

Untersuchungen der Ertragsleistung und -stabilität bei Robinien-Jungpflanzen verschiedener Herkunft auf einem Standort im Land Brandenburg

Thomas Guse¹, Volker Schneck¹, Georg von Wühlisch², Mirko Liesebach²

¹Thünen-Institut für Forstgenetik, Waldsiefersdorf

²Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Zusammenfassung

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) stockt in Deutschland auf über 14.000 ha. Sie gilt als trockenheitstolerante Baumart mit geringen Standortansprüchen und guten Holzeigenschaften.

Auf landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorten und Kippprohböden in Brandenburg erreicht sie im Vergleich zu den anspruchsvolleren Energieholzarten Pappel und Weide einen höheren jährlichen Biomasseertrag (3,0 - 10,0 t_{atro}/ha*a), bei deutlich größerem Heizwert des Holzes. Der jährliche Grenzertrag für eine rentable Bewirtschaftung liegt bei 10 - 12 t_{atro}/ha*a. Allein in der Auswahl von standortgeeigneten Herkünften besteht ein beträchtliches Potential zur Steigerung der Ertragsleistung und -stabilität.

In der ersten Phase des Züchtungsvorhabens zur Robinie wurde die Ertragsleistung von 55 Herkünften untersucht. Nachfolgend wird nur auf die Wuchsleistung von 45 Nachkommenschaften europäischer Erntebestände und Samenplantagen eingegangen, darunter Bulgarien (7), Deutschland (11), Griechenland (1), Italien (3), Rumänien (17), Slowakei (2) und Ungarn (3). Die Anzucht erfolgte seit 2010 unter natürlichen Bedingungen in Waldsiefersdorf (Brandenburg, Jahresmittel: 8,9 °C bei 545 mm) sowie ergänzend für das erste Jahr unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus bei ausreichender Wasserversorgung. Aus dem Verhältnis der Wuchsleistung beider Bedingungen (optimal vs. trocken) werden für die einzelnen Herkünfte Indices abgeleitet, welche eine Einschätzung der Trockentoleranz bzw. der Ertragsstabilität erlauben. In dem fortlaufenden Herkunftsvergleich unter natürlichen Bedingungen werden die jährlichen Zuwächse im Jugendstadium der Robinie erfasst und die erbrachte Ertragsleistung verglichen.

Wegen der hohen Variabilität in der Wuchsleistung innerhalb der Nachkommenschaften (Saatgut) können durch die Herkunftswahl allein die Züchtungsziele nicht erreicht werden. Daher wurden aus dem Untersuchungsmaterial 50 leistungsstarke Genotypen ausgewählt und vermehrt, welche in einer zweiten Züchtungsphase bearbeitet werden (aktuell laufend).

Schlagnworte: *Robinia pseudoacacia*, schnell wachsende Baumart, Herkunftsvergleich, Wachstum, Trockentoleranzindex, Biomasseproduktion

Abstract

Yield analyses of provenances of black locust at a site in Brandenburg

In Germany black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is grown on an area of 14.000 ha. This drought tolerant tree species with good wood characteristics has low site requirements. On marginal and post-mining sites in Brandenburg (Germany) the annual production of biomass reaching 3.0 – 10.0 t_{dry}/ha) was substantially greater than that of other fast-growing species of poplar and willow. An annual yield of 10 – 12 t_{atro}/ha is often quoted as economic threshold. By , There is considerable potential to increase biomass productivity and stability by just selecting well-adapted progenies.

We investigated the yield potential of 45 European seed orchards and stands from Bulgaria (7), Germany (11), Greece (1), Hungary (3), Italy (3), Romania (17), and Slovakia (2). Since 2010, seedlings were grown under natural conditions at the study site in Waldsiefersdorf (Brandenburg; annual average t of 8.9 °C and 545 mm precipitation) and in the first year additionally under controlled conditions in a greenhouse with sufficient water supply. Yield was determined for each progeny under both conditions and tolerance indices were estimated, which allows an initial evaluation of yield potential and stress tolerance. These results were compared with the growth performance under natural conditions in subsequent years.

A high variability within progenies and a low differentiation between progenies made the selections at the progeny level inefficient. Therefore 50 productive genotypes were selected and micro-propagated for further testing.

Keywords: *Robinia pseudoacacia*, fast growing tree species, comparison of provenances, growth, drought tolerance index, biomass production

Einleitung

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) besitzt eine breite Amplitude bezüglich Boden- und Klimaansprüchen (DeGomez und Wagner 2001) und zählt zu den weltweit häufigsten Laubbaumarten (ca. 3 Mio. ha). Sie wurde Anfang des 17. Jh. aus Nordamerika in Europa eingeführt, wobei ihr heutiger Anbauschwerpunkt in Südosteuropa liegt (Ungarn: 440.000 ha, Rumänien: 250.000 ha, Bulgarien: >110.000 ha) und sie eine wichtige Wirtschaftsbaumart ist (Iliev et al. 2005, Redei et al. 2008, Enescu und Danescu 2013). In Deutschland wächst die Robinie auf einer Fläche von 14.100 ha (BfN 2013), wovon fast 60% der Bestände im Bundesland Brandenburg liegen.

