

Topfversuche mit drei Pappelstandardsorten - Möglichkeiten und Herausforderungen

Doris Krabel*, Maximilian Groschke*, Sandra Korn*, Matthias Meyer*, Rosi Müller*, Alexander Solger*, Lina Winkler* und Marie Weigand*

Zusammenfassung

Experimente mit getopften Pflanzen im Gewächshaus stellen eine gute Möglichkeit dar, physiologische sowie morphologische Eigenschaften und Reaktionen der Probanden unter kontrollierten Bedingungen zu beobachten und miteinander zu vergleichen. Besonders die Wiederholbarkeit der Versuchsanlage und die Beobachtung interessierender Merkmale unter definierten Bedingungen macht diese Experimente attraktiv.

In der forstlichen Züchtungsarbeit spielen Topfversuche im Gewächshaus mit Bäumen bisher jedoch kaum eine Rolle. Gründe dafür sind zum einen die lange Entwicklungszeit von holzigen Pflanzen und damit einhergehend die Ausprägung interessierender Merkmale erst nach Jahren oder Jahrzehnten. Zum anderen macht die Größe älterer Pflanzen Topfversuche impraktikabel. Dennoch können Gewächshausexperimente mit jungem Pflanzenmaterial (Sämlinge oder Setzlinge) eine wichtige Ergänzung zu Feldversuchen darstellen.

Anhand von Topfversuchen, die in den Jahren 2012 und 2016 unter vergleichbaren Versuchsbedingungen im Gewächshaus mit Steckhölzern der Pappelstandardsorten Max 3, Hybride 175 und AF2 durchgeführt wurden, wird versucht, die Herausforderungen und Möglichkeiten aufzuzeigen, die derartige Versuchsanlagen mit sich bringen.

Die Ergebnisse zeigen, dass abiotische und genetische Faktoren einen Einfluss auf das frühe Spross- und Wurzelwachstum von Pappelstecklingen haben und dass Topfversuche unter kontrollierten Bedingungen auch für forstlich relevante Baumarten geeignet sind.

Schlüsselwörter: *Topfversuche, Gewächshaus, Populus, frühe Pflanzenentwicklung, Steckhölzer, Phänotypisierung*

Abstract

Pot experiments with three Poplar standard varieties – opportunities and challenges

Experiments with potted plants in the greenhouse are an excellent opportunity to test morphological and physiological reactions of plants under controlled environmental conditions. Especially the repeatability of these experiments and the possibility to observe specific traits under defined conditions make such experimental design attractive for breeding purposes. Nevertheless, until today those experiments do not play a significant role in forest tree breeding projects. Among others, reasons are the relatively long developmental time of the plants and, associated with this, the development of economically or ecologically important traits after several years or decades. In addition, the above and belowground size of older plants often poses problems. Based on pot experiments carried out in 2012 and 2016 with hardwood cuttings of the same set of plant material (Max3, Hybride 275, AF2) under comparable environmental conditions, the challenges of the experimental design will be discussed.

In our study, traits of interest were shoot and root length, the root-shoot-ratio, leave dry mass and root dry mass under optimal watered conditions and under dry conditions.

Keywords: *pot experiments, greenhouse, Populus, early plant development, hardwood cuttings, phenotyping*

* TU Dresden, AG Molekulare Gehölzphysiologie, Pienner Str. 7, 01737 Tharandt

Kontakt: krabel@forst.tu-dresden.de

1 Einleitung

Das Verständnis des Einflusses von verschiedenen Umweltfaktoren auf das Wachstum von Pflanzen ist wesentlicher Bestandteil sowohl pflanzenökologischer als auch züchterischer Forschung. In beiden Fällen wird die Abhängigkeit der Ausprägung bestimmter Merkmale von den jeweiligen Umweltbedingungen untersucht. Um zu belastbaren Ergebnissen zu gelangen, gibt es die Möglichkeiten, entweder Feld-Versuche oder Gewächshausversuche oder eine Kombination von beiden Ansätzen durchzuführen.

In situ-Versuche haben den Vorteil, dass die Versuchspflanzen den Bedingungen einer natürlichen Umwelt ausgesetzt sind und damit einer mehr oder weniger realen Situation ausgesetzt sind. Der Nachteil dieser Ansätze besteht darin, dass bei der Interpretation der Ergebnisse die Reaktion des Wachstums auf einzelne Umwelt-Einflussfaktoren schwierig zu extrahieren ist. Außerdem wird nur diese eine Umweltsituation abgebildet, woraus sich die Notwendigkeit ergibt, abhängig von der Fragestellung identische Versuchsanlagen an verschiedenen Orten durchzuführen, um auch andere Umweltverhältnisse abbilden zu können. Damit verbunden ergibt sich das meist nicht unerhebliche Problem der Verfügbarkeit von geeigneten Flächen und dies gerade bei holzigen Pflanzen über einen langen Zeitraum.

Versuche in einer kontrollierbaren aber künstlichen Umgebung können dagegen gezielt einen oder mehrere Umweltfaktoren und deren Wirkung auf das Pflanzenwachstum sichtbar machen. Unter Berücksichtigung von bestimmten Rahmenbedingungen (Kawaletz et al., 2014) lassen sich die Versuche in Abhängigkeit von der Wachstumsrhythmik der Pflanzen wiederholen, sodass ein zuverlässiger Datenpool aufgebaut werden kann. Probleme, gerade mit holzigen Pflanzen, ergeben sich dadurch, dass im Gewächshaus nur ein begrenzter Wuchsraum, sowohl ober- als auch unterirdisch, zur Verfügung steht, was die Dauer der Versuche begrenzt und die Größe bzw. das Alter der Pflanzen erheblich einschränkt (Kawaletz et al., 2014).

