

# Frühe Wurzel- und Sprossentwicklung von Pappelsteckhölzern unter Trockenstress – ein Ansatz zur Phänotypisierung von Gehölzen

## Early root and shoot development of cottonwood cuttings under drought stress – a phenotyping approach for woody plants

Sandra Korn, Matthias Meyer, Rosi Müller, Fred Fuchs, Alexander Solger, Doris Krabel

**Summary** Cultivation of fast growing tree species like poplar in short-rotation forestry systems has increased the demand of knowledge about their growth performance and biomass production. Production of wood and economic success depend on a high biomass production even under drought stress, making the selection of adapted varieties/genotypes an important factor. Unrooted dormant hardwood cuttings are used for setting up the short rotational plantations. Their establishment depends on a rapid root growth of the cuttings. To test the rooting ability of three genotypes of poplar we set up a pot experiment in the greenhouse. A comparative survey of well-watered and drought-stressed cuttings showed differences between the three genotypes in root and shoot length, root and shoot dry mass, as well as their growth performance under water limiting conditions. So experiments of this type can be used for determining suitable genotypes at a very early stage of development before planting in the field.

**Schlüsselwörter:** Spross- und Wurzelentwicklung, Pappelsteckhölzer, Trockenstress, Phänotypisierung; shoot and root development, poplar cuttings, drought stress, phenotypification.

### 1. Einleitung

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Nutzung erneuerbaren Energien hat die Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit schnellwachsenden Baumarten wie Pappel, Weide oder Robinie in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen (Janßen et al. 2012). Für die energetische Holznutzung aber auch als Industrieholz ist ein höchstmöglicher Biomassertrag wesentlich für die Wirtschaftlichkeit der KUP. Im Fokus steht somit die oberirdische Biomasse. Da jedoch für die Anlage einer KUP Steckhölzer genutzt werden, ist bereits für junge Pflanzen das Ertragen und Überdauern von Trockenheit ein wichtiger Faktor für die Auswahl geeigneter Sorten. Nur durch eine schnelle Wurzelbildung und ein effizientes Wurzelwachstum wird eine erfolgreiche Etablierung gewährleistet (Wiese et al. 2006). Die Wurzelentwicklung einer jungen Pappel im Feld wird zum einen bestimmt von der eingesetzten Sorte (Zalesny et al. 2003, 2004, 2005; Monclus et al. 2006) zum anderen auch beeinflusst durch Umweltbedingungen wie Trockenperioden im Frühjahr und Sommer, Anschluss des Wurzelsystems an Grundwasser und bodenphysikalische Eigenschaften (Wiersum 1980; Zalesny et al. 2004) sowie durch Interaktionen zwischen Genotyp und Umweltbedingungen (Zalesny et al. 2005). Die Steckhölzer werden im Frühjahr direkt auf der zukünftigen Plantage gesteckt, so dass insbesondere in den ersten Wochen auftretende Trockenphasen die Bewurzelung und damit den Anwuchserefolg negativ beeinflussen können. Einbußen im Biomassertrag durch den Verlust der Pflanzen während dieser Phase stellen ein großes ökonomisches Problem dar, dem durch die Auswahl geeigneter Sorten begegnet werden kann. Die Züchtung von Pappeln mit einer hohen Trockenheitstoleranz bei gleichzeitig hoher Biomasseproduktion ist dabei ein wichtiger Aspekt, der seit einigen Jahren intensiv untersucht wird (NW-FVA 2012). Während Zalesny et al. schon 2005 die weitergehende Untersuchung der frühen Wurzelentwicklung von Pappel-Steckhölzern empfehlen, ist für viele in Europa eingesetzte Sorten der Forschungsstand noch gering. Daher sollen in dieser Studie die Wurzel- und die Sprossentwicklung dreier kommerziell genutzter Pappelklone in den ersten Wochen der Anwuchsphase im Gewächshaus quantifiziert werden. Der Einfluss der Bewässerung sowie der Einfluss des eingesetzten Genotyps auf den Anwuchserefolg wird ebenso betrachtet. Die Ergebnisse sollen hinsichtlich ihres Nutzens für eine Phänotypisierung von jungen Pflanzen diskutiert werden.

