

Der kleine Unterschied macht's – Klonprüfung zur Trockenstresstoleranz von Robinien (Ergebnisse des FNR-Projektes – FastWOOD 3)

SONJA LÖFFLER¹, CHRISTIAN LANGE², RALF KÄTZEL¹

1 Einleitung

Im Gegensatz zu Wäldern mit ihrer reichen genetischen Vielfalt sind Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Hochleistungsklone ausgerichtet, die in kurzer Zeit möglichst viel Biomasse akkumulieren. Gleichzeitig sollen diese Klone auch eine hinreichend große Anpassungsfähigkeit an abiotische Stressfaktoren besitzen und widerstandsfähig gegenüber biotischen Schaderregern sein. Dies setzt eine umfassende, häufig langwierige Selektion im Rahmen von Klonprüfungen voraus.

Das im Jahre 2008 begonnene Verbundprojekt FastWOOD „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ verfolgt diese Zielstellung für den Anbau von Pappeln, Weiden und Robinien. Es sollen geprüfte, in ihrer Leistungsfähigkeit und Widerstandskraft verbesserte Klone, Klonmischungen und Nachkommenschaften für diese drei Gattungen entwickelt werden (www.fastwood.org).

Im Rahmen des Forschungsverbundes bearbeiten das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) und das Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB) die Baumart Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). In den Projektphasen I und II waren die Forschungsschwerpunkte auf die Entwicklung einer ertragsoptimierten Bestandesführung von Robinien-Modellbeständen ausgerichtet. Die Ergebnisse aus den Waldbeständen lassen auch erste Ertragsprognosen für den noch wenig praktizierten Agrarholzanbau der Robinie zu. Gleichfalls erfolgten genetische Analysen einiger Plusbäume und die Werbung von aussichtsreichem Vermehrungsgut als Ausgangsmaterial für die pflanzenbauliche Prüfung sowie für eine künftige züchterische Bearbeitung (ENGEL und KNOCHE 2011).

Seit 2015 wird in einer 3. Projektphase gemeinsam mit dem FIB² das Teilprojekt „Frühdiagnose der ökophysiologischen Leistungsfähigkeit von Robinien heimischer Bestände“ bearbeitet. Ziel ist es, auf der Basis geeigneter Leitindikatoren des pflanzlichen Stoffwechsels spezifische Reaktionsmuster bzw. Indices zu identifizieren, die bezüglich der individuellen Anpassungsfähigkeit an Umweltfaktoren eine Klassifikation von Robinienklonen ermöglicht. Dazu wurden Phänotypen, die sich unter verschiedenen Standorteigenschaften als besonders wuchskräftig und vital erwiesen und somit an die bisherigen Umweltbedingungen als am besten adaptiert herausgestellt haben, ausgewählt (KNOCHE und ENGEL 2012b / LIESEBACH 2012).

2 Die Robinie als Zukunftsbaumart zur Holzproduktion

Die nordamerikanische Robinie nimmt bundesweit etwa 34.000 ha Holzbodenfläche ein. Davon entfallen allein auf Brandenburg 2/3 der Anbaufläche. Zwar bestockt die Pionierbaumart weniger als 1-2 % des hiesigen Holzbodens, angesichts weiterer Klimaänderungen gewinnt sie aber an Bedeutung (ROLOFF und GRUNDMANN 2008, KNOCHE und ENGEL 2012a, b, KNOCHE et al. 2014).

Vorteilhaft für den Robinienanbau ist das rasche Jugendwachstum und die relativ hohe Trockenheits- und Hitzetoleranz. Während heimische Laubholzbaumarten in trocken-heißen Sommern, wie in den Jahren 2003 oder 2006, an Vitalität und letztlich Ertrag einbüßten, erwies sich die Robinie als besser angepasst. Ihre Konkurrenzstärke und Anteilsfläche nimmt seit Jahrzehnten spürbar zu (KLEINBAUER et al. 2010). Vegetativ und generativ verjüngungsfreudig, dringt sie in den Unter- bis Zwischenstand von Kiefern und Laubgehölzen ein und dominiert nach dessen Abnutzung mit zunehmendem Lichtgenuss. Mit zahlreichen Stockausschlägen und reger Wurzelbrutbildung entwickelt die Baumart oft stammzahlreiche, bisweilen kaum mehr begehbare Aufwüchse. Bis zur frühen Kulmination des durchschnittlichen Gesamtzuwachses an Derbholz (dGZ_D) mit etwa 40 bis 50 Jahren ist die Robinie dann allen anderen Waldbaumarten überlegen (LOCKOW und LOCKOW 2013). Selbst auf sandigen Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlenbergbaus sind so anfängliche Biomasse-Zuwächse um $7 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ (dGZ_B) möglich, im standörtlichen Optimum kräftiger Böden sogar beachtliche $10 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ (KNOCHE und ENGEL 2012a, b).

