

Energieholzproduktion mit Weiden und Pappeln – Ertragsbildung und Grundnährstoffbedarf

Energy Forestry with Willows and Poplars – Yields and Nutrient Supply

Barbara Boelcke¹ & Petra Kahle²

¹Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

²Institut für Landnutzung, Universität Rostock

Zusammenfassung

Auf typischen Böden des nordostdeutschen Tieflandes erreichten die geprüften Pappelklone in den ersten 12 Jahren der Bewirtschaftung im Kurzumtrieb einen mittleren Jahreszuwachs von 13,8 t ha⁻¹ Holztrockenmasse bei 3-jährigem und 19,8 t ha⁻¹ bei 6-jährigem Umtrieb. Der jährliche Ertrag der geprüften Weidenklone lag im 3-jährigen Umtrieb bei 9,8 t ha⁻¹ und im 6-jährigen Umtrieb bei 7,0 t ha⁻¹ Holztrockenmasse.

Die Messung des pflanzenverfügbaren Vorrates an Phosphor und Kalium ergab für diesen Zeitraum eine geringe Abnahme der Mengen dieser Nährstoffe in der Bodenschicht 0-30 cm. Es besteht für diese Grundnährstoffe nach 12 Jahren noch kein Düngebedarf, um die Erträge zu sichern und den guten landwirtschaftlichen Zustand der Böden zu erhalten. Als Ursache für die trotz unterlassener Düngung nur geringe Abnahme der Bodenvorräte an P und K auf Kurzumtriebsflächen werden die gute Nährstoffausstattung der Ackerböden, die Nutzung von Nährstoffen aus >30 cm Bodentiefe, die Wirkung der Humusakkumulation und die Mykorrhizierung der Weiden und Pappeln gesehen.

Schlüsselworte: Weide, Pappel, Kurzumtriebsplantage, Nährstoffvorrat

Summary

On typical soils of the German northeastern lowlands poplar clones produced on average annually 13.8 and 19.8 t ha⁻¹ dry biomass in rotation periods of three and six years, respectively. The annual biomass production of willow clones was on average 9.8 and 7.0 t ha⁻¹ dry biomass in rotation periods of 3 and 6 years, respectively. The calculated pool of phosphorus and potassium in the topsoil (0-30 cm) decreased within the first 12 years of short rotation forestry only slightly. No demand of fertilisation was observed to provide sufficient supply of nutrients and sustain soil fertility. It was hypothesized, that this is caused by high initial nutrient concentrations in the soils, the use of the nutrient pool >30 cm soil depth, effects of accumulation of organic matter and mycorrhiza formation of poplar and willow clones.

Key words: willow, poplar, short rotation forestry, nutrient accumulation

Einleitung und Zielstellung

Die Ziele der EU zur Senkung der CO₂-Emission und die Notwendigkeit zur Reduzierung des Verbrauchs an fossilen Energieträgern haben die Diskussion um die Nutzung der Bioenergie verstärkt (BMU 2006). In Deutschland könnten nach vorliegenden Kostenanalysen (ohne finanzielle und steuerliche Förderung) die Nutzung von Festbrennstoffen (Holz, Getreide, Stroh) und die Biogasproduktion aus Reststoffen am ehesten rentabel sein (ISERMEYER & ZIMMER 2006). Holz erlebt bereits jetzt eine Renaissance als Energieträger und gilt außerdem als hervorragendes Ausgangsmaterial für die Produktion von Biokraftstoffen der „zweiten Generation“ (Biomass-to-Liquid). Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb können einen Beitrag zur Deckung des wachsenden Energieholzbedarfes leisten. Sie werden auf landwirtschaftlichen Flächen 20-30 Jahre als Dauerkultur genutzt. Nach einmal erfolgter Kulturbegründung wird regelmäßig nach 2-10 Jahren (Umtriebszeit) die Sprossmasse geerntet. Der Stockausschlag ist die Voraussetzung für die jeweils nächste Ernte. Allerdings ist das Produktionsverfahren bisher nicht optimiert und auch die langfristigen ökologischen Auswirkungen des Anbaus schnellwachsender Baumarten auf Ackerböden sind nicht ausreichend bekannt. Es mangelt an Informationen zur Beeinflussung der Ertragsbildung durch Anbaumaßnahmen, zur Nährstoffabfuhr und Veränderung der Nährstoffvorräte des Bodens während der 20- bis 30-jährigen Nutzungsdauer der Plantagen. Vorliegende Erfahrungen zum Aspekt der Nährstoffzyklen und -entzüge stammen vorrangig aus anderen geographischen Regionen (ADEGBIDI et al. 2001) oder betreffen andere Baumarten (GUO et al. 2006) und sind daher nur bedingt auf hiesige Verhältnisse übertragbar. Vergleichbare Studien in Mitteleuropa sind zumeist auf kurze Zeiträume beschränkt (HOFMANN-SCHIELLE et al. 1999, JUG et al. 1999).

Der vorliegende Beitrag behandelt die Ertragsbildung ausgewählter Klone von Weiden und Pappeln, den Bodenvorrat an pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium sowie die P- und K-Abfuhr mit dem Erntegut im Zeitraum von 12 Jahren. Es werden die Ergebnisse der seit 1993 durchgeführten Dauerversuche mit Weiden und Pappeln im Nordosten Deutschlands mitgeteilt und auf dieser Basis Aussagen und vorläufige Empfehlungen zum Management der Grunddüngung in Kurzumtriebsplantagen abgeleitet.

