verwendung ungeprüfter Sorten deutlich. Im Durchschnitt über 5 Versuche erzielte diese Sorte im 1. Umtrieb eine dGZ von $4,7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, und nach der 2. Rotation wurden $6,4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ermittelt. Relativ zur Kontrollgruppe war es ein Rückgang von 84 % auf 64 %. In Versuchen des „ProLoc“-Verbund-

projektes, in dem 'AF 2' ebenfalls getestet wird, lag sie nach der 1. Rotation noch mit in der Spitzengruppe (Amthauer Gallardo und Röhle 2012). Die Jugendentwicklung von 'AF 2' ist auch in weiteren deutschen Versuchen zunächst besser als die der heimischen Sorten (Schirmer 2012). In den folgenden Rotationen jedoch wurde diese Sorte je nach Standort mattwüchsiger und fiel ins Mittelfeld der Prüfglieder zurück. 'AF 2' ist für den Anbau in Deutschland nicht geeignet und wird daher vom Züchter (Home Page | Alasia Franco Vivai) nicht für den Anbau hierzulande empfohlen.

Allerdings werden andere, ebenfalls in Deutschland ungeprüfte italienische 'Alasia'-Sorten vom Züchter für einen Anbau hierzulande angeboten. Anderswo schneiden diese Sorten im Vergleich zu 'AF 2' relativ gut ab (Lazdiņa et al. 2014), aber da der Versuch an nur einem Standort angelegt ist, sind diese Ergebnisse mit Vorsicht zu bewerten. Entscheidend ist, unter welchen Standort- und Klimabedingungen die Prüfung erfolgt und welche Prüfglieder als Referenz herangezogen werden.

In dieser Sortenprüfung dienen die Sorten 'Max 1' und 'Hybride 275' als Referenzgruppe. Diese beiden Sorten werden auch – zusammen mit der italienischen Sorte 'AF 2' – in der bundesweit an verschiedenen Standorten angelegten „ProLoc“-Versuchsserie geprüft. Daher kann – mit Einschränkungen – die Leistung der hier geprüften Klone an anderen Standorten eingeschätzt und es können regionale Anbauempfehlungen abgeleitet werden.

Die in der Serie 603 geprüften und speziell zur Biomasseproduktion ausgelesenen alten Hochstammorten erreichten in Mecklenburg-Vorpommern auf älteren Flächen in der dritten Rotation die höchste dGZ (Boelcke 2007), danach trat bei einigen Sorten ein Ertragsabfall auf. Gurgel (2011) macht hierfür einen vermutlich genetisch bedingten Rückgang der Regenerationsfähigkeit dieser Klone verantwortlich, denn für die Auswahl der Hochstammorten waren eher Qualitätskriterien als die Fähigkeit zum Wiederaustrieb nach Rückschnitt entscheidend. In zwei thüringischen Versuchen zeigten insbesondere Max-Sorten sogar in 6 aufeinander folgenden 3-jährigen Umtrieben kontinuierliche Ertragssteigerungen, und erst nach dem 7. Umtrieb ging der Ertrag bei den Max-Sorten etwas zurück (Biertümpfel et al. 2012, 2016).

Ein entscheidender ertragsbestimmender Faktor ist die Triebzahl, und der dadurch hervorgerufene Ertragsanstieg wird so lange anhalten, bis alle Flächenressourcen vollständig ausgenutzt werden (Horn et al. 2013). In einem belgischen Versuch wird Änderung der Klon-Rangfolge von 1. zu 2. Rotation beobachtet (Laureysens et al. 2005). Hier steht einer sortenspezifischen Zunahme der Anzahl Triebe mit steigender Anzahl Rotationen eine konkurrenzbedingte jährliche Abnahme der Triebzahl eines Wurzelstocks innerhalb einer Rotation gegenüber (Afas et al. 2008). Reine *P. nigra*- und *P. trichocarpa*-Klone hatten in dem Versuch die höchsten Leistungen und waren am besten an die Rückschnitte angepasst.