Im Rahmen von Züchtungsarbeiten an Pflanzen ist die sorgfältige Erhebung von phänotypischen Daten genauso unerlässlich wie die Charakterisierung des jeweils interessierenden Genotyps. In diesem Zusammenhang wurden in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, um automatisierte Systeme zur Hochdurchsatz-Phänotypisierung zu etablieren (Granier et al., 2006; Nagel et al., 2012). Je nach Ausstattung dieser Systeme ist die Bearbeitung einer großen Anzahl an Versuchspflanzen in einer mehr oder weniger hohen Intensität möglich (Poorter et al., 2012a). Die Annahme, dass Bäume aufgrund ihrer langen Entwicklungsphase nicht für die Untersuchung im Hochdurchsatz-Verfahren geeignet sind, konnte für Pappelstecklinge beispielsweise von Dickmann et al. (2001), Wiese et al. (2006), Zalesny et al. (2005), Zalesny und Zalesny (2009) oder Krabel et al. (2015a, 2015b, 2017) widerlegt werden. Selbst eine kurze experimentelle Dauer, im letzteren Fall 65 Tage, reichen aus, um genotypabhängige und umweltbedingte Unterschiede der Spross- und Wurzelentwicklung an jungen Pflanzen deutlich werden zu lassen. Gleiches gilt auch für

langsam wachsende Forstpflanzen wie beispielsweise Eichenarten (Krabel et al., 2017).

Anhand von Beispielen zur Wuchsdynamik der drei Pappelstandardsorten Max3, Hybride 275 und AF2 unter Gewächshausbedingungen, die in den Jahren 2012 und 2016 durchgeführt wurden und den damit verbunden Problemen der Reproduzierbarkeit der Umweltbedingungen in einem Kaltgewächshaus wird aufgezeigt, dass dennoch Topfexperimente zur Charakterisierung der frühen Pflanzenentwicklung geeignet sind und eine gute Methode darstellen, um auf dieser Basis eine Selektion durchführen zu können.

2 Material und Methoden

2.1 Pflanzenmaterial und Versuchsaufbau

In den Jahren 2012 und 2016 wurden Experimente zum Wuchsverhalten der drei Standardsorten AF2 (*P. nigra* x *P. deltoides*), Hybride 275 (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) und Max 3 (*P. nigra* x *P. maximowiczii*) (Abbildung 1) im Versuchsgewächshaus „Hetzdorf“ (50,96°N, 13,45°O) der Technischen Universität Dresden über einen Zeitraum von jeweils 65 Tagen durchgeführt. Kommerziell erworbene Steckhölzer (20 cm lang, Durchmesser maximal 1,5 cm; P&P Dienstleistungs GmbH und Co. KG, Großthiemig) wurden im Topfexperiment in jeweils zwei Gruppen aufgeteilt, wobei die Gruppe „feucht“ jeweils optimal und die zweite Gruppe „trocken“ reduziert bewässert wurde. Die Steckhölzer wurden vor dem Stecken in 2l Pflanztöpfe (4 x 4 Bodenlöcher, L x B x H: 11,3 x 11,3 x 21,5 cm) nach Homogenität sortiert, d. h. annähernd gleicher Durchmesser pro Versuchsansatz/ Genotyp und gleiche Anzahl der Knospen, Aussortieren von beschädigten Steckhölzern. Jeder Topf wurde mit nur einem Steckholz bestückt. Die Stecktiefe betrug ca. 18 cm. Alle Töpfe wurden nummeriert und nach dem Zufallsprinzip auf den Pflanztischen verteilt.

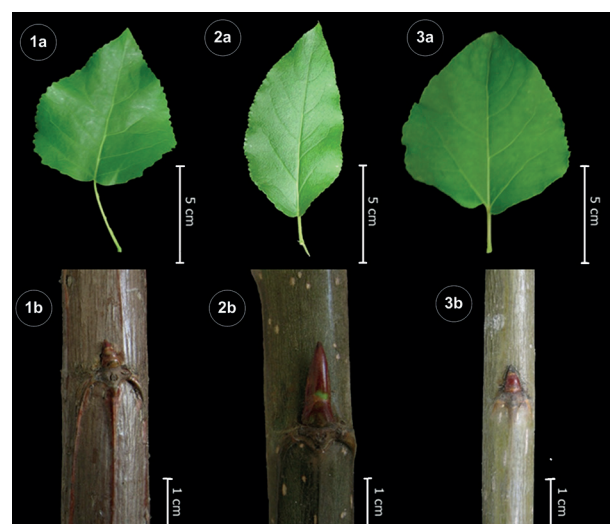


Abbildung 1
Morphologische Differenzierung von Knospe und Blatt der drei Pappelklone AF2 (1a, 1b), Hybride 275 (2a, 2b) und Max 3 (3a, b). Foto: R. Müller

Das Pflanzsubstrat bestand aus 40 % gewaschenem Sand und 60 % Pflanzerde (Einheitserde Typ ED 73; Hermann Meyer KG, Nossen; Substratzusammensetzung: Boden pH 5,7, Na 0,2 mg/l, K 2,2 - 2,5 mg/l, Ca 25,2 - 27,8 mg/l, Mg 2,5 - 2,7 mg/l, Mn 0,1 mg/l).

Da das Gewächshaus über keine automatische Temperaturregelung verfügt, wurde der Versuchsansatz in Abhängigkeit von den Außentemperaturen des jeweiligen Jahres gestartet.