Material und Methoden

Versuchsstandorte und Untersuchungsprogramm

An den im Bereich der jungpleistozänen Grundmoränenlandschaft Mecklenburg-Vorpommerns gelegenen Stand-

Tab. 1: Für die Bodenuntersuchungen ausgewählte Prüfglieder
Treatments used for the soil investigations

Botanische Gruppen	Sorte/Klon	Versuchsstandort
Hybridpappeln		
<i>P. trichocarpa</i> x <i>P. deltoides</i>	Rap	Gülzow
<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	Max 1	Gülzow
	Max 3	Gülzow, Vipperow
<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>	10/85(49)	Gülzow
Weiden		
<i>S. viminalis</i>	Zieverich	Gülzow
	Weide 10	Gülzow, Vipperow

orten Gülzow (GUL) und Vipperow (VIP) wurden im Frühjahr 1993 auf bis zu diesem Termin ackerbaulich genutzten Flächen insgesamt 28 Weiden- und Pappelklone gepflanzt (BOELCKE 2006, 2007). Aus diesem Sortiment wurden für die vorliegende Untersuchung zum Nährstoffhaushalt 4 Pappel- und 2 Weidenklone am Standort Gülzow bei 3- und 6-jährigem Umtrieb und je 1 Weiden- bzw. Pappelklon am Standort Vipperow mit 3-jährigem Umtrieb ausgewählt (Tab. 1).

Aus der zu Versuchsbeginn vorgenommenen Untersuchung repräsentativer Bodenprofile (15 bis 20 Einstiche bzw. 4 bis 6 Stechzylinder pro Bodenhorizont) geht hervor, dass es sich bei den Oberböden um schwach saure bis saure, schwach humose, schwach lehmige Substrate mit geringer Kationenaustauschkapazität und mittlerer bis hoher Trockenrohddichte (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG 1994) handelt (Tab. 2). Bodentypologisch wurden Braun-

erden bzw. Parabraunerden ausgewiesen, womit typischen terrestrischen Bodentypen des nordostdeutschen Tieflandes entsprochen wird (KAHLE & BOELCKE 2004).

Bei den Versuchen handelt es sich jeweils um randomisierte Blockanlagen in dreifacher Wiederholung mit einer Bruttofläche pro Teilstück von 135 m². Das entspricht 3 Reihen mit je 30 m Länge zur Prüfung der Sortenleistung. Die mittlere Reihe der Parzellen wird zur Ertragsermittlung genutzt. Der Pflanzverband im Abstand von 1,50 x 0,50 m ergibt eine Pflanzdichte von 13.330 Steckhölzern je Hektar. Die Kurzumtriebsflächen in Gülzow und Vipperow mit einer Bruttofläche von 1,4 bzw. 0,7 ha wurden bislang weder gedüngt, noch kamen Pflanzenschutzmittel oder Beregnung zum Einsatz.

Nach motormanueller Ernte im Januar/Februar der Erntejahre erfolgte die Ertragsermittlung durch Wägung von 45 bis 60 Bäumen je Variante. Für die Trockensubstanzbestimmung wurden je Wiederholung Triebe ausgewählt, die der mittleren Ausprägung des jeweiligen Teilstückes entsprachen. Von diesen wurden repräsentative Abschnitte aus dem unteren, mittleren und oberen Drittel für die Trockensubstanzbestimmung entnommen. Die Trocknung der jeweils ca. 1 kg umfassenden Probe erfolgte bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz. Die Holztrockenmasseerträge je Hektar wurden in Anlehnung an HOFMANN (1999) auf vollbestockte Fläche berechnet.

Zur Untersuchung der Nährstoffverhältnisse des Bodens wurden die Oberböden (0-30 cm) der in Tab. 1 aufgeführten Prüfglieder mittels Bohrstock mit 15 Einstichen je Parzelle beprobt. Bodenprobenahmen fanden zu Beginn der Vegetationsperioden 1993 (Versuchsbeginn), 1999 (6-jährige Wurzelstöcke der Bäume) und 2005 (12-jährige Wurzelstöcke der Bäume) statt. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor (P) und Kalium (K) wurde an luftgetrockneten Bodenproben (lutro Feinerde) mittels Doppellaktatmethode nach Egner-Riehm (HOFFMANN 1991) be-

Tab. 2: Charakterisierung der Versuchsstandorte
Characterization of test sites

Parameter	Gülzow	Vipperow
Geographische Lage		
	12°04'05"E 53°49'20"N	12°41'20"E 53°49'20"N
Klima (langj. Mittel 1977-2006)		
Jahrestemperatur, °C	8,2	8,0
Jahresniederschlag, mm	543	640
Jahresniederschlag im Prüfzeitraum, mm		
1993-1995	626/572/534	810/749/686
1996-1998	477/437/590	481/507/633
1999-2001	525/496/592	540/584/490
2002-2004	660/360/520	578/316/540
Eigenschaften der Oberböden, 0-30 cm		
Körnung (%): Ton/Schluff/Sand	5,6/23,8/70,6	5,1/21,9/73,0
Bodenart	Sl 2, schwach lehmiger Sand	
pH-Wert (in 0,01 M CaCl ₂)	5,1	5,8
KAK (cmol·kg ⁻¹)	5,5	6,2
Trockenrohddichte ρ _d (g cm ⁻³)	1,70	1,58
Porenvolumen PV (%)	35,1	39,9
Bodentyp	Braunerde	Parabraunerde