Durch die Symbiose der Robinie (Leguminose) mit Bakterien (Rhizobien) wird molekularer Luftstickstoff (N_2) in Wurzelknöllchen reduziert und biologisch verfügbar gemacht. Die Robinie ist eine Baumart, welche sehr effektiv Stickstoff fixiert (Olesniewicz und Thomas 1999). Auf einem armen Standort fixieren 2-14jährige Pflanzen jährlich 48-85 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse, 63 bis 83% des Stickstoffs stammen aus der Atmosphäre (Veste et al. 2013). Insbesondere auf stickstoffarmen Standorten führt dies zu einem Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Baumarten und trägt deutlich zur Bodenverbesserung bei.

Das Holz der Robinie ist sehr dauerhaft und widerstandsfähig gegen Pilzbefall. Wegen seiner hohen Holzdichte besitzt es einen ähnlichen Heizwert wie Braunkohle. Bedingt durch ihr schnelles Jugendwachstum und die Fähigkeit zum Stockaustrieb eignet sich diese Pionierbaumart zur Energieholz-erzeugung mit kurzen Umtriebszeiten. Vor allem auf trockenen und armen Standorten Nordostdeutschlands (Kippböden, Grenzertragsstandorte), deren Flächenanteil sich bedingt durch den Klimawandel vergrößern wird (Gerstengarbe et al. 2003), kann die Robinie im Vergleich zu anderen schnellwachsenden Baumarten (Pappel, Weide) deutlich höhere jährliche Biomasseerträge und bessere Anwuchsraten erreichen. Auf Lausitzer Rekultivierungsflächen liegt der durchschnittliche jährliche Biomasseertrag von 6-jährigen Pflanzen für die Robinien bei 4,7 $t_{atro}/ha*a$, für die Pappel (Hybride 275, Androscoggin, Muhle Larson) bei 1,4 $t_{atro}/ha*a$ und für die Weide (*S. virminalis*) bei 0,8 $t_{atro}/ha*a$. Somit erreicht lediglich die Robinie relevante Biomasseerträge (Grünwald et al. 2009, Kanzler et al. 2014).

In Deutschland ist die Robinie züchterisch kaum bearbeitet worden (Schneck 2010). Durch das Nutzungsziel Stammholz lag das Augenmerk auf der Geradschaftigkeit. Speziell für die Energieholz-erzeugung im Kurzumtrieb in Deutschland wurde bisher kein Pflanzmaterial selektiert. Der jährliche Grenzertrag für eine ökonomisch rentable Bewirtschaftung liegt bei 10 – 12 $t_{atro}/ha*a$ (Foster 1992), wobei allein in der Auswahl von standortgeeigneten Herkünften ein beträchtliches Potential zur Ertragssteigerung besteht (Bongarten et al. 1992, Olesniewicz und Thomas 1999, Dini-Papanastasi 2008).

Weitaus intensiver sind die Züchtungsbemühungen zur Robinie in Ungarn und Rumänien. In diesen Ländern herrschen ähnliche klimatische Bedingungen (450 – 550 mm bei 9,5 – 12,5 °C) wie im Osten Deutschlands (Waldsiedersdorf: 545 mm bei 8,9 °C), wobei auch hier Dürreperioden im Sommer zusammen mit hohen Temperaturen (>30 °C) und geringer Luftfeuchte (20 – 50 %) häufig sind.

In diesem Vorhaben wird die Ertragsleistung verschiedener Herkünfte (Schwerpunkt Mittel- und Südosteuropa) auf einem Standort im Land Brandenburg unter natürlichen Bedingungen untersucht. Ziel ist die Identifizierung von angepasstem und leistungsfähigem Pflanzmaterial zur Energieholzgewinnung auf trockenen und armen Standorten.

Material und Methoden

Untersuchungsmaterial und Anzucht

Es wurde die Wuchsleistung von 45 Nachkommenschaften aus 26 Saatgutbeständen und 15 Samenplantagen aus verschiedenen europäischen Ländern unter kontrollierten (Gewächshaus) und natürlichen (brandenburgischen) Bedingungen geprüft (Abb. 1). Ein Großteil der Saatgutpartien (39) wurde über europäische Partnerinstitutionen oder den Saatguthandel bezogen. Sechs Parteien (Waldsiedersdorf I-IV, Hasenholz, Buckow) stammen aus Selbsteinsammlungen. Zu beachten ist, dass es sich bei den Parteien Waldsiedersdorf I-IV und Görzitz I und II um Ernten verschiedener Reifejahre in der jeweils gleichen Samenplantage handelt.

Abb. 1: Einsammlungsorte der untersuchten Saatgutpartien



Um die Keimruhe zu brechen wurde vor der jährlichen Aussaat im April die harte und dauerhafte Samenschale mechanisch angeritzt und die Samen mit heißem Wasser übergossen (Khadduri et al. 2002).