Dennoch findet eine Kultivierung speziell für den zuwuchskräftigen Energieholzanbau trotz der betriebswirtschaftlich optimistischen Prognosen kaum statt. Denn die individuellen Unterschiede dieser, für KUP allgemein günstigen Eigenschaften, sind enorm, so dass für eine stabile und ertragsreiche Produktion eine Selektion in Klonprüfungen erfolgen muss. Im Gegensatz zu Pappel und Weide steht die züchterische Bearbeitung der Robinie noch am Anfang. Es mangelt an standortangepasstem Vermehrungsgut. Geprüfte Baumschulware mit nachweislich überlegener Wuchsleistung ist trotz der starken Nachfrage auf absehbare Zeit nicht verfügbar. Daher wird beispielsweise auf Sortenempfehlungen im Energieholzanbau verzichtet.

Gleichzeitig fehlen bislang genetische und gehölzphysiologische Marker zur Prüfung der gewünschten phänotypischen Merkmalskomplexe für den Robinienanbau (Wuchskraft, Anpassung, Widerstandsfähigkeit usw.). So lässt sich beispielsweise die Wuchspotenz verschiedener Pappel- und Weidenklone anhand ihrer Chlorophyllfluoreszenz-Charakteristik prognostizieren. Durch Frühindikatoren, wie z. B. Biomarker könnten aufwändige Selektionszuchtprogramme mit langwierigen Nachkommenschafts- und

¹ Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, FB 42

² Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (FIB) e.V.

Klonprüfungen verkürzt und durch physiologische Kriterien in ihrer Bewertung objektiviert werden. Gleiches gilt für die Auswahl geeigneter Saatguterntebestände, lässt sich doch gerade bei der Robinie angesichts der beschriebenen Pflege-defizite nicht auf das tatsächliche genetische Potenzial schließen.

Die Voraussetzung für die Anwendung solcher Biomarker ist allerdings, dass (1) zunächst die zur Leistungsausprägung maßgeblichen physiologischen Prozesse und ihrer genetischen Kontrolle verstanden werden und (2) die Ableitung eindeutiger Parameter bzw. Muster erfolgt, welche mit ertragsbestimmenden Leistungsattributen korrespondieren. Gerade angesichts der starken Nachfrage an leistungsfähigem Vermehrungsgut und im Hinblick auf das ökonomische Potenzial der Baumart ist dieser „genetisch-physiologische“ Ansatz daher nicht nur von wissenschaftlichem, sondern auch von praktischem Interesse.

Mit einem kombinierten Untersuchungsansatz, der sowohl Gefäß- als auch Freilandversuche verbindet, sollten vorausgewählte Robinienklone bzw. –herkünfte auf der Grundlage von physiologischen Markern bezüglich ihrer Anpassungsfähigkeit gegenüber Wasser- und Nährstoffmangel sowie gegenüber Spätfrösten bewertet werden. Nachfolgend werden erste Ergebnisse zur Trockenstresstoleranz unter Berücksichtigung ihres Wuchsverhaltens vorgestellt.

3 Untersuchungsansatz

3.1 Gefäßversuch/Freilanduntersuchungen

Das ökophysiologische Screening und die Ertragsschätzung erfolgt an vier ausgewählten Klonen aus Deutschland bzw. zwei Absaaten aus Ungarn und Rumänien (Tab. 1) sowohl anhand eines Biomonitoringverfahren auf einer Freilandfläche als auch durch einen Gefäßversuch unter kontrollierbaren Bedingungen. Durch die Simulation potenzieller Belastungssituationen (u.a. Trockenheit, Frost, Nährstoffmangel) ist es möglich, verschiedene Klone bzw. Herkünfte hinsichtlich ihrer individuellen physiologischen Anpassungsfähigkeit zu vergleichen. Bekanntlich zeigt die Robinie ein hohes Anpassungsvermögen an Hitze und Trockenheit, allerdings sind diese Eigenschaften stark sorten- bzw. herkunftsabhängig und bisher noch kein Züchtungskriterium. Dabei ermöglicht die Kombination von Gefäß- mit Freilanduntersuchungen Aussagen darüber, ob und in wie weit die ermittelten individuellen biochemischen und physiologischen Muster auf Freilandbedingungen übertragbar sind.

Tab. 1: Ausgewählte Klone bzw. Herkünfte

Klon-Nr.	Name	Zuchtnummer	Herkunft
5	Fra3	NW 8-819 Z	Frankfurt/Main
6	Langen	NW 11-461 X	Hann. Münden
11	Rowena		Waldsiefersdorf
12	Roy		Waldsiefersdorf
15	Kiskunsagi	NW 13-0448 X	Ungarn (Kontrolle)
23	Cuci	ROB5-10	Rumänien