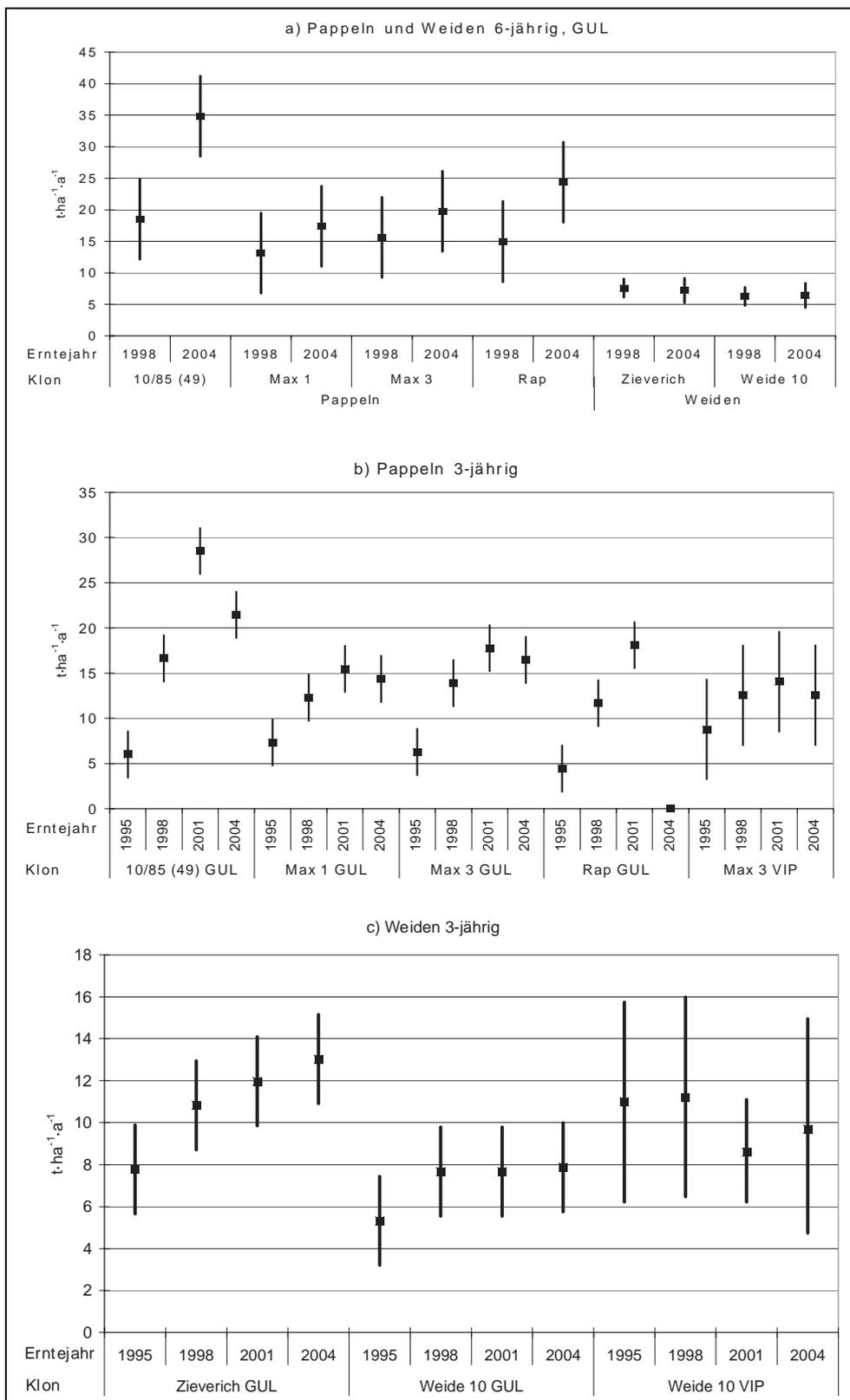


Abb. 1: Jährlicher Holz-trockenmasseertrag und Vertrauensintervall (90%) der ausgewählten Pappel- und Weidenklone (GUL=Gülzow, VIP=Vipperow) *Annually biomass yields (dry matter) with confidence interval (90%) of several clones of Populus and Salix-spp. (GUL=Gülzow, VIP=Vipperow)*

stimmt. Als Referenzflächen dienten in GUL die Parzellen der bereits im Pflanzjahr ausgefallenen Pappel ‚Unal‘ und in VIP eine angrenzende Rasenfläche. Von diesen Flächen wurde kein Erntegut abgefahren. Die Kalkulation der Nährstoffvorräte je Hektar erfolgte für die Bodenschicht 0–30 cm unter Nutzung der Trockenrohddichte (Stechzylinderproben) und der P- und K-Gehalte (Beutelprobe) je Prüfglied nach folgender Formel:

Nährstoffvorrat (kg ha^{-1}) = Nährstoffgehalt ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ Boden) \times Trockenrohddichte (g cm^{-3}) \times Bodentiefe (cm) \times 1000

Die Abfuhr der Nährstoffe P und K wurde aus der Kombination von Ertrag der beprobten Parzellen und Gehalten im Erntegut wie folgt berechnet:

Nährstoffabfuhr (kg ha^{-1}) = Erntemasse (t TM ha^{-1}) \times Nährstoffgehalt (mg g^{-1} TM)

Da keine Bestimmung der Nährstoffgehalte im Erntegut der Versuche erfolgt ist, wurde folgende Literaturangabe (AUTORENKOLLEKTIV 2006) genutzt (Gehalte in mg g⁻¹):

Pappel	P: 1,1	K: 3,3
Weide	P: 0,9	K: 2,4

Zur statistischen Prüfung der Gehalte an den pflanzenverfügbaren Nährstoffen P und K und ihrer Veränderung über die Zeit wurden einfaktorielle Varianzanalysen (ANOVA), basierend auf dem F-Test, berechnet. Das Signifikanzniveau betrug $p < 0,05$. Für die statistische Verrechnung der Erträge wurde das Softwarepaket SAS mit der Prozedur „PROC MIXED“ zur Durchführung des F-Testes und Berechnung der Vertrauensintervalle genutzt.