Im Frühjahr 2010 wurde ein Teil der Nachkommenschaften unter kontrollierten Bedingungen, ein andere Teil unter natürlichen Standortbedingungen angezogen. „Kontrolliert“ bezieht sich hierbei auf die klimatisierten Bedingungen im Gewächshaus (GH), wobei die Pflanzen in 2 l-Töpfen mit kommerziellem Vermehrungssubstrat (Einheitserde classic, Gebr. Patzer GmbH & Co. KG) und ausreichender Wasserversorgung kultiviert wurden. „Natürlich“ meint die Bedingungen im Freiland (FL) der eigenen Baumschule in Waldsiefersdorf (Brandenburg, Deutschland). Dieser Standort ist mäßig frisch und grundwasserfern. Während der Auskeimphase wurden die Anzuchtbeete schattiert und durch regelmäßiges Jäten die Konkurrenz von Begleitkräutern minimiert. Eine künstliche Bewässerung erfolgte nur nach langen Trockenperioden (>4 Wochen) für wenige Stunden um einer hohen Ausfallrate entgegenzuwirken.

Im Herbst 2010 wurde die Höhe, der Basaldurchmesser (WHD) und das Sprosstrockengewicht (STG) von jeweils 20 Pflanzen einer Herkunft unter beiden Anzuchtbedingungen bestimmt. Die Trocknung erfolgte 48 h bei 105 °C. Nach der ersten Vegetationsperiode wurden die im Gewächshaus angezogenen Pflanzen in der Baumschule ausgepflanzt. Die im Freiland ausgesäten Pflanzen wurden im Mai 2011 stark durch Spätfrost geschädigt. Nach dem 2. Standjahr wurden von jeder Herkunft der Freilandaussaat die wüchsigsten Einzelpflanzen ausgewählt (Pluspflanzen) und erneut auf dem Baumschulgelände in Waldsiefersdorf verschult. Mit den übrigen Pflanzen wurde ein Feldversuch in Forst (Lausitz) angelegt (Ergebnisse dazu werden nachfolgend nicht dargestellt). Während der Vegetationsruhe der Jahre 2011, 2012 und 2013 wurden an den Pflanzen beider Gruppen (Gewächshaus- und Freilandanzucht) Höhe und Wurzelhalsdurchmesser erfasst, nicht aber das Sprosstrockengewicht.

Toleranzindices

„Trockentoleranzindices“ finden üblicherweise als Selektionskriterium bei der Abschätzung der Trockentoleranz Verwendung. Das Untersuchungsmaterial wird dabei unter bewässerten und nicht-bewässerten Bedingungen angezogen und die jeweiligen Ertragsleistungen ins Verhältnis gesetzt. Bei der nachfolgenden Analyse wurden die Toleranzindices aus der Ertragsleistung (Median von STG) unter natürlichen und kontrollierten Bedingungen abgeleitet. Damit handelt es sich nicht um Trockentoleranzindices i. e. S., eher um „Standorttoleranzindies“, welche eine Abschätzung der Ertragsstabilität für einen relativ armen und trockenen Standort im ersten Standjahr erlauben. Nachfolgend wurden die üblichen Abkürzungen für Trockentoleranzindices beibehalten und nach folgenden Formeln berechnet:

$$\text{Tolerance index} = TOL = Y_p - Y_s \quad (\text{Rosielle und Hamblin 1981})$$

$$\text{Mean productivity} = MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (\text{Rosielle und Hamblin 1981})$$

$$\text{Stress susceptibility index} = SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI}; SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \quad (\text{Fischer und Maurer 1978})$$

$$\text{Stress tolerance index} = STI = \frac{Y_p \times Y_s}{\bar{Y}_p^2} \quad (\text{Fernandez 1992})$$

Y_s ist die Ertragsleistung (STG) unter natürlichen Wuchsbedingungen, Y_p die Ertragsleistung (STG) unter kontrollierten Bedingungen. \bar{Y}_s und \bar{Y}_p sind die Gesamtmedianwerte aller Pflanzen unter natürlichen bzw. kontrollierten Bedingungen.

Statistische Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde mit den Programmen Microsoft Excel 2010 (Microsoft) und R (R Development Core Team 2009, R version 3.0.2 (2013-09-25)) durchgeführt. Die Ähnlichkeitsgruppen der Clusteranalyse wurden mit einem partitionierenden Verfahren (*k-Means*) in R gefunden. Die Variable wurden skaliert und die Clusterzentren mit 20 Wiederholungssets gefunden. Um die Anzahl k der Cluster zu wählen, wird der Verlauf der Fehlerquadratsumme RSS für eine wachsende Zahl k betrachtet. Dort, wo diese Kurve einen „Knick“ hat, also die Fehlerquadratsumme mit einem weiteren Cluster nicht mehr entscheidend sinkt, hört man in aller Regel auf. Eine gute Anpassung des Modells wird durch eine Minimierung der Fehlerquadratsumme innerhalb der Cluster und einer Maximierung der Fehlerquadratsumme zwischen den Clustern erreicht.

Ergebnisse

Toleranzindices

Die Toleranzindices wurden für insgesamt 44 Nachkommenschaften abgeleitet. Bei einer Nachkommenschaft (Hasenholz, D) war keine repräsentative Aufnahme im Freiland und damit keine Berechnung möglich.