Im Folgenden sollen ausschließlich die Ergebnisse eines Trockenstressversuches 2015 vorgestellt werden. Hierzu

erfolgte die Anlage eines Gefäßversuches mit den ausgewählten Robinienklonen bzw. –herkünften im Technikum vom FIB in Finsterwalde (Abb. 1). Jeweils 20 Pflanzen jedes Klones bzw. der beiden Absaaten wurden am 16. bzw. 17.04.2015 gepflanzt und zurückgeschnitten. Die Etablierung der Pflanzen bei optimaler Bewässerung dauerte bis zum 08.07.2015 (Abb. 2). Zu Beginn des Trockenstressversuches ab **09.07.** wurden jeweils 12 Pflanzen pro Klon als bewässerte Kontrolle weitergeführt und 8 Pflanzen nicht mehr bewässert. Zum Versuchsbeginn wurden von allen Pflanzen (jeweils 20 Pflanzen von 4 Klonen bzw. den beiden Absaaten) Blattproben entnommen. Im weiteren Versuchsverlauf erfolgten am **16.07.** und am **22.07.** – unmittelbar vor Beginn der Wiederbewässerung zwei weitere Probenahmen. Die beiden den Versuch abschließenden Probenahmeterminen **27.07.** und **08.08.2015** beschreiben dabei den physiologischen Zustand der Untersuchungspflanzen 3 bzw. 11 Tage nach Wiederbewässerung.



Abb. 1: Anlage des Gefäßversuches in Finsterwalde (Foto: Ch. Lange, 2015)



Abb. 2: Versuchspflanzen zu Beginn des Trockenstressversuches im Juli 2015 (Foto: Ch. Lange, 2015)

Ergänzend zum Trockenstressversuch wurden zeitgleich auf einer *Klonprüfungsfläche* Freilanduntersuchungen an einjährigen Testpflanzen der gleichen Klone bzw. Herkünfte durchgeführt. Diese etwa 1 ha umfassende Anlage wurde im März 2014 vom Thünen-Institut für Forstgenetik (TI) angelegt. Sie befindet sich auf einer jungen Rekultivierungsfläche des Braunkohlentagebaues Welzow-Süd (Abb. 3).



Abb. 3: Klonprüfungsfläche in Welzow-Süd (Foto: Ch. Lange, 2015)

Von den insgesamt zur Verfügung stehenden 12 Versuchsblöcken im Verband von 1,5 x 1,5 m wurden 4 Versuchsparzellen (B,F,G und L) ausgewählt und von den 9 Pflanzen pro Parzelle jeweils 5 Testpflanzen (1,3,5,7 und 9) am **12.08.2015** einmalig beprobt (Abb. 4).

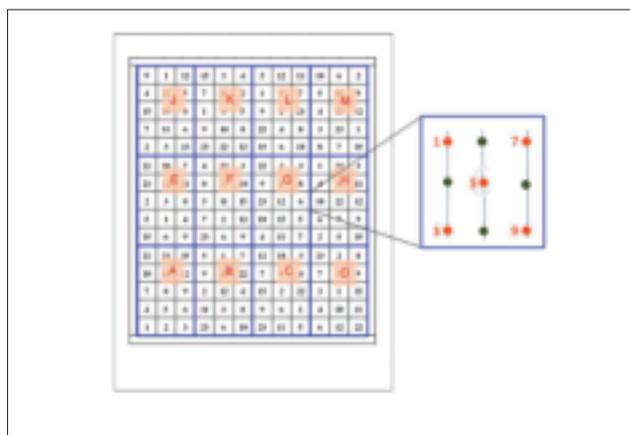


Abb. 4: Versuchsplan der Robinienklonprüfungsfläche Welzow und Anordnung der Versuchspflanzen pro Prüfvariante

2.2 Methoden

Zur Bewertung der Trockenstress- bzw. Anpassungsreaktionen wurden ausgewählte Biomarker, die die Aktivität bestimmter Stoffwechselbereiche (Energie-, Primär- und Sekundärstoffwechsel) und gegebene Belastungszustände angemessen widerspiegeln, untersucht. Neben der Beurteilung der Trockenstresstoleranz ermöglicht die Bestimmung der phenolischen Blattinhaltsstoffe Aussagen zum Abwehrstoffwechsel der Robinienklone bzw. -herkünfte. Die Biomarker-Untersuchungen wurden durch ertragskundliche Messungen an allen Versuchspflanzen durch das FIB ergänzt (Tab. 2). Die Analysemethoden sind bei Kätzel (2003) beschrieben.

Durch Korrelationsanalysen und eine multivariate statistische Auswertung (Hauptkomponentenmethode) werden Beziehungen zwischen den einzelnen Blattinhaltsstoffen (= Biomarker) dargestellt. Zur besseren Ergebnisinterpretation erfolgt eine Gruppierung dieser Indikatoren nach „Biomarkermustern“ (KÄTZEL 2003). Anhand der Biomarkermuster der Einzelbäume der Klone bzw. Absaaten erfolgt eine integrative Bewertung der Trockenstresstoleranz bzw.

des Abwehrstoffwechsels, die neben den ertragskundlichen Parametern in eine Anbauempfehlung für Brandenburger Standortbedingungen mündet.