Die besten 16 Prüfglieder in dieser Sortenprüfung gehören sämtlich der Sektion Tacamahaca (Balsampappeln) an, die drei ertragreichsten Klone sind Hybriden zwischen *P. maximowiczii* als Mutter und *P. trichocarpa* als Vater. An vierter Stelle folgt der beste „reine“ *P. trichocarpa*-Klon 'NW07-91 R'. Am ertragsschwächsten sind Klone mit Eltern aus der Sektion Aigeiros (Schwarzpappeln), wie die Einfachkreuzung 'AF 2', eine Kombination aus *P. deltooides* x *P. nigra*. Aber auch in Kombination mit Balsampappeln können Hybriden mit Schwarzpappel-Eltern weder in Einfachkreuzungen ('Max 1') noch in Dreiwegkreuzungen ('NW07-244 X') das Leistungspotenzial von reinen Balsampappeln oder Balsampappelhybriden erreichen.

Unter den Balsampappeln sind alle Einfachhybriden ertragreicher als die einzige Dreiweghybride ('NW07-375 D'). Leider gibt es die Einfachhybriden nur in der Kombination mit *P. maximowiczii* als Mutter. Erst in einer 2015 angelegten Versuchsserie gibt es auch eine nennenswerte Anzahl an Einweghybriden mit der reziproken Kom-

bination. Im Hinblick auf die Tatsache, dass reine *P-trichocarpa*-Klone eine sehr hohe Wiederausschlagsfähigkeit nach Rückschnitt besitzen, erscheinen diese Kombinationen sehr interessant.

Die beiden Klone 'NW07-0197 S' und 'NW07-0226 B' mit den Sortennamen 'Fastwood 1' und 'Fastwood 2' sind aufgrund ihrer guten Biomasseproduktion bereits als Ausgangsmaterial für Geprüftes Vermehrungsgut für den Kurzumtrieb zugelassen (Registernummern: 062 953 07 001 4; 062 953 08 001 4). Für einige der übrigen Klone wird ebenfalls eine Zulassung angestrebt, damit auch sie demnächst der Praxis in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen.