Der mittlere Gesamtertrag im Gewächshaus ($Y_p = 2,13$ g) war siebenfach größer als der im Freiland ($Y_s = 0,29$ g), was deutlich den Einfluss von Standort und Wasserversorgung auf das Pflanzenwachstum zeigt (Tabelle 1). Zwischen der Wuchsleistung unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen war keine Korrelation festzustellen ($r_s = 0,08$). Ein großes Ertragspotential der Herkünfte gewährleistet demnach keine hohen Erträge bei ungünstigeren Bedingungen. So war die im Gewächshaus ertragsstärkste Herkunft (Arnaia, GR) im Freiland nur auf Platz 17, umgekehrt die im Freiland ertragsstärkste (Stara Zagora, BG) im Gewächshaus nur auf Rang 25.

Entsprechend der Indices lassen sich die relativen Ertragsleistungen für die Herkünfte ableiten und vergleichen. So korreliert der **TOL-Index** signifikant positiv ($r_s = 0,92$) mit dem Ertragspotential (Y_p) und negativ ($-0,21$) mit der Ertragsleistung unter natürlichen Bedingungen (Y_s) (Tabelle 2). Je größer der TOL-Wert, um so größer ist der Ertragsverlust und entsprechend trockensensitiv sind die Herkünfte. Die sensitivsten Herkünfte dieses Indexes sind gleichzeitig die mit dem größten Ertragspotential. Die Auslese von nur „toleranten“ Herkünften (mit geringem TOL-Wert) würde demnach zu verminderten Erträgen bei günstigen Wuchsbedingungen führen. Der **MP-Index** beschreibt die mittlere Produktivität beider Bedingungen und korreliert signifikant positiv ($r_s = 0,93$) mit Y_p . Ein großer Indexwert deutet auf eine gute Ertragsleistungen unter beiden bzw. wechselnden Wuchsbedingungen hin und erlaubt damit Rückschlüsse auf die Ertragsstabilität. Die besten und schlechtesten Herkünfte dieses Indexes entsprechen in etwa der Rangfolge für Y_p (vgl. Tabelle 1). Der **STI-Index** ist für eine Abschätzung nicht interpretierbar, da er jeweils signifikant positiv mit Y_s ($r_s = 0,86$) und Y_p ($r_s = 0,52$) korreliert. Damit könnten unter Umständen tolerante Herkünfte nicht als solche identifiziert werden. Der **SSI-Index** korreliert als einziger der untersuchten Indices signifikant negativ ($r_s = -0,78$) mit Y_s und signifikant positiv ($r_s = 0,48$) mit Y_p . Damit gehen beide Parameter unabhängig in die Berechnung ein, weshalb der SSI den anderen Indices bei der Identifizierung von sensitiven / toleranten Herkünfte vorzuziehen ist und als bevorzugtes Selektionskriterium Verwendung findet. Ein SSI-Wert >1 weist auf eine überdurchschnittliche Trockensensitivität hin (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Geografische Angaben und Reifejahr der untersuchten Herkünfte sowie Ertragsleistungen nach der ersten Vegetationsperiode (Yp: Gewächshaus, Ys: Freiland) und daraus abgeleitete Toleranzindices (TOL, MP, SSI, STI) mit entsprechender Rankzahl der Herkünfte (Farbverlauf)