Tab. 2: Untersuchungsparameter und verantwortlicher Projektpartner

Parameter	Größe	Partner
Wachstum/Biomasseertrag	Pflanzenhöhe	FIB
	Wurzelhalsdurchmesser	
	Trockenmasseertrag	
	Wurzelmasse	
Biomarker der Blätter zur Trockenstresstoleranz	Osmolalität	LFE
	Kohlenhydrate, Stärke	
	Lösliche Aminosäuren, Prolin	
Biomarker der Blätter zum Abwehrstoffwechsel	Blattwassergehalt, Chlorophylle, Carotinoide	
	Einfache und kondensierte Phenole	LFE

3 Ergebnisse

3.1 Gefäßversuch

Biomasseertrag

Als wüchsigster Klon innerhalb der 6 untersuchten Prüfglieder mit einer mittleren Pflanzenhöhe von 200 cm und einem Wurzelhalsdurchmesser (WHD) von 13,6 mm erwies sich der Klon Fra3 (Tab. 3). Daraus resultiert auch der höchste Trockenmasseertrag. Jedoch ist die Ertragseinbuße im Vergleich zur optimal bewässerten Kontrolle mit 19 % relativ hoch. Dagegen ist die ungarische Absaat Kiskunsagi durch einen leicht höheren oberirdischen Ertrag infolge der Trockenheit gekennzeichnet und auch die Wurzelmasse der trockengestressten Pflanzen ist höher als die der Vergleichspflanzen. Die höchsten Ertragseinbußen mit 31,3 % gegenüber den bewässerten Kontrollen hatten die Robinien des Klons Langen. Rowena und Roy – die beiden Brandenburger Klone – lagen im oberen Mittelfeld, wobei vor allem beim Klon Roy die geringen Ertragsverluste der oberirdischen Pflanzenteile nach Trockenheit von Vorteil waren. Anhand der ertragskundlichen Ergebnisse belegen die 3 deutschen Klone Fra 3, Rowena und Roy die ersten drei Plätze.

Tab. 3: Wachstumskundliche Ergebnisse des Gefäßversuches 2015: Mittelwerte der 20 Pflanzen (= Mittel) und relativer Bezug der 8 trockengestressten Pflanzen zu den 12 Kontrollpflanzen (= rel. [%]) sowie die daraus abgeleiteten Rangfolgen (= Rang); Messung nach Versuchsende am 19.11.15

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskun-sagi	Cuci
Pflanzenhöhe [cm]	Mittel	149	149	200	134	138	159
	Rang	3	3	1	6	5	2
	rel. [%]	-8,8	0,2	-10,3	-12,3	-6,2	-20,0
	Rang	3	1	4	5	2	6
WHD [mm]	Mittel	11,1	11,3	13,6	10,7	9,8	11,5
	Rang	4	3	1	5	6	2
	rel. [%]	-10,5	-8,7	-7,3	-13,4	3,6	-12,7
	Rang	4	3	2	6	1	5
TM-Ertrag [g]	Mittel	53,9	57,1	89,6	48,2	40,6	59,2
	Rang	4	3	1	5	6	2
	rel. [%]	-25,2	-14,7	-19,0	-31,3	12,3	-28,8
	Rang	4	2	3	6	1	5
Wurzelmasse [g]	Mittel	303	260	253	233	175	206
	Rang	1	2	3	4	6	5
	rel. [%]	-25,7	-30,9	-15,1	-29,4	11,9	-48,0
	Rang	3	5	2	4	1	6
Durchschnittlicher Rang		3	2	1	6	3	5

Biomarker zur Trockenstresstoleranz

Nachfolgend sollen typische Biomarkerreaktionen für „Trockenstress“ dargestellt werden, die sich in unterschiedlicher Intensität nicht nur bei allen 6 untersuchten Robinienherkünften, sondern auch bei anderen Baumarten nachweisen lassen (Abb. 5). Unter Wasserdefizitbedingungen (hier nach 7 bzw. 13 Tage ohne Bewässerung) steigt in den Blättern zunächst die Osmolalität des Zellsaftes. Sie ist eine integrative Größe, die neben dem Wassergehalt in der Zelle auch ein Maß für die Konzentration osmotisch wirksamer Substanzen im Zellsaft darstellt. Für die Osmoregulation in der Pflanzenzelle sind neben Sacchariden und anorganische Ionen (z.B. Kalium) organische Säuren verantwortlich. So kann z.B. die Spaltung von Saccharose in Glukose und Fruktose zu einer Verdoppelung des osmotischen Druckes bei geringem physiologischem Aufwand führen. Derartige relativ kurzfristig realisierbare Reaktionen sind dabei Teil einer aktiven Anpassungsstrategie vitaler Pflanzen an Wassermangelbedingungen. Im weiteren Verlauf wird Stärke abgebaut und lösliche Kohlenhydrate in den Blättern akkumuliert. Vor allem bei länger andauernden Stressbelastungen wird Stärke weiter abgebaut und die Aminosäure Prolin um ein Vielfaches akkumuliert. Bereits 3 Tage nach Wiederbewässerung ist die Osmolalität verringert, der Stärkegehalt angestiegen und die Gehalte an freien Aminosäuren gesunken. 11 Tage nach Wiederbewässerung ist der „Erholungsprozess“ anhand der Biomarker bereits deutlich

nachweisbar. Überraschenderweise ist der Gesamtchlorophyllgehalt der Testpflanzen nach Trockenstress erhöht. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Untersuchungen der Mitarbeiter des FIB, die anhand von Photosynthese-Effizienzmessungen eine Stimulation der Photosynthese nach Stress nachweisen konnten, (LANGE 2016).