### 2. Material und Methoden

Steckhölzer der Pappelklone *Max 3*, *Hybride 275* und *AF2* wurden im Gewächshaus der TU Dresden in Hetzdorf (50,96°N; 13,45°W) über 9 Wochen angezogen und untersucht. Die Steckhölzer mit einer Länge von 20 cm und einem Durchmesser von 1,5 cm im Durchschnitt entstammen einer Baumschule (P&P Dienstleistung GmbH & Co. KG, Baumschule Großthiemig). Es wurden 150 Steckhölzer je Klon in Rosentöpfe mit einer Abmessung von 11,3 x 11,3 x 21,5 cm in ein Erd-Sand-Gemisch mit dem Verhältnis 1:3 gesteckt. Für das Substrat

wurde Einheitserde (Typ ED 73, Hermann Meyer KG, Nossen) mit hohem Tongehalt und grober Torfstruktur sowie Sand (Kieswerk Ottendorf-Okrilla GmbH & Co. KG), mit Korngrößen bis 2 mm, verwendet.

Alle 450 Steckhölzer wurden zunächst während der dreiwöchigen Anwuchsphase bis zur Bodensättigung automatisiert bewässert, um ein gutes Anwachsen zu gewährleisten. In der folgenden Versuchsphase wurden die Pflanzen auf zwei Bewässerungsvarianten aufgeteilt: in der Variante „feucht“ wurden 70 Pflanzen pro Sorte weiterhin automatisiert bewässert. Dabei wurde ein mittlerer volumetrischer Bodenwassergehalt von 16,5 Vol.% und eine relative Luftfeuchtigkeit von 86,9 % im Mittel über die Versuchsdauer verwendet. In der Variante „trocken“ wurden ebenfalls 70 Pflanzen pro Sorte über 6 Wochen unter Trockenstress gesetzt. Dabei wurde ein niedrigerer Bodenwassergehalt von nur 7,8 Vol.% und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 81,3 % verwendet. Die Bewässerung erfolgte manuell in Abhängigkeit des volumetrischen Wassergehaltes des Substrats. Dieser wurde mittels TDR-Sonden (FOM/mts-Messgerät, Institute of Agrophysics, Polen) gemessen, erst bei einem Absinken unter 8 Vol.% wurde die trockene Variante bewässert. Nach der Anwuchsphase erfolgte die erste Entnahme (E1) und vollständige Ernte von 10 Pflanzen pro Sorte und Variante. Während der Versuchsphase wurden an fünf aufeinanderfolgenden Wochen systematisch ebenfalls 10 Pflanzen pro Sorte und Variante entnommen (E2 – E6). An diesen insgesamt 20 geernteten Pflanzen pro Entnahme und Sorte wurden folgende Parameter vermessen: Wurzellänge (längste Wurzel), Sprosslänge (längster Trieb), Trockenmasse Wurzel und Blatt. Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Programm SPSS (Version 20.0.0, IBM Corporation, München) durchgeführt. Die Varianzhomogenität wurde mittels Levene-Test, die Normalverteilung mittels Kolmogorow-Smirnov-Test geprüft ( $\alpha = 0,05$ ). Einer ein- bzw. zweifaktoriellen Varianzanalyse schloss sich der LSD-Test nach Fisher an.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Die erste Bonitur des oberirdischen Wachstums wurde 17 Tage nach dem Stecktermin durchgeführt (Tabelle 1). Schon hier lassen sich erste sortenspezifische Unterschiede feststellen. Pflanzen der Sorte Hybride 275 wiesen das stärkste Wachstum auf, 88,7 % der Steckhölzer hatten Sprosse mit einer Länge > 5 cm und mehreren Blättern. Weiterhin zeigten alle Steckhölzer der Sorten Hybride 275 und Max 3 schon ein deutliches oberirdisches Wachstum, wohingegen 9,3 % der Steckhölzer der Sorte AF2 kein oder nur ein sehr geringes Wachstum zeigten.