Land	Ort	ID	LAT	LONG	ALT	Reifejahr	Yp	Ys	TOL	MP	SSI	STI							
Bulgarien	Dobrich	BG-DOB	N43° 34' 08"	E27° 49' 38"	300	2009	1,32	40	0,19	37	1,13	11	0,75	41	0,99	19	0,05	41	
	Hasskovo	BG-HAS	N41° 55' 53"	E25° 33' 26"	100	2009	2,11	24	0,16	38	1,95	24	1,13	28	1,07	37	0,07	37	
	Nessebar	BG-NES	N42° 43' 28"	E27° 35' 29"	100	2008	2,01	27	0,73	4	1,29	14	1,37	20	0,74	6	0,32	6	
	Plovdiv	BG-PLO	N42° 08' 38"	E24° 44' 58"	150	2009	1,5	37	0,46	9	1,04	9	0,98	36	0,80	9	0,15	23	
	Stara Zagora	BG-SZ	N42° 25' 26"	E25° 37' 30"	150	2009	2,06	25	1,46	1	0,60	1	1,76	9	0,34	1	0,66	2	
	Varna I	BG-VARI	N43° 12' 60"	E27° 54' 43"	100	2009	1,15	42	0,33	16	0,82	4	0,74	42	0,83	10	0,08	35	
	Varna II	BG-VARII	N43° 12' 60"	E27° 54' 43"	100	2008	1,41	39	0,20	36	1,21	13	0,80	40	0,99	17	0,08	36	
Deutschland	Altbrandsleben	D-ALT	N52° 04' 24"	E11° 15' 02"	77	2001	1,05	43	0,07	44	0,99	6	0,56	43	1,09	41	0,02	44	
	Buckow	D-BUC	N52° 33' 49"	E14° 04' 44"	77	2000	1,57	36	0,63	7	0,94	5	1,10	32	0,69	4	0,22	13	
	Göritz I	D-GÖRI	N51°59'02"	E12°29'55"	30	2002	3,62	3	0,26	26	3,36	42	1,94	4	1,07	38	0,22	14	
	Göritz II	D-GÖRII	N51°59'02"	E12°29'55"	30	2007	2,95	10	0,34	14	2,61	35	1,65	11	1,02	23	0,22	12	
	Hasenholz	D-HAS	N52° 33' 45"	E14° 01' 16"	84	2002													
	Kusel	D-KUS	N49° 32' 18"	E07° 24' 23"	226	2009	1,22	41	0,42	11	0,80	3	0,82	39	0,76	7	0,11	28	
	Meyenburg	D-MEY	N53° 18' 46"	E12° 14' 33"	72	2008	2,45	17	0,21	34	2,24	29	1,33	22	1,06	33	0,11	27	
	Waldsieversdorf I	D-WSDI	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2000	3,52	4	0,59	8	2,93	38	2,05	2	0,96	14	0,45	3	
	Waldsieversdorf II	D-WSDII	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2001	2,18	22	0,31	19	1,87	23	1,25	24	0,99	18	0,15	24	
	Waldsieversdorf III	D-WSDIII	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2002	2,04	26	0,22	33	1,82	22	1,13	30	1,03	29	0,10	32	
	Waldsieversdorf IV	D-WSDIV	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2002	3,78	2	0,26	25	3,52	43	2,02	3	1,08	39	0,21	15	
Wriezen	D-WRI	N52° 43' 11"	E14° 07' 60"	12	2008	1,95	29	0,16	39	1,79	21	1,05	34	1,07	35	0,07	38		
Griechenland	Arnaia	GR-ARN	N40° 29' 11"	E23° 35' 37"	10-500	2009	4,1	1	0,33	17	3,77	44	2,21	1	1,07	36	0,17	21	
Italien	Corsagna	I-COR	N43° 58' 44"	E10° 33' 50"	630	2009	2,83	11	0,39	13	2,45	34	1,61	12	1,00	21	0,24	10	
	Poggio Rosso	I-PR	N41° 42' 27"	E09° 21' 35"	350	2009	1,87	31	0,27	24	1,60	19	1,07	33	0,99	16	0,11	30	
	Rifreddo	I-RIF	N44° 39' 06"	E07° 20' 51"	800	2009	2,4	18	1,28	2	1,12	10	1,84	6	0,54	2	0,68	1	
Rumänien	Arginesti	RO-ARG	N44° 34' 29"	E23° 24' 50"	120	2009	2,68	12	0,31	20	2,38	31	1,49	15	1,03	25	0,18	17	
	Baciu	RO-BAC	N46° 47' 34"	E23° 31' 30"	500	2009	1,76	34	0,20	35	1,56	18	0,98	37	1,03	24	0,06	40	
	Berzasca	RO-BER	N44° 38' 58"	E21° 56' 48"	67	2009	1,99	28	0,23	32	1,76	20	1,11	31	1,02	22	0,18	18	
	Calafat	RO-CAL	N43° 59' 23"	E22° 56' 03"	35	2009	2,67	13	0,29	21	2,38	32	1,48	16	1,03	28	0,17	20	
	Carlogani	RO-CAR	N44° 31' 55"	E24° 06' 11"	230	2009	3,33	6	0,33	15	3,00	40	1,83	7	1,04	30	0,24	9	
	Comana	RO-COM	N45° 54' 56"	E25° 13' 31"	434	2009	1,78	33	0,29	22	1,49	17	1,03	35	0,97	15	0,11	29	
	Cuci	RO-CUC	N46° 49' 45"	E27° 11' 51"	290	2009	2,15	23	0,69	5	1,46	15	1,42	17	0,79	8	0,33	5	
	Focsani	RO-FOC	N45° 42' 02"	E27° 11' 20"	35	2009	3,1	8	0,26	28	2,84	36	1,68	10	1,06	34	0,08	34	
	Gugesti	RO-GUG	N45° 34' 00"	E27° 07' 60"	55	2009	1,46	38	0,26	29	1,21	12	0,86	38	0,96	12	0,14	25	
	Mihaiesti	RO-MIH	N46° 54' 06"	E23° 24' 52"	455	2009	3,48	5	0,23	31	3,25	41	1,86	5	1,08	40	0,10	31	
	Poiana Mare I	RO-PMI	N43° 55' 09"	E23° 04' 07"	36	2009	2,33	20	0,13	41	2,21	28	1,23	26	1,10	42	0,06	39	
	Poiana Mare II	RO-PMII	N43° 55' 09"	E23° 04' 07"	36	2009	0,89	44	0,10	42	0,79	2	0,50	44	1,03	26	0,02	43	
	Poiana Mare III	RO-PMIII	N43° 55' 09"	E23° 04' 07"	37	2009	3	9	0,14	40	2,86	37	1,57	13	1,10	43	0,09	33	
	Sacueni	RO-SAC	N47° 21' 09"	E22° 05' 29"	140	2009	2,57	15	0,26	27	2,32	30	1,41	18	1,04	31	0,17	19	
	Topoloveni	RO-TOP	N44° 48' 25"	E25° 05' 02"	570	2009	2,54	16	0,10	43	2,45	33	1,32	23	1,11	44	0,05	42	
	Vidra	RO-VID	N45° 54' 36"	E26° 53' 60"	260	2009	2,23	21	0,25	30	1,98	25	1,24	25	1,03	27	0,12	26	
	Viiisoara	RO-VII	N46° 33' 28"	E23° 54' 35"	170	2009	1,67	35	0,65	6	1,02	8	1,16	27	0,71	5	0,24	11	
Slowakei	Levice	SK-LEV	N48° 13' 09"	E18° 36' 23"	164	2007	1,87	32	0,40	12	1,47	16	1,13	29	0,91	11	0,16	22	
	Sobrance	SK-SOB	N48° 44' 45"	E22° 10' 47"	127	2008	3,28	7	0,29	23	2,99	39	1,78	8	1,06	32	0,21	16	
Ungarn	Kiskunsagi	H-KIS	N46° 50' 15"	E19° 11' 41"	79	2008	1,9	30	0,91	3	1,00	7	1,40	19	0,61	3	0,38	4	
	Nyirsegi	H-NYI	N47° 57' 12"	E21° 43' 35"	104	2008	2,59	14	0,45	10	2,14	27	1,52	14	0,96	13	0,26	8	
	Pusztavacs	H-PUS	N47° 10' 17"	E19° 30' 04"	126	2007	2,36	19	0,33	18	2,03	26	1,34	21	1,00	20	0,29	7	
gesamt							2,13	0,29	1,84	1,21	1	0,14							