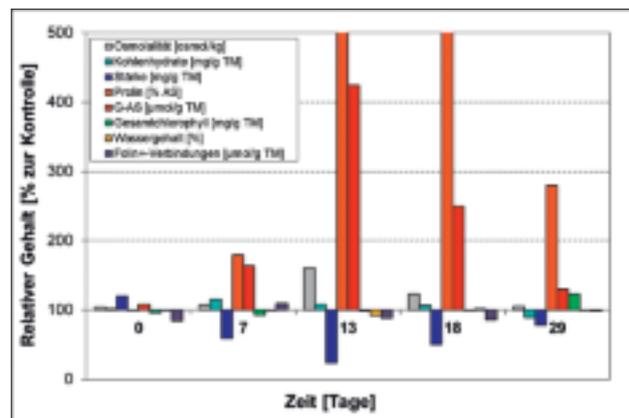


Abb. 5: Relative Konzentrationsänderungen von Biomarkern bei zunehmender Trockenstressdauer und anschließender Wiederbewässerung am Beispiel des Klons Fra 3 (n = 12 Kontrollpflanzen = 100 % in Bezug zu n = 8 Trockenstresspflanzen)

Die Einzelbetrachtung der Biomarker zeigt eine Reihe von interkorrelativen Beziehungen zwischen den einzelnen Parametern. Daher wird eine Faktorenanalyse durchgeführt, um die wechselseitig korrelierenden Variablen auf wenige, voneinander unabhängige Variablengruppen (Faktoren) zu reduzieren. Im Ergebnis der Faktorenanalyse wurden 4 Faktoren extrahiert, die 78 % der Gesamtvarianz erklären. In einem der beiden wichtigsten Faktoren sind die Biomarker Osmolalität, Gesamt-Aminosäuregehalt und freies Prolin (bezogen auf Aminosäuren) positiv geladen und der Stärkegehalt negativ geladen enthalten. Alle vier Parameter kennzeichnen den Wasserhaushalt der Pflanze. Die Einzelladungen sind so ausgerichtet, dass hohe Faktorwerte Wassermangelsituationen der Pflanzen beschreiben (= **Trockenstressfaktor**). Mittels dieses Faktors ist es möglich, nicht nur die komplexen Reaktionen innerhalb der frühen Phase des Trockenstresses der einzelnen Klone zu vergleichen, sondern auch die Erholung nach Wiederbewässerung. Dabei sind solche Klone gegenüber Trockenstress relativ unempfindlich, die zu Beginn des Trockenstresses nur geringe bzw. keine physiologischen Reaktionen zeigen bzw. die sich nach Wiederbewässerung schnell erholen können.

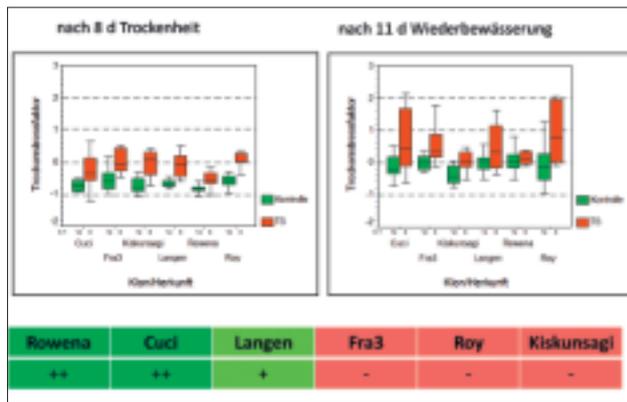


Abb. 6: Klonvergleich bezüglich der Trockenstresstoleranz anhand des Trockenstressfaktors 8 Tage nach Beginn der Trockenheit bzw. des Erholungsvermögens 11 Tage nach Wiederbewässerung

Während 8 Tage nach Versuchsbeginn hinsichtlich des Trockenstressfaktors der Kontrollpflanzen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Klonen bzw. Herkünften nachweisbar sind, zeigen die Pflanzen ohne Bewässerung einen deutlichen Anstieg in diesem Parameter (Duncan-Test, $\alpha = 0,05$). Signifikante Unterschiede gibt es zwischen dem Klon Rowena und allen anderen Klonen bzw. Herkünften. Eine Ausnahme bildet die rumänische Absaat Cuci, die statistisch keine Unterschiede zu allen anderen Herkünften zeigt. 11 Tage nach Wiederbewässerung bestehen noch immer signifikante Unterschiede zwischen den Kontroll- und Trockenstresspflanzen bei den beiden Herkünften Fra3 und Kiskunsagi. Vor allem Rowena, aber auch Cuci und Langen zeigen im Rahmen dieser Untersuchungen physiologisch die beste Erholung. Anhand dieser Ergebnisse erweisen sich die beiden Herkünfte Rowena und Cuci von den 6 untersuchten Versuchsgliedern am trockenstresstolerantesten.