Ergebnisse

Die Erträge der für die Bodenuntersuchung ausgewählten Pappelklone lagen bei 13,8 t ha⁻¹ a⁻¹ Holz trockenmasse bei 3-jährigem und bei 19,8 t ha⁻¹ a⁻¹ bei 6-jährigem Umtrieb. Der jährliche Ertrag der geprüften Weidenklone betrug im 3-jährigen Umtrieb 9,8 t ha⁻¹ und im 6-jährigen Umtrieb 7,0 t ha⁻¹ Holz trockenmasse.

In Abb. 1 wird die Ertragsentwicklung im Untersuchungszeitraum, differenziert nach Weiden und Pappeln sowie Umtriebszeit, für die in Tab. 1 aufgeführten Klone dargestellt. Daraus geht deutlich hervor, dass die Erträge der Pappeln außer durch die Länge der Umtriebszeit auch durch das Alter der Wurzelstöcke bestimmt wurden. Der hohe Ertragszuwachs vom 1. zum 2. Umtrieb ist auf die Zunahme der Bestockung zurückzuführen. Durch den Wiederaustrieb entwickelten sich zunächst 4-5 Triebe je Pflanzstelle, die sich bis zur Ernte infolge intraspezifischer Konkurrenz auf 1-2 (6-jährige) bzw. 3-4 (3-jährige) ertragswirksame Triebe reduzierten.

Bei 3-jährigem Umtrieb wurde die bisher höchste durchschnittliche Jahresleistung in der 3. Umtriebszeit festgestellt. Der Ertragsrückgang im Zeitraum 2001-2004 ist im

Zusammenhang mit der geringen Niederschlagsmenge in dieser Periode zu sehen (Tab. 2). Die Sorte Rap konnte nur bis zur 3. Umtriebszeit untersucht werden (vgl. Abb. 1 Mitte), da die einjährigen Triebe der folgenden Rotation infolge Pilzbefalls während der Vegetationszeit und später auch die 10-jährigen Wurzelstöcke insgesamt abgestorben sind. Bei 6-jährigem Umtrieb erzielte die Neuzüchtung 10/85(49) im 2. Umtrieb mit einer durchschnittlichen Jahresleistung von 34,8 t ha⁻¹ TM den bisher höchsten Ertrag im gesamten Prüfsortiment der Pappelklone.

Die Weidenklone erreichten an den beiden Standorten im 12-jährigen Mittel jährliche Zuwächse von 9,8 t ha⁻¹ bei 3-jährigem und 7,0 t ha⁻¹ bei 6-jährigem Umtrieb. Sie spiegeln damit das Ertragsniveau des gesamten Weidenklonprüfsortiments wider (siehe unten). Allerdings wurde hier eine Wechselwirkung Sorte x Umtriebszeit festgestellt, d.h. es gibt auch Weidensorten, die bei 6-jährigem Umtrieb höhere Erträge bringen als bei 3-jährigem Umtrieb. Da die Weidenklone bereits im Pflanzjahr mehrtriebig wachsen, war der Ertragszuwachs nach der ersten Ernte im Vergleich zu den Pappelklonen geringer. Die Anzahl der ertragswirksamen Weidentriebe lag im 1. Umtrieb bereits bei 3,1 und bei den weiteren Ernten bei 5,0 Stück je Wurzelstock. Dies entspricht etwa einem Drittel bis einem Fünftel des Wiederaustriebs im 1. Jahr nach dem Rückschnitt.

Basierend auf den Ertragsdaten und den Gehalten an P und K im Erntegut ergaben sich für die P- und K-Abfuhr im 12-jährigen Prüfzeitraum folgende Spannweiten: Phosphor 72-348 kg ha⁻¹, Kalium 192-1056 kg ha⁻¹. Daraus leiten sich jährliche Nährstoffabfuhr im Größenbereich von 6-29 kg P ha⁻¹ bzw. 16-88 kg K ha⁻¹ ab (Tab. 3).