Über den Verlauf der Versuchsphase wurde der Zuwachs an Wurzel- und Sprosslänge der drei Pappelsorten gemessen. Betrachtet man zunächst den Sprosslängenwachstum (Abb. 1), zeigt sich ein deutlich reduziertes Längenwachstum in der trockenen Variante bei allen Pappelsorten. Schon ab dem dritten Entnahmetermin, also 5 Wochen nach dem Stecken, unterscheiden sich die drei Sorten signifikant in ihrer Sprosslänge. Max 3 zeigt über den gesamten Versuchsverlauf in beiden Bewässerungsvarianten den größten Zuwachs, mit einem durchschnittlichen Zuwachs von 62,0 cm (feuchte Variante) bzw. 37,6 cm (trockene Variante), während AF2 mit 48,6 cm (feucht) bzw. 26,1 cm (trocken) die geringsten Zuwächse verzeichnete.

Auch das Längenwachstum der Wurzel ist in der trockengestressten Variante für die drei Sorten reduziert (Abb. 2). Lediglich in der feuchten Variante können signifikante Unterschiede zwischen den Sorten ab der 7. Woche nach dem Stecken bestimmt werden. Die größte Längenzunahme im Wurzelbereich zeigte sich für Pflanzen der Sorte AF2 mit 29,8 cm bzw. 13,3 cm, während Pflanzen der Sorte Hybride 275 lediglich 9,2 cm bzw. 6,9 cm längere Wurzeln zum Ende des Versuchs aufwiesen. Zalesny et al. (2005) untersuchten die Wurzelentwicklung von Pappel-Steckhölzern im Freiland, und konnten schon zwei Wochen nach dem Stecken signifikante Unterschiede zwischen Klonen verschiedener genetischer Gruppen nachweisen.

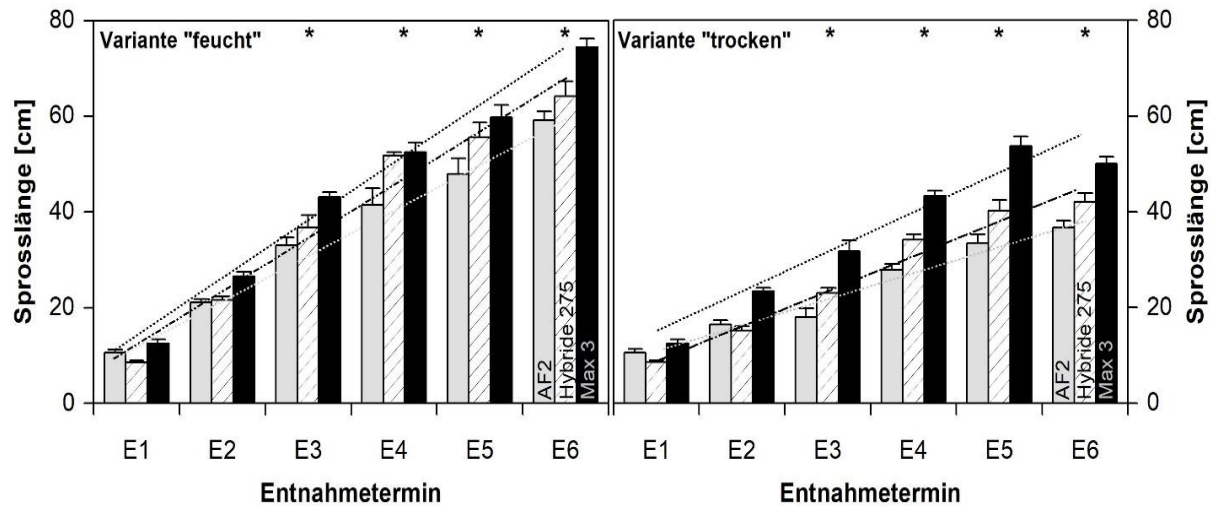
**Tabelle 1:** Bonitur des oberirdischen Wachstums der Steckhölzer der drei Pappelsorten 17 Tage nach Steckvorgang im Gewächshaus während der Anzuchtphase. Boniturschema: Stufe 0 – kein Sprosswachstum; Stufe 1 – Sprosslänge < 5 cm, Blätter eingerollt; Stufe 2 – Sprosslänge < 5 cm, Blätter entfaltet, geringe Blattmasse, Stufe 3 – Sprosslänge > 5 cm, Blätter entfaltet, deutliche Blattmasse.

**Table 1:** Rating of shoot growth of cuttings of the three different cottonwood varieties 17 days after planting in a greenhouse. Level 0 = no shoot growth; Level 1 = shoot length < 5 cm, curled leaves; Level 2 = shoot length < 5 cm, unfolded leaves; Level 3 = shoot length > 5 cm, leaves unfolded, significant leaf development.