Biomarker zum Abwehrstoffwechsel

Mit einer unüberschaubaren strukturellen Vielfalt sind die phenolischen Blatinhaltsstoffe wesentliche Komponenten des pflanzlichen Sekundärstoffwechsels. In ihren Funktionen u.a. im unspezifischen Abwehrstoffwechsel sind sie von fundamentaler Bedeutung für den Überlebenserfolg von Pflanzen. In den vorliegenden Untersuchungen wurden sowohl die einfachen phenolischen Verbindungen als Folin-positive Verbindungen bzw. ortho-Dihydroxyphenole als auch die höher kondensierten Verbindungen als Vanillin-positive Verbindungen bzw. Procyanidine bestimmt (Tab. 4).

Tab. 4: Phenolgehalte der Robinienblätter der 6 Klone/ Absaaten des Gefäßversuches 2015: Mittelwerte der 12 Kontrollpflanzen (= Mittel) aller 5 Probenahmeterminen und relativer Bezug der 8 trockengestressten Pflanzen (= rel. [%]) sowie die daraus abgeleiteten Rangfolgen (= Rang)

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskunsagi	Cuci
Folin+Verb. [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	169	139	125	122	146	147
	Rang	1	4	5	6	3	2
	rel. [%]	+7,3	-11,4	-7,5	-17,3	-8,6	-7,6

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskunsagi	Cuci
	Rang	1	5	2	6	4	2
Vanillin+Verb. [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	165	168	132	147	178	188
	Rang	4	3	6	5	2	1
	rel. [%]	+13,6	-11,2	-12,2	-26,1	-11,2	-22,8
	Rang	1	2	4	6	2	5
Procyanidine [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	152	163	91	146	166	175
	Rang	4	3	6	5	2	1
	rel. [%]	+4,0	-20,5	-6,5	-31,4	-11,6	-28,6
	Rang	1	4	2	6	3	5
ortho-Dihydroxyphenole [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	82	73	58	62	75	85
	Rang	2	4	6	5	3	1
	rel. [%]	+10,9	-17,8	-8,0	-29,1	-9,4	-21,9
	Rang	1	4	2	6	3	5
Durchschnittlicher Rang		1	4	5	6	2	2

Rowena und die rumänische Absaat Cuci haben die höchsten Phenolgehalte innerhalb der sechs untersuchten Herkünfte. Während sich bei fünf Klonen durch den Trockenstress die Phenolgehalte in den Pflanzen verringerten, war in den Blättern des Klons Rowena eine Erhöhung dieser Inhaltsstoffe um ca. 10 % nachweisbar. Dies bedeutet, dass auch unter Wassermangelbedingungen das Abwehrvermögen der Pflanzen – im Gegensatz zu den anderen untersuchten Herkünften – über längere Zeit erhalten bleibt. Kennzeichnend für den Klon Langen mit ohnehin geringen Phenolgehalten ist eine zusätzliche starke Abnahme dieser Verbindungen in den trockengestressten Pflanzen. Der als besonders wüchsig aufgefallene Klon Fra3 besitzt ebenfalls eher geringe Phenolgehalte, so dass diese beiden Herkünfte in diesem Merkmal die hinteren Ränge belegen.

3.2 Klonprüfung Welzow

Biomasseertrag

Analog zum Gefäßversuch überzeugt der Klon Fra3 auch bei den Freilanduntersuchungen auf der Klonprüfungsfläche Welzow durch einen hohen Biomasseertrag. Er ist allen anderen Robinien-Klonen und –Herkünften wuchsüberlegen, was ihn besonders für den Energiepflanzenanbau empfiehlt (Tab. 5). Allerdings neigt er zum „Zwieselwuchs“, bisweilen auch mit mehreren Haupttrieben, was einer hochwertigen stofflichen Verwendung entgegensteht. Den zweiten Rang belegt der brandenburgische Genotyp Rowena. Im Gegensatz dazu sind nach diesen Kriterien die Herkünfte Langen und Cuci nicht zu empfehlen. Diese vorläufigen Ergebnisse werden durch weitere Untersuchungen 2016 ergänzt.

Tab. 5: Wachstumskundliche Ergebnisse des Klonprüfungsversuches Welzow 2015: Mittelwerte von n = 20 Pflanzen (= Mittel) und die daraus abgeleitete Rangfolgen (= Rang)

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskunsagi	Cuci
Pflanzenhöhe [cm]	Mittel	293	227	327	222	257	239
	Rang	2	5	1	6	3	4
Höhenzuwachs 2015 [cm]	Mittel	128	118	135	108	134	119
	Rang	3	5	1	6	2	4
WHD [mm]	Mittel	36,8	30,1	41,5	30,9	33,1	30,2
	Rang	2	6	1	4	3	5
TM [kg]	Mittel	1,53	0,96	1,95	0,95	1,22	0,95
	Rang	2	4	1	5	3	5
Biomassezuwachs 2015 [kg]	Mittel	1,35	0,92	1,67	0,84	1,18	0,82
	Rang	2	4	1	5	3	6
Anteil der Pflanzen mit Zwieseln [%]	Mittel	40	15	65	25	30	10
	Rang	2	5	1	4	3	6
Durchschnittlicher Rang		2	4	1	5	3	5