Tabelle 2: Spearman-Korrelationskoeffizienten zwischen Yp, Ys und Toleranzindices. * p<0,05; ** p<0,01

	Ys	Yp	TOL	MP	SSI
Yp	0.0799				
TOL	-0.2080	0.9188**			
MP	0.3605	0.9315**	0.7290**		
SSI	-0.7829**	0.4840*	0.6875**	0.2094	
STI	0.8564**	0.5152**	0.2108	0.7544**	-0.4304**

Clusteranalyse

Der Grafik zufolge wählt man mindestens 3 Cluster, evtl. auch 4 (Abb. 2). Für den Vergleich von 3 und 4 Clustern wurden die ersten beiden Hauptkomponenten (Yp und Ys) in einem Streudiagramm visualisiert. Dabei sind die Clusterzugehörigkeit mit Herkunfts-ID und Cluster-Mittelwert in selber Farbe dargestellt (Cluster 1: schwarz/grün, Cluster 2: rot/blau, Cluster 3: grün/rot, Cluster 4: -/schwarz).

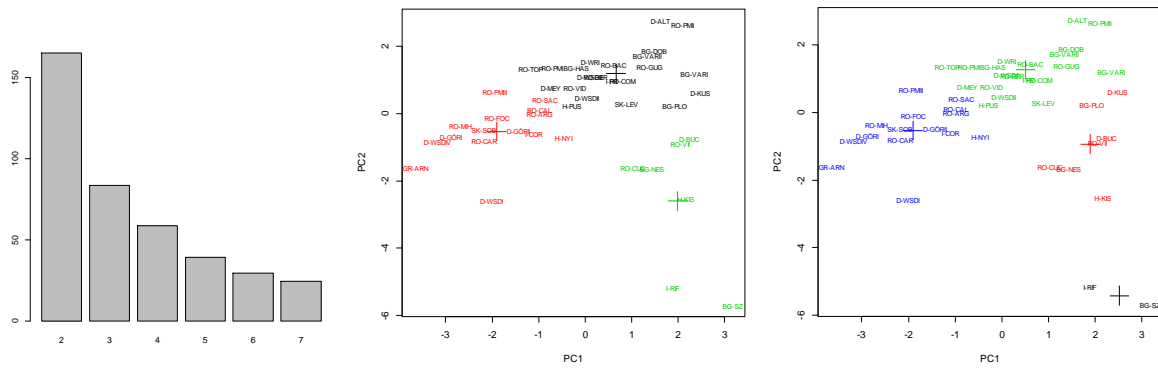


Abb. 2: Fehlerquadratsumme *RSS* mit steigender Clusterzahl (links). Streudiagramm der Ertragsleistung im ersten Wuchsjahr unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen (PC1, PC2) mit einer Clusteranzahl von drei (mittig) und vier (rechts)

Der zweite Cluster (rot/blau) ist bei beiden Varianten identisch, der erste (schwarz/grün) annähernd. Bei $k=4$ werden vom dritten Cluster (grün/rot) zwei Herkünfte (Stara Zagora (BG), Rifreddo (I)) in einem neuen vierten Cluster (-/schwarz) ausgelagert. Dadurch verringert sich die Fehlerquadratsumme innerhalb der Cluster (tot.withinSS) von 83,4 auf 58,7, die Fehlerquadratsumme zwischen den Clustern (betweenSS) steigt von 174,6 auf 199,3 (Tabelle 3). Dadurch verbessert sich die Modellanpassung (betweenSS/totalSS) von 67,7 % auf 77,2 %, weshalb vier statt drei Cluster zur Abgrenzung betrachtet werden.

Die zwei Herkünfte in Cluster 4 (schwarz) zeichnen sich durch ihre sehr gute Ertragsleistung unter natürlichen Bedingungen aus (hoher PC2-Wert, Tabelle 4). Cluster 1 (grün) umfasst 20 Herkünfte mit geringer Ertragsleistung unter beiden Wuchsbedingungen (geringe PC1- und PC2-Werte). Durch die insgesamt schwache Gesamtproduktivität sind diese für die Biomasseerzeugung nicht geeignet. Cluster 3 (rot) mit sieben Herkünften liegt intermediär zwischen dem ersten und vierten Cluster. Cluster 2 (blau) besitzt einen hohen PC1-Wert aus und umfasst 15 Herkünfte. Diese Herkünfte sind bei guten Bedingungen wüchsig, reagieren aber sehr empfindlich auf Trockenheit.