Betrachtet man die Entwicklung der Nährstoffgehalte des Bodens über die Zeit, so ergab sich nach 6-jähriger Standdauer der Bäume nahezu keine Veränderung, während nach 12 Jahren ein deutlicher Rückgang des K-Gehaltes, insbesondere im Versuch VIP, festzustellen war (Tab. 4). Wird der Nährstoffstatus der Böden nach den Richtwerten der LUFA Rostock (SCHWEDER et al. 2004) eingeschätzt, ergaben sich allerdings die gleichen Gehalts-

Tab. 3: In 12 Jahren kumulierte Trockenmasseerträge und durchschnittliche jährliche Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut *Cumulative biomass yields (dry matter) after 12 years and average annual nutrient removal through biomass*

Baumart	Umtriebszeit	Klon	Erntemassee gesamt t ha ⁻¹	Abfuhr	
				P kg ha ⁻¹	K kg ha ⁻¹
Gülzow					
Pappel	3-jährig	10/85(49)	218	20	60
		Max1	149	14	41
		Max3	164	15	45
		Rap	153	14	42
	6-jährig	10/85(49)	320	29	88
		Max1	183	17	50
		Max3	212	19	58
		Rap	236	22	65
Weide	3-jährig	Zieverich	102	8	20
		Weide10	131	10	26
	6-jährig	Zieverich	89	7	18
		Weide10	80	6	16
Vipperow					
Pappel	3-jährig	Max3	144	13	40
Weide	3-jährig	Weide10	122	9	24

Tab. 4: Veränderung der pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte des Bodens (0-30 cm, mg 100 g⁻¹ Boden); Gehaltsklasse C nach LUFA Rostock: P 5,5-8,0 mg 100 g⁻¹; K 8-11 mg 100 g⁻¹ (SCHWEDER et al. 2004)
Changes in plant available P and K contents of the soil (0-30 cm, mg 100 g⁻¹ soil)

Jahr/Variante	Gülzow pH-Wert 5,5-5,7		Vipperow pH-Wert 5,9-6,4	
	P	K	P	K
1993	6,6 C ^a	15,0 D	7,6 C	17,7 D
1999 Bäume	7,8 C	16,5 D	6,5 C	19,2 E
1999 Referenz	6,2 C	10,3 C	n.u.	9,4 C
2005 Bäume	6,2 ^b C	12,7 ^b D	5,5 C	11,9 ^b D
2005 Referenz	4,6 B	8,7 C	4,4 B	10,8 C

^aGehaltsklasse nach LUFA Rostock

^bsignifikant verschieden im Vergleich mit 1999 Bäume

n.u. = nicht untersucht

Tab. 5: Einfluss der Baumart auf die Veränderung der P- und K-Gehalte des Bodens nach 12 Jahren (0-30 cm, mg 100 g⁻¹ Boden)
Effect of tree species on changes of P and K contents of the soil after 12 years (0-30 cm, mg 100 g⁻¹ soil)

Ort/Jahr	P			K		
	Pappel	Weide	Sign.	Pappel	Weide	Sign.
Gülzow (beide Baumarten)	1993	6,6		15,0		
	2005	7,2	5,8	n. s.	12,5	14,8
Vipperow (beide Baumarten)	1993	7,6		17,7		
	2005	7,0	4,0	p=0,05	12,3	11,5

klassen wie zu Beginn des Versuches. Die mit schnellwachsenden Bäumen bestandenen Parzellen beider Standorte wiesen jeweils höhere P- und K-Gehalte auf als die Referenzparzellen.

Die festgestellten Unterschiede der P- und K-Bodengehalte in Abhängigkeit von der Umtriebszeit waren nicht signifikant. Der Einfluss der Baumart zeigte sich dagegen an beiden Standorten. Allerdings ist der stärkere Rückgang des P-Gehaltes bei Weiden nur in Vipperow gesichert. Für die Pappeln in Gülzow konnte im Vergleich zu den Weiden ein geringerer K-Gehalt nachgewiesen werden (Tab. 5).

Während der 12-jährigen Nutzungsdauer nahmen die Vorräte an pflanzenverfügbarem P und K an beiden Versuchsstandorten ab (Abb. 2). Die Abnahme der P-Vorräte beläuft sich auf insgesamt 54 kg ha⁻¹ (GUL) bzw. 114 kg ha⁻¹ (VIP). Für die K-Vorräte ergaben sich analog Abnahmen um 189 kg ha⁻¹ (GUL) bzw. 312 kg ha⁻¹ (VIP) (Tab. 6). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Einzelfall erhöhte Nährstoffgehalte mit verringerten Nährstoffvorräten einhergehen können. Ursache hierfür sind die durch die Akkumulation von organischer Substanz reduzierten und in die Kalkulation eingehenden Trockenrohdichten des Bodens. Beispielhaft dafür sei der K-Vorrat im Versuch VIP genannt, der sich trotz steigender K-Gehalte im Zeitraum 1993 (17,7 mg 100 g⁻¹) bis 1999 (19,2 mg 100 g⁻¹) bei gleichzeitig abnehmenden Trockenrohdichten (vgl. KAHLE et al. 2007) verringert hat. Beim Vergleich der mittleren Nährstoffabfuhr mit der Veränderung der Bodenvorräte von 1993-2005 werden Unterschiede zwischen den Standorten deutlich. Während im Falle VIP 85% der P- und

81% der K-Abfuhr der Verringerung des Vorrates in der Schicht 0-30 cm zugeordnet werden können, waren es im Falle GUL nur 34% für P und 41% für K (vgl. Tab. 6).