Biomarker zur Trockenstresstoleranz

Zum Zeitpunkt der Blattprobenahme des Klonprüfungsversuches Welzow im August 2015 war eine sehr trockene und heiße Witterungsperiode. Dadurch war es möglich, die physiologischen Reaktionen der einzelnen Klone unter realen Freilandbedingungen zu untersuchen. Die Faktorenanalyse ergab für diesen Versuchsansatz 3 Faktoren, die 67 % der Gesamtvarianz erklären. Im Unterschied zum Gefäßversuch hatte hier der Wasserfaktor mit den Parametern des Wasserhaushaltes (prozentuales Prolin, Osmolalität und Gesamtaminosäuregehalt [positiv geladen] und Stärke- und Blattwassergehalt [negativ geladen]) die höchste Wertigkeit. Den signifikant höchsten Wasserstressfaktor und damit auch die stärksten physiologischen Stressreaktionen waren bei der ungarischen Herkunft Kiskunsagi nachweisbar (Abb. 7).

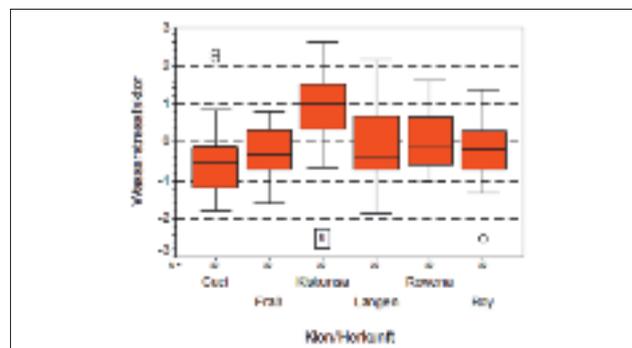


Abb. 7: Boxplots des Wasserstressfaktors aller 6 untersuchten Herkünfte mit Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede (ANOVA, $\alpha = 0,05$)

Biomarker zum Abwehrstoffwechsel

Im Ergebnis der Faktorenanalyse konnten alle ermittelten phenolischen Blattinhaltsstoffe zu einem Faktor zusammengefasst werden. Da alle Verbindungen positiv in diesem Faktor enthalten sind, repräsentieren hohe Werte hohe Phenolgehalte. Die beiden Brandenburger Klone Rowena und Roy hatten den signifikant höchsten Phenolfaktor und somit die günstigsten biochemischen Voraussetzungen im Abwehrstoffwechsel (Abb. 8). Im Gegensatz wurden bei den beiden Klone Fra3 und Langen die signifikant geringsten Werte nachgewiesen.

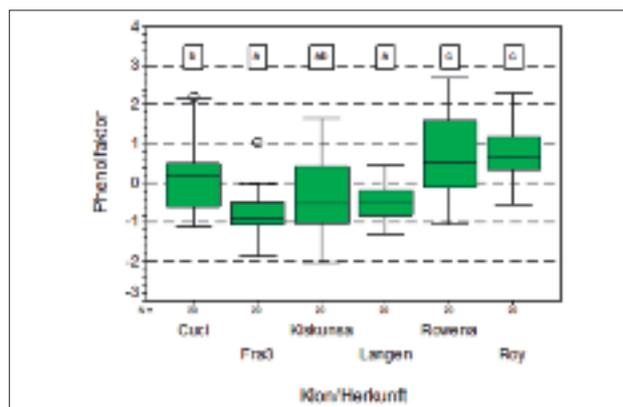


Abb. 8: Boxplots des Phenolfaktors aller 6 untersuchten Herkünfte mit Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede (ANOVA, $\alpha = 0,05$)

4 (Vorläufige) Bewertung der Klone

Die vorläufige Bewertung der Klone anhand beider Versuchsansätze zeigt eine sehr gute Übereinstimmung, wobei der Brandenburgische **Klon Rowena** nicht nur durch seine guten physiologischen Parameter empfehlenswert ist, sondern auch eine ausreichende Wuchsleistung aufweist. Der **Klon Fra3** ist allen anderen untersuchten Klone bzw. Absaaten wuchsüberlegen und lediglich seine Neigung zur Zwieselbildung könnte einer höherwertigen Nutzung des Holzes entgegenwirken. Die Photosynthese-Effizienzmessungen (FIB) weisen für ihn von den sechs untersuchten Klone/Herkünften die besten Ergebnisse nach (LANGE 2016). Nachteilig bei diesem Klon wirken sich möglicherweise die geringen Phenolgehalte (Abwehrstoffwechsel) aus. Somit können diese beiden Klone zum Anbau empfohlen werden.