Um zunächst ein Wurzel- und Sprosswachstum zu induzieren und allen Versuchspflanzen die gleichen Startbedingungen zu geben, wurden alle mit Steckhölzern bestückten Pflanztöpfe während der ersten 20 Tage nach dem Stecken automatisch „über Kopf“ optimal bewässert (Einstellung des Bodenwassergehaltes [Vol.-% BWG] zwischen 17 und 23 Vol.%, relative Luftfeuchte [rH] von ca. 90 %). Nach dieser Phase wurde das Pflanzenmaterial auf je zwei Gruppen je Genotyp bzw. Sorte aufgeteilt. Die eine Gruppe wurde weiterhin optimal bewässert, die zweite Gruppe wurde manuell bewässert wobei die Substratfeuchte auf 8 bis maximal 14 Vol.-% BWG eingestellt wurde (HH2-Messgerät, UP Umweltanalytische Produkte GmbH, Deutschland). Der BWG war gerade hoch genug, um Welkeerscheinungen zu vermeiden (Vorversuche hier nicht gezeigt). Die relative Luftfeuchte wurde in dem Trockenabteil des Gewächshauses auf durchschnittlich 68 % reduziert.

Am Ende des Versuches wurden die Pflanzen vermessen, d.h. die Länge des längsten Sprosses sowie die Blattfrischmasse bestimmt. Die Adventivwurzeln wurden vorsichtig vom Pflanzsubstrat gereinigt, ebenfalls gewogen und die jeweils längste Wurzel vermessen. Anschließend wurde das Pflanzenmaterial bei 105 °C für 3 bis 4 Tage zur Bestimmung der Blatt- und Wurzeltrockenmasse ofengetrocknet.

In 2012 wurden insgesamt 60 Pflanzen und in 2016 insgesamt 208 Pflanzen in den Versuch einbezogen.

2.2 Statistische Methoden

Alle Grafiken wurden mit Xact, Version 8.03, SciLab, Hamburg erstellt. Die Statistik wurde mit RStudio, Version 1.1383 und R Version 3.4.3 durchgeführt. Die Normalverteilung der Daten abhängiger Variablen wurde mittels des Shapiro-Wilk-Tests innerhalb der durch die ‚Sorten‘ beziehungsweise ‚Bewässerungsvarianten‘ definierten Gruppen geprüft ($\alpha = 0,05$). Signifikante Unterschiede der Sorte und Variante zwischen den beiden Jahren wurden mittels Kruskal-Wallis-Test ($p < 0,05$) bestimmt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Zusammenhang mit der Züchtung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen werden keine Mühen und Kosten gescheut, um Methoden einer präzisen und robusten Phänotypisierung durch Vollautomatisierung unter kontrollierten Gewächshausbedingungen immer effizienter zu gestalten,

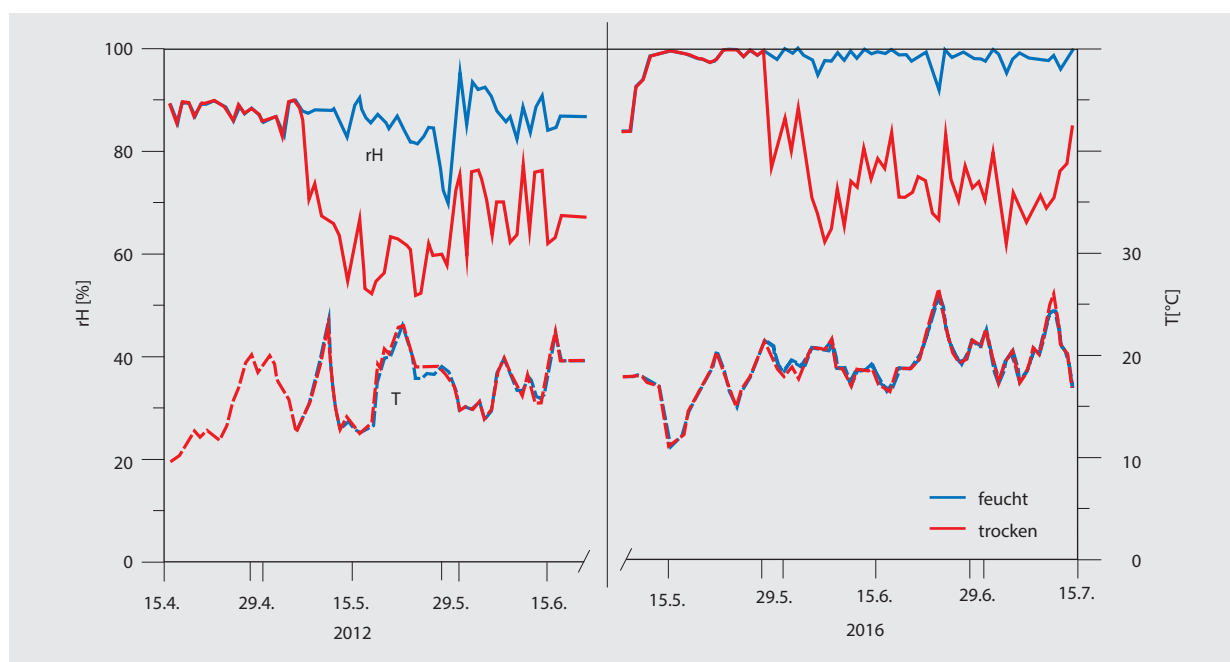
um somit die Generierung von Datensätzen den Erfordernissen einer Verknüpfung mit genetischen und genomischen Daten anzupassen (u. a. Fiorani et al., 2012). Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen haben in der Regel das Ziel, die Biomasseregulation von Pflanzen besser zu verstehen und schließlich dazu beizutragen, neue Züchtungsprodukte mit verbesserten Eigenschaften für den Markt zu entwickeln. Ein derartiger Ansatz wird in der forstlichen Züchtungsforschung aus verschiedenen Gründen bislang nicht verfolgt (Krabel et al. 2015a, 2015b). Die Phänotypisierung forstlicher Züchtungsprodukte erfolgt zumeist im Feld unter natürlichen Umweltbedingungen und zu einer Zeit, in der die Bäume bereits mehrere Jahre bis Jahrzehnte alt und interessierende Eigenschaften erkennbar sind. Durch variierende Umweltbedingungen im Freiland, selbst bei Verwendung von genetisch einheitlichem Material, zeigen die Pflanzen jedoch eine an die jeweiligen Umweltbedingungen (Klima, Boden) angepasste Wuchsdynamik, die zu erheblichen Streuungen in den phänotypischen Datensätzen führen kann. Die Verknüpfung der phänotypischen mit genetischen und genomischen Daten wird dadurch stark erschwert. Abgesehen davon, ist eine Wiederholung der Experimente nicht möglich, da unter natürlichen Verhältnissen kaum zweimal exakt die gleichen Umweltbedingungen auftreten. Selbst an einem Standort kann die Reaktion auf mikroklimatische Unterschiede die Interpretation der Ergebnisse erschweren. Die Schaffung von mehr oder weniger einheitlichen Wuchsbedingungen über einen definierten Zeitraum kann dieses Problem lösen oder zumindest reduzieren.