Diskussion

Im Mittel von 12 Jahren ergab sich unter den Standortbedingungen Mecklenburg-Vorpommerns ein erhebliches Ertragspotenzial für Weiden und Pappeln. So beträgt das Mittel des Gesamtversuches bei Weiden im 3- oder 6-jährigen Umtrieb 10,1 bzw. 8,9 t ha⁻¹ a⁻¹, Pappeln erreichten entsprechend im 3- oder 6-jährigen Umtrieb 15,6 bzw. 21,2 t ha⁻¹ a⁻¹ Holztrockenmasse (BOELCKE 2006, 2007). Das erreichte hohe Ertragsniveau und die vorgefundene Differenzierung nach Baumart (Weide, Pappel), Umtriebszeit und Standort bestätigen Erfahrungen von HOFMANN-SCHIELLE et al. (1999), JUG et al. (1999), ADEGBIDI (2001), die mit anderen Klonen und an anderen Standorten ähnliche Effekte feststellten und dabei die Überlegenheit der Pappeln gegenüber den Weiden nachweisen konnten. Die bisherige Leistung des Klons 10/85(49) in diesem Versuch erfüllt die Erwartungen, die an die Züchtung von Hybridpappeln geknüpft worden sind. WEISSGERBER (1986) sah in der Schaffung von besser an den Kurzumtrieb angepassten Sorten mögliche Ertragssteigerungen von 15 auf 30 t ha⁻¹ a⁻¹. Hybride aus *P. trichocarpa* x *P. deltoides*, wie Rap, verfügen ebenfalls über ein hohes Ertragspotenzial, jedoch ist die Ertragssicherheit dieser Sorten aufgrund mangelnder *Melampsora*-Resistenz unbefriedigend. Wer-

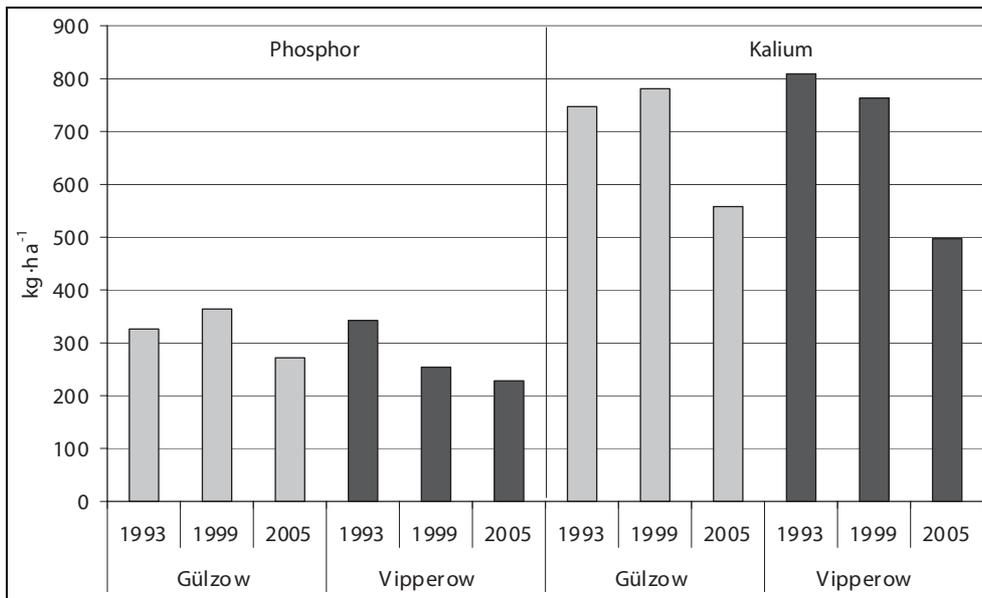


Abb. 2: P- und K-Vorräte im Boden 1993-2005 (0-30 cm)
P and K pools in the soils 1993-2005 (0-30 cm)

Tab. 6: Vergleich der P- und K-Abfuhr und der gemessenen P/K-Bodenvorräte nach 12-jähriger Bewirtschaftung (1993-2005)
Comparison of the P and K removal and the measured P and K pools in the soils after 12 years of cultivation (1993-2005)

	Gülzow		Vipperow	
	P	K	P	K
Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut in kg ha ⁻¹				
Varianten				
Pappeln3-jährig	188	564	158	475
6-jährig	262	785	-	-
Weiden3-jährig	105	280	110	293
6-jährig	76	203	-	-
Mittelwert	158	458	134	384
Abnahme des Bodenvorrates 1993-2005 in kg ha ⁻¹				
	54	189	114	312

den zur Schätzung des möglichen Ertrages auf Praxisflächen die Versuchsergebnisse um 15-20% reduziert, ergibt sich ein Ertragsniveau zwischen 8 und 18 t ha⁻¹ a⁻¹ (BOELCKE 2007).

Die in den Versuchen ermittelten P- und K-Abfuhrungen, die die Angaben von HEILMAN & NORBY (1998) sowie ADEGBIDI et al. (2001) bestätigen, zeigten bislang keinen Einfluss auf das Ertragsniveau der Pappeln und Weiden. Eine Ursache hierfür könnte die ausreichend bis sehr gute Nährstoffausstattung der Böden sein (vgl. Tab. 4), die als Folge der früheren Ackernutzung zu interpretieren ist und offenbar sehr gute Voraussetzungen für den Anbau schnellwachsender Bäume im Kurzumtrieb bietet. Ein weiterer Aspekt ist der Verbleib der Blattstreu auf der Fläche bei Ernten im Winter. Dieser Erntetermin in der Vegetationsruhe ist notwendig, um den Wiederaustrieb der Stöcke nicht zu gefährden. Die Unterschiede zwischen den Standorten weisen aber auch auf Effekte hin, die im Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung des Unterbodens zu sehen sind. So ergab die zu Versuchsbeginn 1993 vorgenommene Untersuchung von Bodenleitprofilen im Bv-Horizont (30-110 cm) des Standortes GUL 1,5 mg P 100 g⁻¹ und 8,0 mg K 100 g⁻¹, während der Bt-Horizont (50-90 cm) am Standort VIP keinen pflanzenverfügbaren Phosphor und lediglich 1,6 mg K 100 g⁻¹ aufwies (HILDEBRAND 2006). Die