Die Herkunft aus Hann. Münden, der **Klon Langen** empfiehlt sich nicht für den Anbau in Brandenburg, da er in beiden Versuchsansätzen nicht nur eine geringe Wuchsleistung, sondern auch geringe Phenolgehalte aufwies.

Die beiden geprüften ausländischen **Absaaten Cuci** und **Kiskunsagi** hatten unter den Brandenburgischen Verhältnissen eine mittlere bis geringe Wuchsleistung, wobei nur für Cuci eine gute Trockenstresstoleranz zu verzeichnen ist.

Der zweite Brandenburger **Klon Roy** liegt mit allen Daten im Mittelfeld. Abb. 9 enthält eine Zusammenstellung aller Ergebnisse.

Gefäßversuch 2015				KP Weizow 2015			
Klon	Wachstum	TS-Toleranz	Abwehr	Klon	Wachstum	TS-Toleranz	Abwehr
Fra3	++	-	-	Fra3	++	+	--
Langen	--	+	--	Langen	--	+	--
Rowena	+/-	++	++	Rowena	+	+	++
Roy	+	-	+/-	Roy	-	+	++
Kiskunsagi	+/-	-	+	Kiskunsagi	+/-	--	-
Cuci	-	++	+	Cuci	--	+	+/-

Abb. 9: Zusammenfassende Bewertung des Gefäß- und Freilandversuches

5 Zusammenfassung

Im Vergleich zu anderen Laubbaumarten (Eiche, Buche) reagiert die Robinie im *Gefäßversuch* sehr schnell auf beginnende (8 Tage) und sich weiter verschärfende Trockenheit. Neben sichtbaren Symptomen, wie z.B. Blattvergilbung und Blattabwurf zeigen die hier dargestellten Ergebnisse bereits nach 8 Tagen Trockenheit signifikante blattbiochemische Veränderungen.

Zeitgleich zum Trockenstressversuch unter kontrollierten Bedingungen wurden im *Klonprüfungsversuch Weizow* Freilanduntersuchungen an Testpflanzen des gleichen Robinien-Genotyps bzw. derselben Herkunft durchgeführt. Aufgrund des Witterungsverlaufes im Sommer 2015 (Juli bis Anfang August: heiß und trocken) war es möglich, die Reaktionen der Pflanzen auf Wassermangel unter natürlichen Standortbedingungen zu untersuchen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse führen den Nachweis, dass mittels stressphysiologischer Untersuchungen sowohl in Gefäßversuchen als auch im Freiland die Anbaueignung von Robinien-Klonen bzw. -Herkünften bewertet werden kann. Damit steht ein praktikables, analytisch standardisiertes Routineverfahren zur physiologischen Frühdiagnose in der Forstpflanzenzüchtung zur Verfügung, das für weitere Baumarten genutzt werden kann.

Danksagung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) unter den Förderkennzeichen 22000914 (LFE) und 22001014 (FIB) gefördert.

Literatur

ENGEL, J. UND KNOCHE, D. (2011): Energie aus dem Stock – Zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 47: 26-36.

Kätzel, R. (2003): Biomarker als Indikatoren zur Bewertung des Vitalitätszustandes der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im nordostdeutschen Tiefland. Habilitationsschrift an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden, 244 Seiten.

KLEINBAUER, I., DULLINGER, S., PETERSEIL, J., ESSL, F. (2010): Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudoacacia* into nature reserves and endangered habitats. In: *Biological Conservation*, 143 (2): 382-390.

KNOCHE, D. und ENGEL, J. (2012a): Robinie: Lichtbaumart beendet ihr Schattendasein - Brandenburg erprobt Schnellwuchsbetrieb als nachfrageorientierte Bewirtschaftungsstrategie für die Robinie. *Holz-Zentralblatt* 1: 16-17.

KNOCHE, D. und ENGEL, J. (2012b): Verbundvorhaben. Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD), Teilvorhaben 7 & 8: Modellprojekt zu Begründungsverfahren der Robinie. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8: 143-164.

KNOCHE, D., ENGEL, J., LANGE, CH. (2014): Bewirtschaftung von Robinien-Beständen in Brandenburg - Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FastWOOD. Informationen für den Waldbesitzer, 12 S.

LANGE, CH. (2016): Zwischenbericht zum Verbundvorhaben Züchtung schnell wachsender Baumarten der Gattungen *Populus*, *Robinia* und *Salix* für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD III); Teilvorhaben 7: Frühdiagnose der ökophysiologischen Leistungsfähigkeit von Robinien (*Robinia pseudoacacia* L.) heimischer Bestände. FIB, 25 S.

LIESEBACH, H. (2012): Genetische Charakterisierung von Robinienbeständen (*Robinia pseudoacacia* L.) in Deutschland mit nuklearen Mikrosatelliten-Markern: Erkenntnisse zu ihrer Bestandesbegründung. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8: 275-293.

Lockow, K.-W. und Lockow, J. (2013): Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) eine schnellwachsende Baumart mit wertvollen Holzeigenschaften. Mitt. d. Ges. zur Förderung schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland e.V., 1: 1-7.

ROLOFF, A. und GRUNDMANN, B. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol. 42: 97-109.