Je nach Fragestellung kann deshalb die Entwicklung von standardisierten Methoden zur Phänotypisierung von jungen Bäumen im Gewächshaus hilfreich sein. So ist die Erzeugung statistisch akzeptabler Datensätze möglich. Die Experimente können wiederholt werden und die Daten aus verschiedenen Experimenten können miteinander verglichen und im Idealfall zusammengefasst werden. Schließlich können diese Erkenntnisse als Basis oder Ergänzung für Freilandversuche dienen.

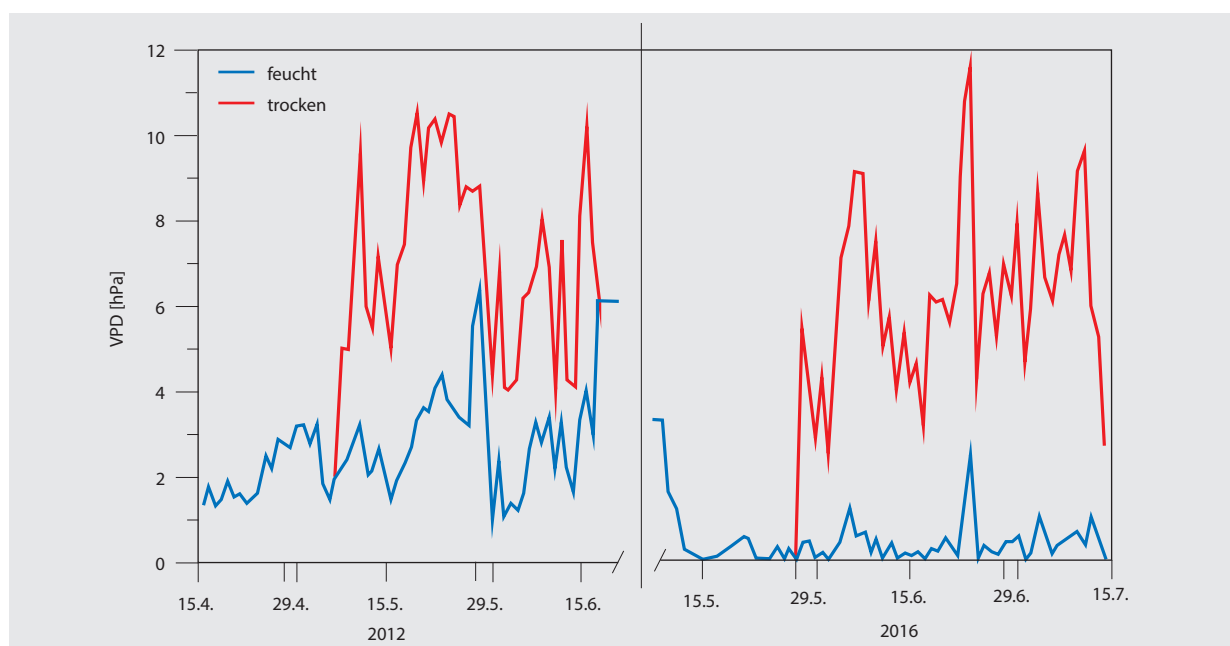
3.1 Rahmenbedingungen

Da es sich bei dem Versuchsgewächshaus in Hetzdorf um ein Kalt-Gewächshaus ohne Temperatursteuerung handelt, unterscheiden sich die Temperaturverläufe in beiden Versuchsperioden und beinhalten Temperaturschwankungen während des jeweiligen Untersuchungszeitraumes (Abbildung 2).

Die höheren Temperaturen während der Versuchsphase 2016 machen sich insofern bemerkbar, als damit verbunden die relative Luftfeuchte (rH) der beiden Behandlungsvarianten „feucht“ und „trocken“ deutlich über den Werten von 2012 liegen. Für die Variante „feucht“ liegen sie in 2016 im Mittel bei 98 % und für Variante „trocken“ bei rund 72 %. Im Vergleich zu 2012 lag 2016 die rH für Variante „feucht“ bei durchschnittlich etwa 86 % und 64 % für die Variante „trocken“.