Literatur

- Afas N.A., Marron N., van Dongen S., Laureysens I., Ceulemans R. 2008. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *For. Ecol. Manage.* 255, 1883–1891
- Amthauer Gallardo D., Röhle H. 2012. Erfassung und Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 24, 108–109. https://www.gpw.uni-kiel.de/de/jahrestagung/tagungsbaende/tagungsband_2012.pdf#page=123 (abgerufen am 08. 06. 2016)
- Anonymus 2010. Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Beschluss Bundesregierung vom 29.09.2010. https://www.bundesregierung.de/Content/Archiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (abgerufen am 08. 03. 2016)
- Aust C., Schweier J., Brodbeck F., Sauter U.H., Becker G., Schnitzler J.-P. 2014. Land availability and potential biomass production with poplar and willow short rotation coppices in Germany. *GCB Bioenergy* 6, 521–533
- Baum S., Bolte A., Weih M. 2012. High value of short rotation coppice plantations for phytodiversity in rural landscapes. *GCB Bioenergy* 4, 728–738
- Biertümpfel A., Graf T., Vetter A. 2012. Feldversuchsbericht 2010 und 2011 Ölf Früchte und Nachwachsende Rohstoffe. Thüring. Minist. f. Landwirtschaft. Forsten Umwelt Naturschutz, Jena. <http://www.thueringen.de/th9/tll/pflanzenproduktion/nawaro/ainfo/index.aspx> (abgerufen am 14.09. 2016)
- Biertümpfel A., Bischof R., Ecknerf J., Freund D., Graf T., Ormerod C., Rudel H., Werner A. 2016. Feldversuchsbericht 2014 und 2015 Ölf Früchte und nachwachsende Rohstoffe. Thüring. Minist. f. Landwirtschaft. Forsten Umwelt Naturschutz, Jena. <http://www.thueringen.de/th9/tll/pflanzenproduktion/nawaro/ainfo/index.aspx> (abgerufen am 16. 09. 2016)
- Boelcke B. 2007. Zur Sortenfrage im Anbauverfahren schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb unter besonderer Beachtung der Pappeln. Landesforschungsanstalt f. Landwirtschaft. Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/feste_Brennstoffe/Sortenfrage_im_Anbau_von_Pappeln/Sortenfrage_Pappeln_Internet3_07%5b1%5d.pdf (abgerufen am 28.12.2013)
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2010. Feste Biobrennstoffe - Bestimmung des Wassergehaltes - Ofentrocknung - Teil 1: Gesamtgehalt an Wasser - Referenzverfahren; Deutsche Fassung EN 14774-1:2009. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-14774-1/122640083> (abgerufen am 15. 11. 2016)
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) 2012. Kurzumtriebsplantagen Anlage, Pflege, Ernte und Wertschöpfung. http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_371.pdf (abgerufen am 08. 03.2016)
- Federer W.T., Reynolds M., Crossa J. 2001. Combining results from augmented designs over sites. *Agron J.* 93, 389–395
- Grotehusmann H., Janßen A., Haikali A., Hartmann K.-U., Hüller W., Karopka M., Schildbach M., Schirmer R., Schuppelius T., Töpfner K. 2015. Pappelsortenprüfungen im Projekt FastWOOD. *Forstarchiv* 87, 67–79
- Grothendieck G. 2013. nls2: Non-linear regression with brute force. <https://cran.r-project.org/web/packages/nls2/index.html> (abgerufen am 15. 11. 2016)
- Gurgel A. 2011. Ergebnisse der Versuche mit schnellwachsenden Baumarten nach 18 Jahren Bewirtschaftung in Gülzow. Landesforschungsanstalt f. Landwirtschaft. Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/feste_Brennstoffe/Ergebnisse_der_Versuche_nach_18_Jahren/5RBEF_B-344umeGurgel2011x.pdf (abgerufen am 14. 07.2014)
- Hartmann K.-U. 2006. Biomassefunktionen als Grundlage zur Ertragsermittlung in Kurzumtriebsbeständen. *Dtsch. Verband Forstl. Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde Tagungsband*, 167–173
- Hofmann M. 2005. Pappel als nachwachsender Rohstoff auf Ackerstandorten - Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl. Dissertation Universität Göttingen. *Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden* 8
- Hofmann M. 2010. Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)*, 42. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_292-brosch_energieholzproduktion_2010_v04.pdf (abgerufen am 12. 02.2012)
- Home Page | Alasia Franco Vivai. <http://www.alasiafranco.com/de/> (abgerufen am 06. 09.2016)
- Horn H., Skibbe K., Röhle H. 2013. Wuchsleistung von KUP aus Pappel in Folgerotationen. *AFZ-Der Wald* 68 (7), 53–55
- Janßen A., Fehrenz, S., Fey-Wagner C., Hüller W. 2012a. Züchtung von Schwarz- und Balsampappeln für den Kurzumtrieb. *Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt* 8, 33–54
- Janßen A., Fey-Wagner C., Czernikar H., Gebhardt K. 2012b. Verbundvorhaben „FastWOOD“ und Projekt „Weidenzüchtung“. *Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt* 8, 1–8
- Janßen A., Grotehusmann H., Moos M., Schuppelius T., Stiehm C. 2015. Pappel-Sortenprüfung im Kurzumtriebs-Verbundobjekt FastWOOD: Ergebnisse der Versuchsserien 2010 und 2011. *Thünen Rep.* 26, 59
- Laureysens I., Pellis A., Willems J., Ceulemans R. 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass Bioenergy* 29, 10–21
- Lazdiņa D., Bārdulis A., Bārdule A., Lazdiņš A., Zeps M., Jansons Ā. 2014. The first three-year development of ALASIA poplar clones AF2, AF6, AF7, AF8 in biomass short rotation coppice experimental cultures in Latvia. *Agron. Res.* 12, 543–552
- Möhring J., Piepho H.-P. 2009. Comparison of weighting in two-stage analysis of plant breeding trials. *Crop Sci.* 49, 1977
- Möhring J., Williams E.R., Piepho H.-P. 2014. Efficiency of augmented p-rep designs in multi-environmental trials. *Theor. Appl. Genet.* 127, 1049–1060
- Moll E., Piepho H.-P. 2001. Die Auswertung von Versuchsserien balancierter und unbalancierter einfaktorieller Blockanlagen A-BI mit Hilfe von SAS. *Z. Agrar.* 4, 76–84
- Röhle H. 2009. Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen. *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde Jahrestagung*, 220–226
- Röhle H., Hartmann K.-U., Gerold D., Steinke C., Schröder J. 2006. Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 177 (10/11), 178–188
- Schirmer R. 2012. Pappel-Energiewälder: Nur „geprüfte“ Sorten garantieren einen wirtschaftlichen Erfolg. *LWF Aktuell* 90, 24–26
- Schirmer R., Haikali A., Janßen A. 2014. Neue Pappelsorten für Kurzumtriebsplantagen. *AFZ-Der Wald* 69 (16), 24–26
- Wolf H. 2006. Genetische Aspekte bei der Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe. *Forstl. Genressourcen als Produktionsfaktor* 26, 105–109