Stufe / Wachstum	AF 2		Hybride 275		Max 3	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Stufe 3 / sehr gut	110	73,3	133	88,7	114	76,0
Stufe 2 / gut	26	17,3	13	8,7	32	21,3
Stufe 1 / gering	11	7,3	4	2,7	4	2,7
Stufe 0 / kein	3	2,0	0	0	0	0

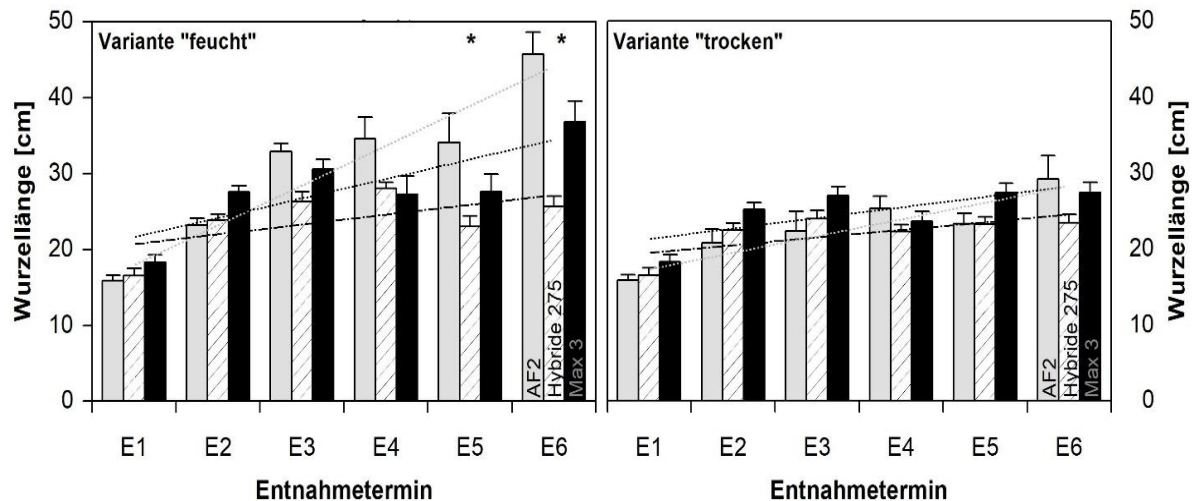
Dies wurde ebenfalls von Riemenschneider et al. (2001) für verschiedene Pappelsektionen untersucht. Dort zeigte die Sektion Balsampappel die besten Wurzelwachstumsleistungen. Betrachtet man die Ergebnisse des Zuwachses im Vergleich der feuchten und der trockengestressten Varianten (Tabelle 2), wird der Einfluss des Genotyps und der Bewässerung deutlich.

Oberirdisch reduzierte sich das Längenwachstum in der trockengestressten Variante bei den drei Sorten in ähnlichen Größenordnungen um 33 – 38 %. Unterirdisch zeigten Pflanzen der Sorten Max 3 und AF2 ebenfalls eine signifikante Reduktion des Längenwachstums um 25 – 30 % des Zuwachses. Dagegen konnte an Pflanzen der Sorte Hybride 275 kaum eine Reduktion des Wurzelwachstums festgestellt werden, da diese schon in der feuchten Variante nur ein geringes Längenwachstum der Wurzel aufwies.



**Abb. 1:** Maximale Sprosslängen (längster Trieb) der Pflanzen der drei Pappelsorten, gemessen an den Entnahmeterminen E1 – Ende der dreiwöchigen Anzuchtphase, E2 – E6 wöchentliche Entnahme. Dargestellt sind die mittleren Längen pro Sorte, Termin und Bewässerungsvariante,  $n = 10$ . Sternchen (\*) zeigen Termine, an denen signifikante Unterschiede zwischen allen Sorten gemessen werden konnten ( $P < 0,05$ ).

**Fig 1:** Maximum shoot length of plants of the three cottonwood varieties cultivated under different irrigation treatments (left: moist; right: dry). After a propagation phase of three weeks shoot lengths were weekly measured over six weeks (E1 – E6). Each bar represents the mean shoot length ( $n = 10$ ) of a certain cottonwood variety at a certain time point. An asterisk indicates significant differences between the varieties at a certain date (at  $p < 0.05$ ).