**Abbildung 2**

Relative Luftfeuchte (rH) und Temperatur (T) in den Gewächshaus-Kammern der Varianten „feucht“ (blau) und „trocken“ (rot) während der Untersuchungszeiträume 2012 und 2016. Während der Anpassungsphase (0 bis 20 Tage nach dem Stecken) erhielten die Pflanzen die gleiche Behandlung (hier: rote Linie).

**Abbildung 3**

Wasserdampf sättigungsdefizit der Luft (VPD) während der Versuchsperiode in den Jahren 2012 und 2016 für die Behandlungsvariante „feucht“ (blau) und „trocken“ (rot). Während der Anpassungsphase (0 bis 20 Tage nach dem Stecken) erhielten die Pflanzen die gleiche Behandlung (blau).

Die Darstellung des Wasserdampf sättigungsdefizits der Luft (VPD), welches als Antrieb für die pflanzliche Transpiration und damit als aussagekräftiger Parameter als die relative Luftfeuchte gilt, verdeutlicht, dass zwischen beiden Jahren in der Variante „trocken“ mit einem Wert von durchschnittlich

6,77 hPa in 2012 und 7,22 hPa in 2016 vergleichsweise geringere Unterschiede auftreten als in der gut bewässerten Variante (2012: 0,43 hPa; 2016: 3,1 hPa). Die kurzzeitigen Schwankungen im Verlauf der Kurven erklären sich durch „Störungen“, die beim Betreten und Arbeiten in den

Gewächshauskammern von der Messtechnik registriert werden. Alle weiteren Parameter wie Pflanzenqualität, Substratzusammensetzung, Bewässerungsintervalle waren für beide Jahre vergleichbar.

3.2 Ober- und unterirdisches Wachstum

Eine deutliche Reaktion im Wuchsverhalten, sowohl ober- als auch unterirdisch ist in Bezug auf den Wassergehalt des Bodens feststellbar. So führt die Behandlungsvariante

„trocken“ mit einer Reduktion des Bodenwassergehaltes um rund 10 Vol.-% im Vergleich zur Variante „feucht“ bei allen drei Sorten zu einer ausgeprägten Depression des Sprosswachstums und bei den Sorten AF2 und Max 3 auch des Wurzelwachstums (Abbildung 4a, b, c, d). Dass die frühe Wurzel- und Sprossentwicklung von Pappelsteckhölzern unter genetischem Einfluss steht sowie durch den Umweltfaktor „Bodenwasser“ beeinflusst wird, wird von anderen Autoren, deren Untersuchungen ebenfalls auf die frühe Entwicklung von Pappelstecklingen fokussiert waren bestätigt