abnehmenden Vorräte an P und K nach 12 Versuchsjahren (Tab. 6) sind - ausgehend von einer ähnlichen Nährstoffversorgung der Oberböden (Tab. 4) und vergleichbarer Nährstoffabfuhr - offenbar durch die standortspezifische Nährstoffausstattung und -freisetzungen sowie -translokationen innerhalb des Bodens bedingt. Letztere sind für die vergleichsweise stärkere Nährstoffabschöpfung am Standort VIP gegenüber GUL verantwortlich.

Aus dem Vergleich der abgefahrenen P- und K-Mengen und den Bodengehalten an P und K nach 12-jähriger Standdauer der Bäume ergibt sich vorerst keine Notwendigkeit zur Düngung. Diese Aussage, die Angaben von MAKESCHIN et al. (1989), HOFMANN-SCHIELLE (1999) an anderen Standorten Deutschlands bestätigt, wird gestützt durch nahezu unveränderte pH-Werte und vorgefundene Erhöhungen der C_{org} und N_t-Gehalte in den Böden der Versuchsstandorte GUL und VIP sowohl nach 6 als auch 12 Jahren Nutzungsdauer der Bäume. Der C_{org}-Gehalt der Bodenschicht 0-20 cm stieg bis 2005 in GUL von 0,73% auf 1,04% und in VIP von 0,77% auf 1,17% an und ging mit erhöhten N_t-Gehalten einher (KAHLE et al. 2007). Daraus resultierend sind ein erhöhtes Kationenaustauschvermögen sowie weitere positiv zu bewertende Auswirkungen auf verschiedene chemische, physikalische und biologische Bodeneigenschaften zu erwarten. Bei der Ableitung von

Düngempfehlungen für die Zeit der Bewirtschaftung von Baumplantagen, als auch zum Zeitpunkt der Wiedereingliederung dieser Kurzumtriebsflächen in die konventionelle Ackernutzung, ist der Humusakkumulationseffekt besonders zu beachten.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der durch die Blattstreu und Feinwurzeln ausgelöste Stofffluss die Nährstoffversorgung der Böden erheblich beeinflussen kann. Betrachtet man beispielsweise den C-Pool des Bodens und kalkuliert ausgehend von einem jährlichen Blattfall von ca. 3 t ha⁻¹ und einem C-Gehalt in der Blattbiomasse von 50% (SCHMID 1999), so leitet sich nach der dynamischen Methode von GUCKERT (1992) eine C-Akkumulation von 3,3 t ha⁻¹ in 12 Jahren ab. Hinzu kommt die C-Akkumulation aus der Wurzelstreu, die in Abhängigkeit von der angelieferten Menge an Feinwurzeln, deren Lebensdauer und klonspezifischen Abbauraten (HEILMAN & NORBY 1998, BLOCK et al. 2006) variiert. Die C-Menge aus unterirdischer Biomasse wurde an den Versuchsstandorten GUL und VIP auf 6,2 t ha⁻¹ im 12-jährigen Prüfzeitraum geschätzt (KAHLE et al. 2007). Diese Größenangabe stützt vorliegende Ergebnisse zum C-Vorrat von Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln aus Simulationsrechnungen bzw. Literaturstudien (DECKMYN et al. 2004, BLOCK et al. 2006). Außer C werden mit dem Blattfall und über die Feinwurzeln auch erhebliche Nährstoffmengen angeliefert. Nach HENDRICK & PREGITZER (1993) können beispielsweise 85 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stickstoff über diesen Pfad dem Boden zugeführt werden. Bei Annahme von 3 t ha⁻¹ Blattfall pro Jahr, einer Abbaurate von 65% und Nährstoffgehalten von 3 mg P g⁻¹ und 20 mg K g⁻¹ in den Blättern von Weiden und Pappeln (JUG et al. 1999) kann mit einer Nährstoffrückführung von insgesamt 9 kg P ha⁻¹ und 60 kg K ha⁻¹ gerechnet werden. Diese Ergebnisse stützen den von STETTER & MAKESCHIN (1997) festgestellten raschen Abbau der Blatt- und Wurzelstreu und die daraus resultierende Rückführung der in der Biomasse gespeicherten Nährstoffe in den pflanzenverfügbaren Pool.

Bei Weiden und Pappeln ist darüber hinaus der Effekt der Mykorrhizierung zu berücksichtigen, da bei Vorhandensein geeigneter Pilzpartner sowohl Endo- als auch Ektomykorrhizen ausgebildet werden können (BAUM & MAKESCHIN 2000, BAUM et al. 2000, 2002). Diese Symbiosen schaffen über die Assimilate der Pflanzen eine C-Quelle, die als Basis für eine verstärkte Nutzung von Bodenwasser und Nährstoffen fungiert und somit das Baumwachstum fördert (BLOCK et al. 2006).

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass der Betrieb von Schnellwuchsplantagen eine gute Möglichkeit darstellt, das hohe Nährstoffpotenzial ehemaliger Ackerflächen schonend zu nutzen und langsam abzuschöpfen sowie durch geringen Aufwand an Düngern und Pflanzenschutzmitteln ökonomische Vorteile zu erzielen.