**Abb.2:** Maximale Wurzellängen der Pflanzen der drei Pappelsorten, gemessen an den Entnahmeterminen E1 – Ende der 3wöchigen Anzuchtphase, E2 – E6 wöchentliche Entnahme. Dargestellt sind die mittleren Längen pro Sorte, Termin und Bewässerungsvariante,  $n = 10$ . Sternchen (\*) zeigen Termine, an denen signifikante Unterschiede zwischen allen Sorten gemessen werden konnten.

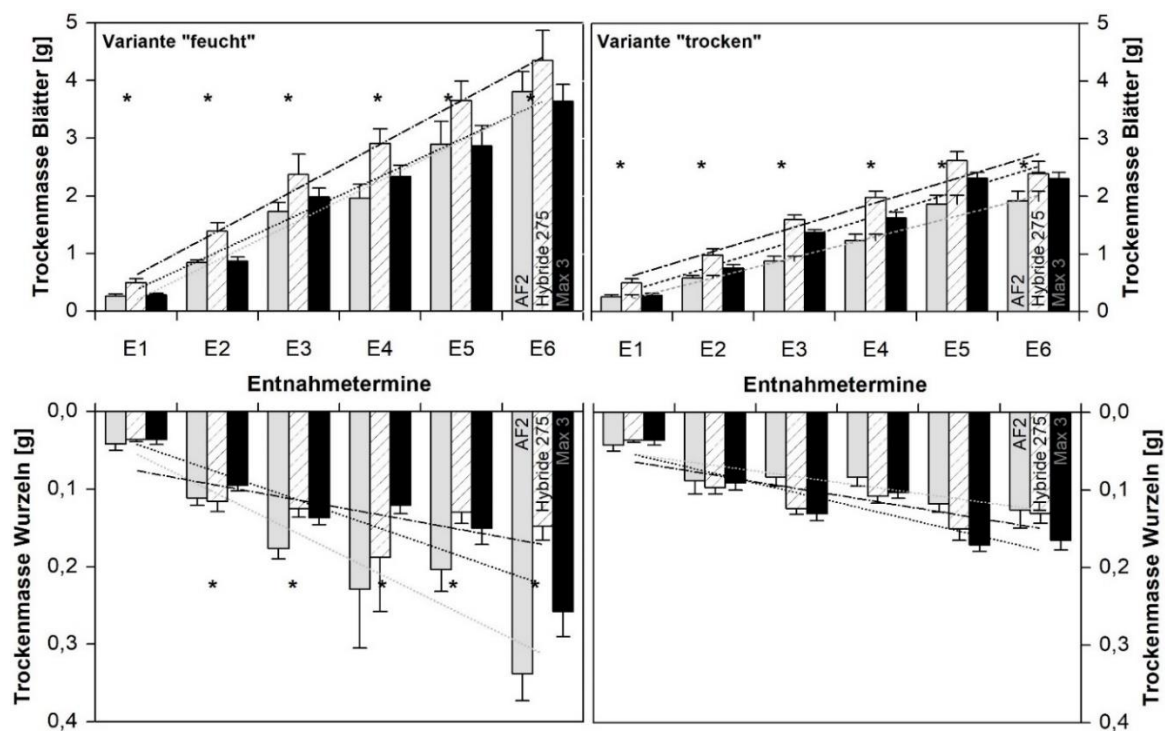
**Fig. 2:** Maximum root length of plants of the three cottonwood varieties cultivated under different irrigation treatments (left: moist; right: dry). After a propagation phase of three weeks shoot lengths were weekly measured over six weeks (E1 – E6). Each bar represents the mean shoot length ( $n = 10$ ) of a certain cottonwood variety at a certain time point. An asterisk indicates significant differences between the varieties at a certain date (at  $p < 0.05$ ).

**Tabelle 2:** Prozentuale Reduktion des Längenwachstums von Spross und Wurzel der drei Pappelsorten in der trocken-gestressten Variante im Vergleich zu der feuchten Variante.

**Table 2:** Percentage of reduction of the longitudinal shoot and root growth of the three cottonwood varieties cultivated under drought stress conditions in comparison to the reference.