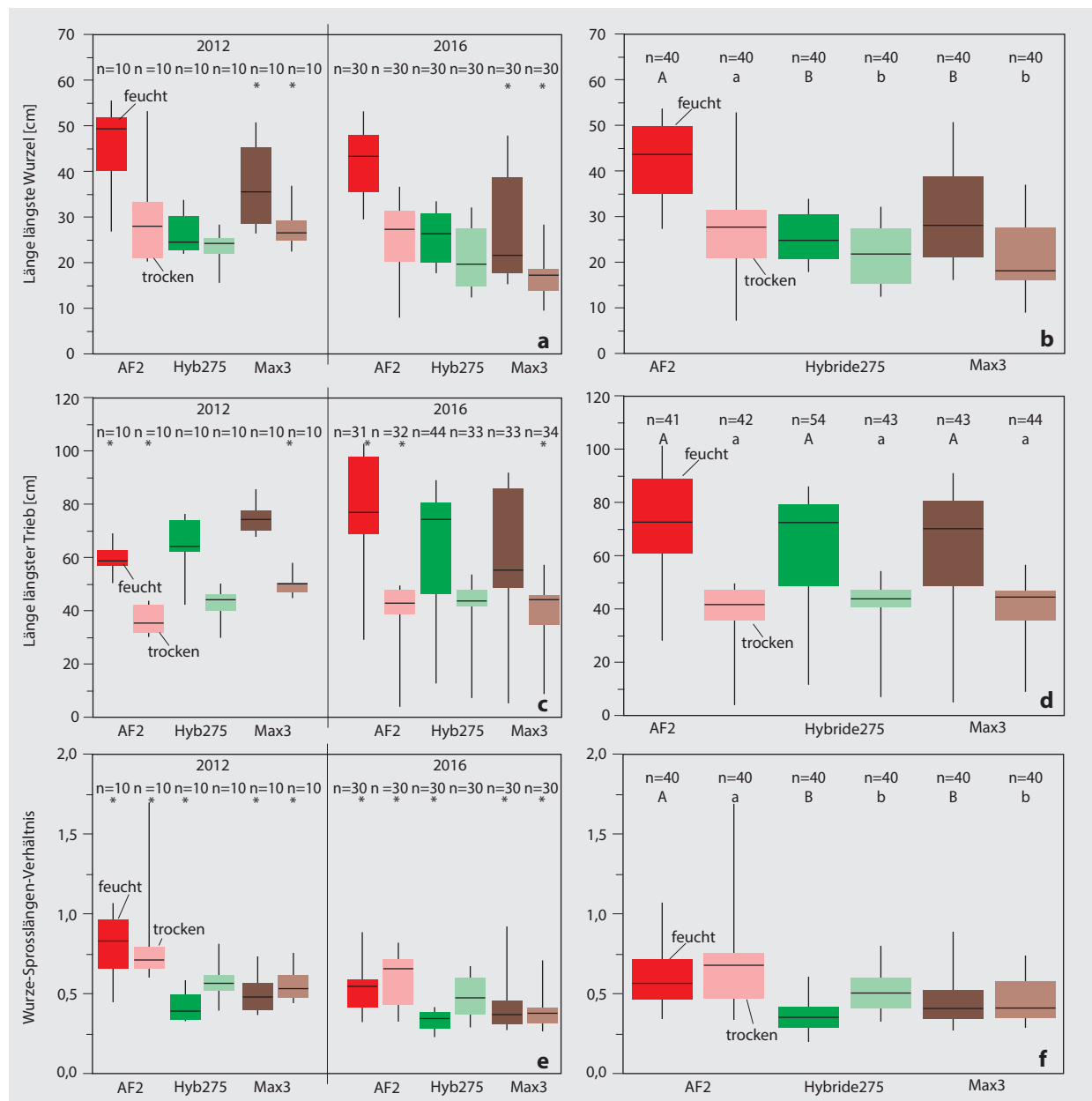


Abbildung 4a, b, c, d, e und f

Länge der längsten Wurzel, des längsten Triebes und des Wurzel-Sprosslängen-Verhältnisses jeweils getrennt für die Jahre 2012 und 2016 (links) bzw. alle Werte zusammengefasst (rechts), gemessen 65 Tage nach dem Stecken. Dargestellt sind die Daten als Boxplots der drei Sorten in der Variante „feucht“ und der Variante „trocken“. Sternchen * markieren signifikante Unterschiede der Sorte und Variante zwischen den beiden Jahren. Die Großbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der feuchten Variante der drei Sorten, die Kleinbuchstaben der trockenen Variante ($p < 0,05$, Kruskal-Wallis-Test); n entspricht der Anzahl der untersuchten Pflanzen.

(Dickmann et al., 2001; Regier et al., 2009; Wiese et al., 2006; Zalesny et al., 2005; Zalesny und Zalesny, 2009).

Diese Reaktion ist besonders deutlich, betrachtet man die beiden Versuchsjahre zunächst getrennt.

Das Verhältnis der „trockenen“ zur jeweils „feuchten“ Variante einer Sorte ist in beiden Versuchsjahren ähnlich, unterscheidet sich jedoch in der tatsächlichen Länge der Wurzel bzw. des Triebes z. T. signifikant zwischen den Jahren. Auch weisen die Ergebnisse des Jahres 2016 eine höhere Varianz auf. Vergleicht man das Längenwachstum des jeweils längsten Triebes der drei Sorten miteinander, so fällt auf, dass Hybride 275 zwischen beiden Jahren keine signifikanten Unterschiede erkennen lässt, während AF2 für beide Varianten und Max 3 in der Variante „trocken“ signifikante Unterschiede zwischen 2012 und 2016 zeigt. Auch für das Längenwachstum der Wurzel scheint Hybride 275 stabiler auf die jeweiligen Gewächshausbedingungen zu reagieren als die beiden Vergleichssorten. Diese Unterschiede lassen darauf schließen, dass die Umweltfaktoren „VPD und Bodenwassergehalt“ zumindest für die Sorten AF2 und Max3 stärker auf das Wachstum wirken als es für Hybride 275 der Fall ist.

Die Zusammenfassung der Daten (jeweils rechte Grafik) aus der Versuchsperiode 2012 und 2016 (Abbildung 4b) zeigt, dass AF2 in beiden Behandlungsvarianten signifikant längere Wurzeln ausbildet als die beiden anderen Sorten, die ein vergleichbares Wachstum zeigen. Dieses geht einher mit einer ebenfalls signifikant höheren Wurzelmasse (Abbildung 5a).

In Bezug auf das Merkmal „längster Trieb“ bleibt der Behandlungseffekt („trocken“ bzw. „feucht“) bei den gepoolten Daten bestehen, der Sorteneffekt entfällt jedoch. Zwischen den Sorten können keine signifikanten Unterschiede in beiden Behandlungsvarianten festgestellt werden. Dieses Ergebnis ist insofern interessant, als die zuvor beschriebenen Unterschiede aus den Einzeljahr-Beobachtungen aufgehoben werden. Die genotypspezifischen Differenzen, die unter identischen Umweltbedingungen zum Tragen kommen, verringern sich in ihrer Relevanz oder können gar nicht mehr nachgewiesen werden, sobald die Daten aus Versuchen mit geringfügig variierenden Umweltbedingungen stammen, und die Replizierbarkeit damit nur eingeschränkt gegeben ist.