Tabelle 3: Vergleich der Güte der Modelle mit drei und vier Clustern

	k=3	k=4
betweenSS	174,6	199,3
tot.withinSS	83,4	58,7
size	22 – 7 – 15	20 – 2 – 15 – 7
withinSS	33,9 – 27,9 – 21,7	26,8 – 1,2 – 21,7 – 9,1

Tabelle 4: Cluster-Mittelwert ($k=4$) der Hauptkomponenten Y_s und Y_p sowie der Toleranzindizes

Cluster	Y_p (PC1)	Y_s (PC2)	TOL	MP	SSI	STI
1	-0,58	-0,53	-0,36	-0,73	0,37	-0,67
2	1,13	-0,20	1,12	0,99	0,53	0,23
3	-0,73	0,95	-1,01	-0,37	-1,32	0,45
4	-0,08	3,51	-1,27	1,14	-3,04	3,38

Ertragsleistung

Für die Abschätzung der Ertragsleistung wird nachfolgend der Parameter „Wurzelhalsdurchmesser“ (WHD) betrachtet. Durch diesen nicht-destruktiven Parameter konnten die jährlichen Zuwächse an denselben Einzelbäumen erhoben werden. Der WHD korreliert stark mit dem Biomasseertrag ($r_s = 0,87$), welcher exponentiell zum Durchmesser zunimmt (Abb. 3). Grundlage ist die allometrische Biomassefunktion ($STG = a * WHD^b$) bei der die Zielgröße auf einer Erklärungsvariablen (WHD) beruht. Die Ertragsparameter werden von den Faktoren Standort, Klima, Alter und Bestandsdichte beeinflusst.

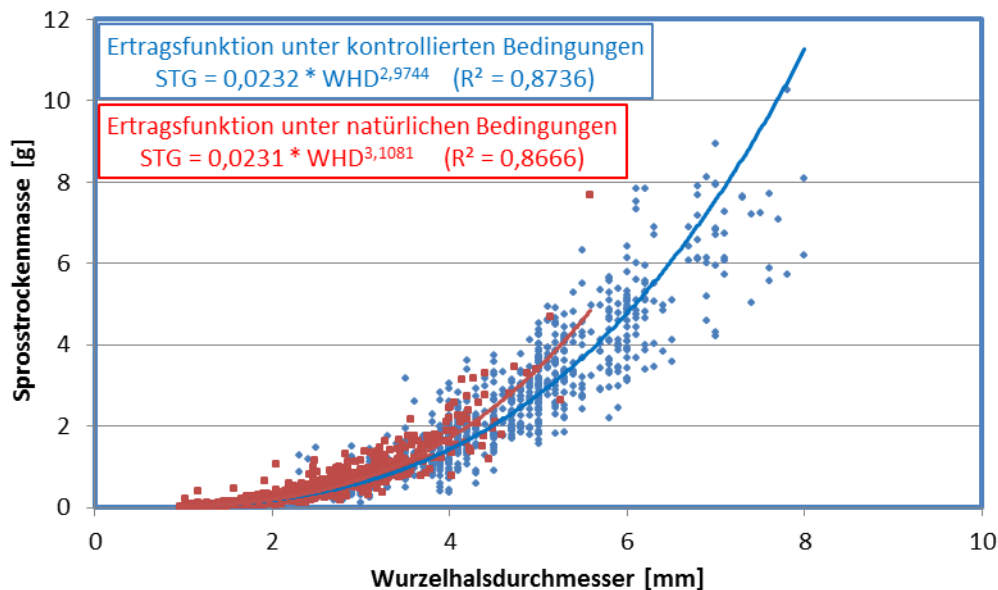


Abb. 3: Ertragsfunktionen einjähriger Robinien unter Freiland- (rot) und Gewächshaus-Bedingungen (blau)

Die einjährigen Pflanzen, welche unter kontrollierten Bedingungen angezogen wurden (I.1), wiesen im Durchschnitt einen doppelt so großen WHD (0,45 cm) wie die im Freiland angezogenen Pflanzen auf (0,23 cm (II.1), Abb. 4). Nach der Verschulung der GH-Pflanzen im Freiland (I.2) betrug der mittlere Durchmesser 0,91 ($\pm 0,36$) cm. In den folgenden beiden Jahren lag die durchschnittliche Wuchsleistung bei 1,22 ($\pm 0,68$) cm (I.3) bzw. 1,77 ($\pm 1,08$) cm (I.4). Insgesamt ist bezüglich der Wuchsleistung eine sehr große Spanne zwischen den verschiedenen Gruppen aber auch innerhalb der Nachkommenschaften festzustellen (Abb. 4). Der Durchmesser 4-jähriger Pflanzen variiert zwischen 0,3 und 5,89 cm. Die wüchsigste Pflanze liegt 3,3fach über dem Gesamtmittel, die schwächwüchsigste Pflanze liegt knapp 6fach darunter.