Sorte	Wachstumsreduktion Spross (%)	Wachstumsreduktion Wurzel (%)
AF2	38,1	36,1
Hybride 275	34,5	8,7
Max 3	32,8	25,5

Diese Ergebnisse lassen sich ebenfalls für die ober- und unterirdischen Biomassen beschreiben (Abb. 3). Bereits mit der ersten Entnahme, drei Wochen nach dem Stecktermin, lassen sich signifikante Unterschiede zwischen den drei Sorten in der Blatttrockenmasse feststellen. Pflanzen der Sorte Hybride 275 weisen durchgehend die höchsten Werte auf. Die absolute Zunahme ist jedoch für die drei Sorten ähnlich sowohl in der feuchten (Hybride 275: 3,9 g; AF2: 3,6 g; Max 3: 3,4 g) als auch in der trockengestressten Variante (Hybride 275: 1,9 g; AF2: 1,7 g; Max 3: 2,0 g). Die Biomassebildung der Wurzel verläuft weniger gleichförmig und unterliegt größeren Schwankungen. In der feuchten Variante haben Pflanzen von AF2 die höchsten Zunahmen, gefolgt von Max 3-Pflanzen. Auch hier zeigt sich wieder, dass Pflanzen von Hybride 275 unabhängig von der Bewässerungsvariante ihr Wurzelsystem ausbilden. Die absoluten Wurzelmassezunahmen über die 6-wöchige Versuchsdauer unterscheiden sich in der feuchten Variante statistisch signifikant zwischen den drei Sorten: AF2 weist eine Zunahme von 0,30 g auf, Max 3 von 0,22 g und Hybride 275 von lediglich 0,11 g. Die absolute Wurzelmassezunahme in der trockengestressten Variante dagegen ist für die drei Sorten nicht statistisch signifikant unterschiedlich (AF2: 0,08 g; Max 3: 0,13 g; Hybride 275: 0,09 g). Damit zeigt sich, dass eine Reduzierung der Wasserverfügbarkeit für alle drei untersuchten Sorten zu reduziertem oberirdischem Längenwachstum und reduzierter Biomassebildung führt. Betrachtet man dagegen die Wurzelbiomasse und das Wurzelwachstum, kann für die Sorte Hybride 275 keine Beeinflussung durch die Trockenheit festgestellt werden. Diese Sorte zeigt jedoch insgesamt die geringste Wurzelbiomasse und die geringste Längenzunahme.



**Abb. 3:** Trockenmassen der Blätter und Wurzeln der Pflanzen der drei Pappelsorten, gemessen an den Entnahmetermine E1 – Ende der 3wöchigen Anzuchtphase, E2 – E6 wöchentliche Entnahme. Dargestellt sind die mittleren Trockenmassen pro Sorte, Termin und Bewässerungsvariante,  $n = 10$ . Sternchen (\*) zeigen Termine, an denen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten gemessen werden konnten.

**Fig. 3:** Dry biomass of leaves and roots of the three cottonwood varieties cultivated under different irrigation treatments (left: moist; right: dry). After a propagation phase of three weeks shoot lengths were weekly measured over six weeks (E1 – E6). Each bar represents the mean shoot length ( $n = 10$ ) of a certain cottonwood variety at a certain time point. An asterisk indicates significant differences between the varieties at a certain date (at  $p < 0.05$ ).

Dies steht teilweise im Gegensatz zu Ergebnissen von Krabel et al. (2015), die in einer größer angelegten Studie an sieben Pappelsorten Steckhölzern der Sorte Hybride 275 als diejenigen mit der höchsten Wurzelbiomasse identifizierten. Auch hier zeigte diese Sorte keine trockenheitsinduzierten Rückgänge im Wurzelwachstum. Übereinstimmend konnte für Steckhölzern der Sorte AF2 eine starke Einschränkung des Sprosswachstums bei gleichzeitig guter Wurzelbildung festgestellt werden. Die Reduktion von Sprosslänge und Blattmasse kann durch Trockenstress in einer frühen Wachstumsphase von Pappeln ausgelöst werden (Monclus et al. 2006, Regier et al. 2009, Krabel et al. 2015). Daraus ergeben sich Unterschiede im Spross/Wurzel-Verhältnis der drei untersuchten Pappelsorten. Pflanzen der Sorten AF2 und Max 3 zeigen eine verstärkte Wurzelbildung bei geringem Sprosswachstum, wie es für andere Pappelsorten ebenfalls beobachtet wurde (Zalesny et al. 2003, 2005). Dagegen fällt das Spross/Wurzel-Verhältnis der Hybride 275-Pflanzen zugunsten der oberirdischen Pflanzenteile aus.