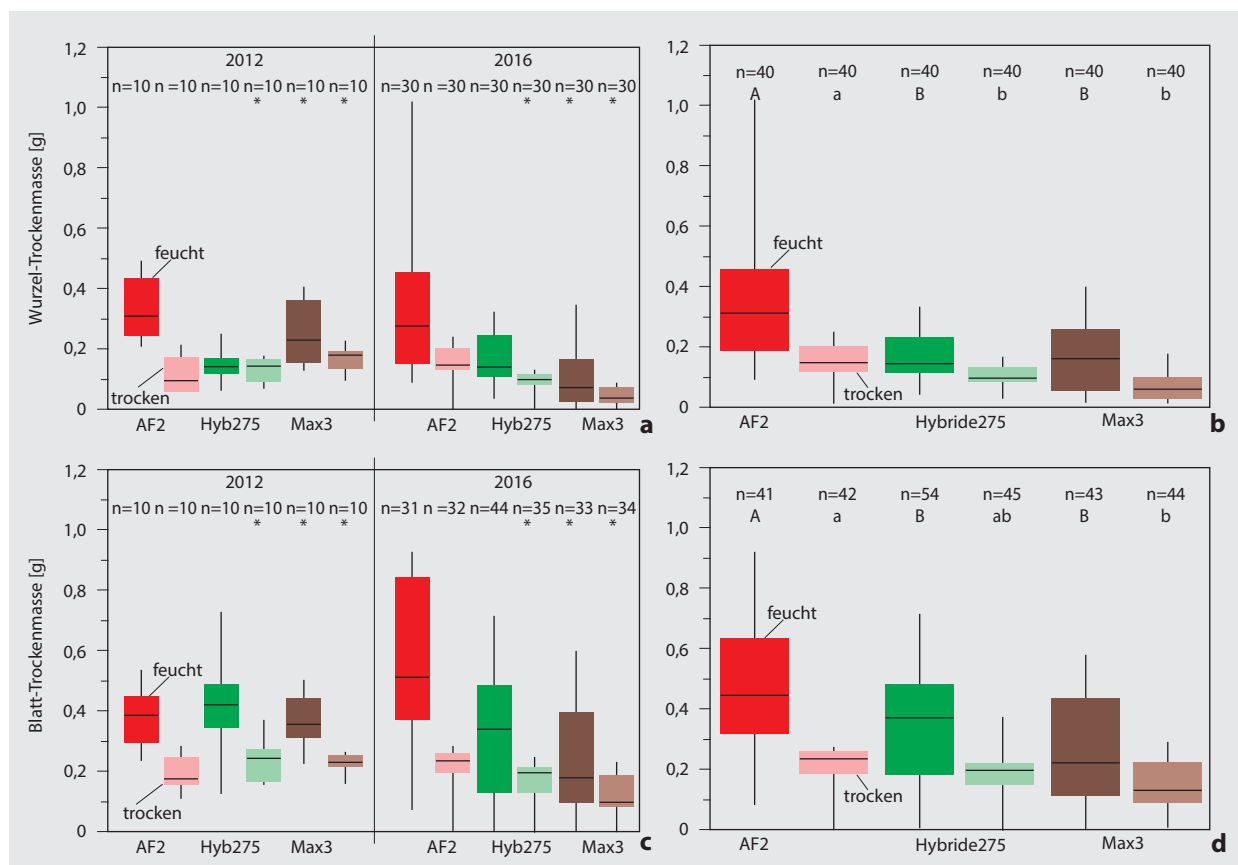


Abbildung 5a, b, c, d

Wurzel- und Blatt-Trockenmasse, geerntet 65 Tage nach dem Stecken. Dargestellt sind die Daten als Boxplots der drei Sorten in der Variante „feucht“ und der Variante „trocken“ in den beiden Jahren 2012 und 2016 (links) bzw. alle Werte zusammengefasst (rechts), gemessen 65 Tage nach dem Stecken. Sternchen * markieren signifikante Unterschiede der Sorte und Variante zwischen den beiden Jahren. Die Großbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Variante „feucht“ der drei Sorten, die Kleinbuchstaben der Variante „trocken“ ($p < 0,05$, Kruskal-Wallis-Test); n entspricht der Anzahl der untersuchten Pflanzen.

Das Wurzel-Sprosslängen-Verhältnis in der zusammengefassten Darstellung (Abbildung 4f) erhöht sich mit reduzierter Bodenfeuchte bei den Sorten AF2 und Hybride 275, während Max3 zwischen den Behandlungsvarianten keinen Unterschied erkennen lässt. Betrachtet man die beiden Versuchsjahre getrennt (Abbildung 4e), lassen sich diese Verhältnisse im Jahr 2016 wiederfinden. Im Versuchsjahr 2012 dagegen haben die trockengehaltenen Pflanzen der Sorte AF2 ein geringeres Wurzel-Sprosslängen-Verhältnis als die der gut bewässerten Variante und zeigen somit ein konträres Ergebnis. Dieses Merkmal weist auch die meisten signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Jahren auf. Die Daten von AF 2 und Max 3 für 2012 (beide Behandlungsvarianten) und Hybride 275 Variante „feucht“ unterscheiden sich signifikant von den Daten aus 2016.

Auffällig ist wiederum, dass Hybride 275 für beide Behandlungsvarianten und für beide Untersuchungszeiträume nur eine vergleichsweise geringe Schwankungsbreite der Daten zeigt, was als phänotypische Stabilität dieses Merkmals und Sorte gegenüber schwankenden Umweltbedingungen interpretiert werden kann.

3.3 Replizierbarkeit

Die Replizier- und Reproduzierbarkeit der Versuche kann für die Phänotypisierung von Pflanzen eine besondere Herausforderung darstellen. Aus der Pflanzenzüchtung ist bekannt, dass unter verschiedenen Genotypen, einer in einem Jahr das beste Wachstum zeigt, während er im nächsten Jahr nur durchschnittliche Werte erkennen lässt (Annicchiarico, 2002). Diese Variabilität wird im Allgemeinen als Variabilität zwischen den Jahren beschrieben und durch wechselnde Umweltbedingungen erklärt. Reproduzierbarkeit und eine bessere Replizierbarkeit der Ergebnisse können durch eine striktere Kontrolle der Umweltbedingungen in Gewächshäusern erreicht werden (Poorter et al., 2012a, 2012b). Doch selbst unter Bedingungen von vollautomatisierten Klimakammern zeigen Pflanzen in verschiedenen Versuchsanordnungen oftmals eine unterschiedliche Wuchsdynamik und Charakteristik (Poorter et al., 2012a, 2012b).

Die eigenen Untersuchungen machen deutlich, dass die beobachtete Variabilität der Ergebnisse auch bei den untersuchten Pappelsorten registriert werden kann, sobald die Umweltfaktoren von einem Jahr zum nächsten nicht mehr absolut identisch sind. Diese Reaktion ist im vorliegenden Fall für die Variablen „längster Trieb“ und „längste Wurzel“ von Hybride 275 weniger ausgeprägt als von AF2 oder Max 3.