Literatur

- ADEGBIDI, H. G., T. A. VOLK, E. H. WHITE, L. P. ABRAHAMSON, R. D. BRIGGS & D. H. BICKELHAUPT, 2001: Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenergy* **20**, 399-411.
- AUTORENKOLLEKTIV, 2006: Anbauhinweise Pappeln und Weiden. In: KTBL (Hrsg.): KTBL-Datensammlung „Energiepflanzen“, 290-299. KTBL, Darmstadt.
- BAUM, C. & F. MAKESCHIN, 2000: Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on mycorrhizal formation of two poplar clones (*Populus trichocarpa* and *P. tremula x tremuloides*). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **163**, 491-497.
- BAUM, C., K. SCHMID & F. MAKESCHIN, 2000: Interactive effects of substrates and ectomycorrhizal colonization on growth of a poplar clone. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **163**, 221-226.
- BAUM, C., M. WEIH, T. VERWIJST & F. MAKESCHIN, 2002: The effects of nitrogen fertilization and soil properties on mycorrhizal formation of *Salix viminalis*. *Forest Ecol. Manage.* **160**, 35-43.
- BLOCK, R., K. VAN REES & J. KNIGHT, 2006: A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. *Agroforestry Systems* **67**, 73-84.
- BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 1994: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter (Hrsg.), Hannover, 4. Aufl..
- BOELCKE, B., 2006: Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden spec. in Kurzumtriebsplantagen. 1. Fachtagung Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen, 2006 Nov 6-7, Tharandt/Sachsen. TU Dresden (Hrsg.), 51-56.
- BOELCKE, B., 2007: Zur Sortenfrage schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Mitt. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern **37**, 41-46.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU), 2006: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Bonifatius GmbH, Paderborn.
- DECKMYN, G., B. MUYS, J. GARCIA QUIJANO & R. CEULEMANS, 2004: Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beech forest to short-rotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model. *Global Change Biology* **10**, 1482-1491.
- GUCKERT, A., 1992: Bedeutung der Pflanzenwurzeln und ihrer Ausscheidungen als Quellen organischer Stoffe im Boden. Berichte über Landwirtschaft 206. Sonderheft: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Band 4: Humusgehalt, 13-29. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- GUO, L. B., R. E. H. SIMS & D. J. HORNE, 2006: Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return. *Biomass Bioenergy* **30**, 393-404.
- HEILMAN, P. & R. NORBY, 1998: Nutrient cycling and fertility management in temperate short rotation forest systems. *Biomass Bioenergy* **14** (4), 361-370.
- HENDRICK, R. L. & K. S. PREGITZER, 1993: The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Can. J. For. Res.* **23**, 2507-2520.
- HILDEBRAND, E., 2006: Auswirkungen des 12jährigen Anbaus schnellwachsenwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf ausgewählte physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften. Masterarbeit, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock.
- HOFMANN-SCHIELLE, C., A. JUG, F. MAKESCHIN & K. E. REHFUESS, 1999: Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecol. Manage.* **121**, 41-55.
- HOFMANN, M., 1999: Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände. In: Modellvorhaben Schnellwachsende Baumarten. Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe **13**, 151-239. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- HOFFMANN, G., 1991: Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Methodenbuch 1. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- ISERMAYER, F. & Y. ZIMMER, 2006: Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Bericht FAL Braunschweig.
- JUG, A., C. HOFMANN-SCHIELLE, F. MAKESCHIN & K. E. REHFUESS, 1999: Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *Forest*

- Ecol. Manage. **121**, 85-99.
- KAHLE, P. & B. BOELCKE, 2004: Auswirkungen des Anbaus schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf ausgewählte Bodeneigenschaften. Bornimer Agrartechnische Berichte **35**, 99-108.
- KAHLE, P., C. BAUM, B. BOELCKE & E. HILDEBRAND, 2007: Long term effect of short rotation forestry on soil properties. Archives of Agronomy and Soil Science **53**, 673-682.
- MAKESCHIN, F., K. E. REHFUSS, I. RÜSCH & R. SCHÖRRY, 1989: Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf ehemaligem Acker: Standortliche Voraussetzungen, Nährstoffversorgung, Wuchsleistung und bodenökologische Auswirkungen. Forstw. Cbl. **108**, 125-143.
- SCHMID, K., 1999: Inokulation ektomykorrhizierender Pilzarten an *Populus trichocarpa* HOOK. Im Gefäßversuch. Diplomarbeit, TU Dresden.
- STETTER, U. & F. MAKESCHIN, 1997: Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik vormals landwirtschaftlich genutzter Böden nach Erstaufforstung mit schnellwachsenden Baumarten. Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges. **85** (II), 1047-1050.
- SCHWEDER, P., H.-E. KAPE & B. BOELCKE, 2004: Düngung – Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis. Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern.
- WEISSGERBER, H., 1986: Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Voraussetzungen, Leistungen, Perspektiven. J. Agronomy & Crop Science **156**, 173-187.

Eingegangen am 12. Dezember 2007;
angenommen am 21. Juli 2008

Anschriften der Verfasser: PD Dr. habil. Barbara Boelcke, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Dorfplatz 1, 18276 Gülzow, E-mail: b.Boelcke@lfa.mvnet.de; Dr. agr. Petra Kahle, Universität Rostock, Institut für Landnutzung, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock, E-Mail: petra.kahle@uni-rostock.de