Schon 2–3 Wochen nach dem Steckvorgang konnten z.T. signifikante Unterschiede zwischen den Sorten ermittelt werden. Damit lässt sich schon nach kurzer Zeit zeigen, dass das Einsetzen der Reaktion auf Trockenstress und deren Ausprägung sortenspezifisch, damit abhängig vom Genotyp ist. Es zeigten sich schon nach 60 Tagen signifikante Unterschiede zwischen den drei Pappelsorten im Anwuchsvermögen und Wachstum sowie in der Reaktion der Jungpflanzen auf trockene Bedingungen. Damit ist ein Rückschluss auf wichtige phänotypische Charakteristika von Gehölzen durch solche Topfversuche im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen möglich, um Anwuchserfolge im Freiland durch die frühzeitige Auswahl von geeigneten Pappelsorten sicherzustellen.

## Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Verbundvorhabens „FastWOOD - Züchtung schnell wachsender Baumarten der Gattungen *Populus*, *Robinia* und *Salix* für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ (FKZ 22000814) durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) finanziell gefördert.

## 4. Literatur

- Janßen, A., Fehrenz, S., Fey-Wagner, C., Hüller, W. (2012): Züchtung von Schwarz- und Balsampappeln für den Kurzumtrieb. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Universitätsverlag Göttingen: Göttingen, 33-54.
- Krabel, D., Meyer, M., Solger, A., Müller, R., Carvallho, P., Foulkes, J. (2015): Early root and aboveground biomass development of hybrid poplars (*Populus* spp.) under drought conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 45: 1289-1298.
- Monclus, R., Dreyer, E., Villar, M., Delmotte, F.M., Delay, D., Petit, J.-M. et al. (2006): Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoids* × *Populus nigra*. *New Phytologist* 169: 765-777.
- NW-FVA (2012): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8. Universitätsdrucke Göttingen, 430 S.
- Regier, N., Streb, S., Coccozza, C., Schaub, M., Cherubini, P., Zeeman, S.C., Frey, B. (2009): Drought tolerance of two black poplar (*Populus nigra* L.) clones: contribution of carbohydrates and oxidative stress defence. *Plant, Cell and Environment* 32: 1724-1736.
- Riemenschneider, D.E., Stanton, B.J., Vallée, G., Périnet, P. (2001): Poplar breeding strategies. In: Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., Richardson, J. (Hrsg.): Poplar culture in North America. National Research Council of Canada: Ottawa, 43-76.
- Wiersum, L.K. (1980): The effect of soil physical conditions on roots and uptake. *Acta Horticulturae* 92: 111-122.
- Wiese, A. H., Zalesny, J. A., Donner, D. M., Zalesny JR., R. S. (2006): Bud removal affects shoot, root, and callus development of hardwood *Populus* cuttings. *Silvae Genetica* 55: 141-147.
- Zalesny, R.S., Bauer, E.O., Riemenschneider, D.E. (2004): Use of belowground growing degree days to predict rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*. *Silvae Genetica* 53: 154-160.
- Zalesny, R. S., Riemenschneider, D. E., Hall, R. B. (2005): Early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*: analysis of quantitative genetics and genotype × environment interactions. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 918-929.
- Zalesny, R. S., Hall, R. B., Bauer, E. O., Riemenschneider, D. E. (2003): Shoot position affects root initiation and growth of dormant unrooted cuttings of *Populus*. *Silvae Genetica* 52: 273-279.

## Anschriften der Autor(inn)en:

**Korn, Sandra\***; Meyer, Matthias; Müller, Rosi; Fuchs, Fred; Solger, Alexander; Krabel, Doris: AG Molekulare Gehölzphysiologie am Institut für Forstbotanik und Forstzoologie der TU Dresden, Piener Str. 7, 01737 Tharandt, E-Mail: korn@forst.tu-dresden.de.

\*Korrespondierende Autorin