4 Fazit

Die Ergebnisse der Topfversuche, die im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt wurden, konnten zeigen, dass der abiotische Umweltfaktor Wasserverfügbarkeit sowie der genetische Faktor Sorte einen Einfluss auf die frühe Spross- und Wurzelentwicklung von Pappelsteckhölzern haben, der bereits nach einer kurzen Versuchsdauer

(hier: 65 Tage) deutlich wird. Für die Extraktion bestimmter Wachstumsparameter ist somit die Anlage von Topfversuchen im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen auch für forstlich relevante Baumarten sinnvoll.

Die Auswertungen haben ergeben, dass die Variablen des oberirdischen- und des Wurzelwachstums durch spezifische Umwelteffekte beeinflusst werden. Am Beispiel von Hybride 275 wird deutlich, dass einige Genotypen stabiler gegenüber unterschiedlichen Umweltbedingungen (hier: Luftfeuchte und Temperaturunterschiede zwischen den Versuchsjahren) sind. Sie reagieren mit weniger ausgeprägten phänotypischen Unterschieden, als andere Genotypen wie z. B. die Sorten Max 3 oder AF2.

Ferner wird deutlich, dass bei der Interpretation der Daten alle Rahmenbedingungen mit einbezogen werden müssen, um die Ergebnisse in den Gesamtzusammenhang einordnen zu können und dass für die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Studien eine detaillierte Material- und Methodenbeschreibung, so wie es u. a. von Poorter et al. (2012b) und Kawaletz et al. (2014) bereits gefordert wird, essentiell ist.

Danksagung

Wir danken der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR e.V.) sowie dem Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL) für die Projektförderung. Zwei unbekannten Gutachtern danken wir für wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes. Das Projekt-Akronym lautet „FastWOOD III“ (Teilprojekt Nr. 5, Projektkennziffer: 22000814).

Literatur

- Annicchiarico P (2002) Genotype X environment interaction : challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Prod Prot Pap 174:115
- Dickmann DI, Isebrands JG, Blake TJ, Kosola K, Kort J (2001) Physiological ecology of poplars. In: Dickmann DI, Isebrands JG, Eckenwalder JE, Richardson J (eds) Poplar culture in North America. Ottawa : Nat Res Council Canada, pp 77-118
- Fiorani F, Jahnke S, Rascher U, Schurr U (2012) Imaging plants dynamics in heterogenic environments. Curr Opin Biotechnol 23(2):227-235
- Granier A, Aguirrezabal L, Chenu K, Cookson SJ, Dauzat M, Hamard P, Thioux JJ, Rolland G, Bouchier-Combaud S, Lebaudy A, Muller B, Simonneau T, Tardieu F (2006) PHENOPSIS - an automated platform for reproducible phenotyping of plant responses to soil water deficit in Arabidopsis thaliana permitted the identification of an accession with low sensitivity to soil water deficit. New Phytol 169:623-635
- Kawaletz H, Mölder I, Annighöfer P, Terwei A, Zerbe S, Ammer C (2014) Pot experiments with woody species : a review. Forestry 87(4):482-491
- Krabel D, Solger A, Meyer M, Carvalho P, Foulkes J (2015a) Early root and aboveground biomass development of hybrid poplars (Populus spp.) under drought conditions. Can J For Res 45(10):1289-1298
- Krabel D, Solger A, Meyer M (2015b) Einfluss des Steckholzes auf die frühe Sprossentwicklung von Pappeln. Forstarchiv 86(6):159-165
- Krabel D, Meyer M, Nyamjav B, Reiche B, Solger A (2017) Phenotyping trees for traits related to drought stress tolerance : importance and challenge [online]. Zu finden in <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183050571>> [zitiert am 25.06.2018]

- Nagel KA, Putz A, Gilmer F, Heinz K, Fischbach A, Pfeifer J, Faget M, Bloßfeld S, Ernst M, Dimaki C, Kastenholz B, Kleinert A-K, Galinski A, Scharr H, Fiorani F, Schurr U (2012) GROWSCREEN-Rhizo is a novel phenotyping robot enabling simultaneous measurements of root and shoot growth for plants grown in soil-filled rhizotrons. *Funct Plant Biol* 39:891-904
- Poorter H, Climent J, van Dusschoten D, Bühler J, Postma JA (2012a) Pot size matters : a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Funct Plant Biol* 39(11):839-850
- Poorter H, Fiorani F, Stitt M, Schurr U, Finck A, Gibon Y, Usadel B, Munns R, Atkin OK, Tardieu F, Pons T (2012b) The art of growing plants for experimental purposes : a practical guide for the plant biologist. *Funct Plant Biol* 39:821–838
- Regier N, Streb S, Cocozza C, Schaub M, Cherubini P, Zeemann SC, Frey B (2009) Drought tolerance of two black poplar (*Populus nigra* L.) clones : contribution of carbohydrates and oxidative stress defence. *Plant Cell Environ.* 32: 1724-1736
- Wiese AH, Zalesny JA, Donner DM, Zalesny RS (2006) Bud removal effects shoot, root, and callus development of hardwood *Populus* cuttings. *Silvae Genet* 55(3):141-147
- Zalesny RS, Riemenschneider DE, Hall RB (2005) Early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus* : analysis of quantitative genetics and genotype x environment interactions. *Can J For Res* 35(4):918-929
- Zalesny RS, Zalesny JA (2009) Selecting *Populus* with different adventitious root types for environmental benefits, fiber, and energy. In: Niemi K, Scagel C (eds) *Adventitious root formation in forest trees and horticultural plants : from genes to applications*. Kerala : Res Signpost, pp 359-384