Die Wuchsleistung der 2-jährigen Freilandaussaaten (II.2) lag mit 0,39 cm noch unter der, die nach einem Jahr im Gewächshaus (I.1) erreicht wurde. Nach dem Austrieb der Pflanzen im Frühjahr 2011 führte ein Spätfrostereignis zu starken Schäden, wodurch von den insgesamt ~ 50.000 angezogenen Pflanzen ein Großteil ausfiel oder zumindest bis auf den Stock zurückgefroren ist. Nachfolgend war eine repräsentative Erhebung der Wuchsleistung dennoch gewährleistet.

Nach der ersten Vegetationsperiode im Freiland lag die wüchsigste Herkunft gut 50 % über dem Gesamtmittel (Stara Zagora, BG). Die Herkünfte Nessebar (BG) und Rifreddo (IT) folgten mit etwa 40 % (Abb. 5). Auf den Plätzen 4 bis 10 waren 6 deutsche Herkünfte vertreten (10-30 %). Fast alle rumänischen Herkünfte erbrachten unterdurchschnittliche Wuchsleistungen. Am schwächwüchsigsten war die Herkunft aus Topoloveni (-27 %), gefolgt von den drei Herkünften aus Poiana Mare (-22 bis -17 %). Im folgenden Jahr bestätigten sich die Wuchsleistungen vieler Herkünfte. Stara Zagora (BG) und Rifreddo (IT) zählten ebenfalls zu den wüchsigsten. Bei einigen Herkünften kam es jedoch zu einer deutlichen Verschiebung im zweiten Wuchsjahr (grüne Sterne in Abb. 5). Vor allem

bei den deutschen Herkünften Hasenholz, Altbrandsleben und Göritz II sowie Poggio Rosso (IT) wurde eine deutliche Steigerung festgestellt. Hingegen kam es zu deutlichen Wuchseinbrüchen (rote Sterne in Abb. 5) bei den Herkünften Waldsieversdorf I (DE), Viisoara (RO) und Poiana Mare II und III (RO). Die deutlichen Unterschiede in der Wuchsleistungen der genannten Herkünfte sind überwiegend auf das Spätfrostereignis im Frühjahr 2011 zurückzuführen. So zeigten besonders die Herkünfte aus Altbrandsleben, Hasenholz, Göritz II (alle DE) und Poggio Rosso (IT) eine hohe Toleranz, wohingegen die Herkünfte Waldsieversdorf I (DE), Viisoara (RO) und Poiana Mare II + III (RO) anfällig waren.

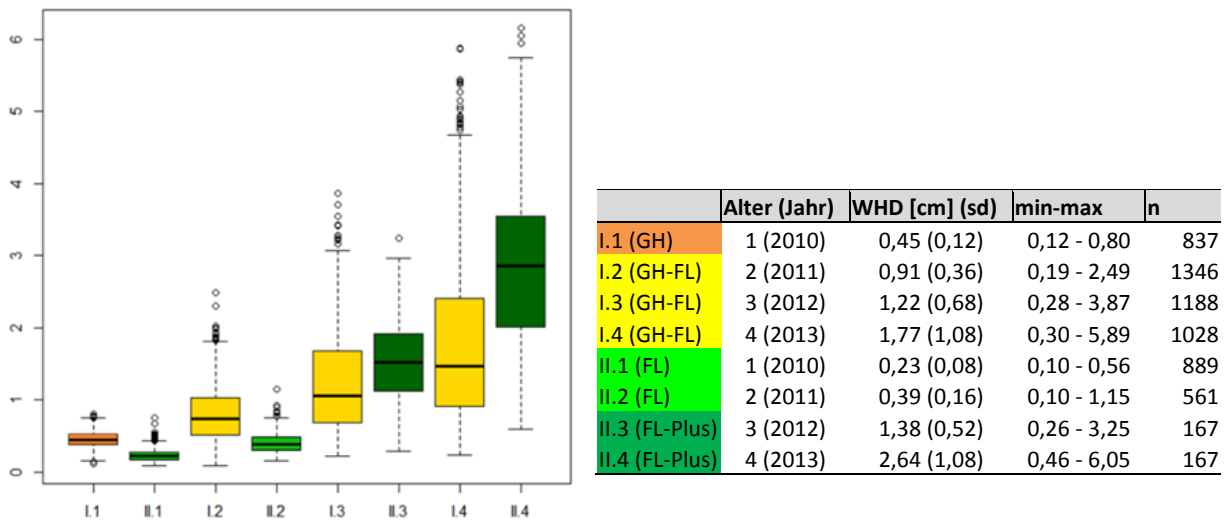


Abb. 4: Gesamtwuchsleistung (WHD [cm]) der Robinienherkünfte im Alter von 1-4 Jahren entsprechend ihrer „Anzuchtbehandlung“. I.x wurde im ersten Wuchsjahr (2010) unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus (GH) angezogen und im Frühjahr 2011 im Freiland (FL) ausgepflanzt. II.x wurde im Frühjahr 2010 im Freiland ausgesät und nach zwei Jahren nur wüchsige Vertreter (fast) jeder Herkunft (Pluspflanzen) verschult. In der Tabelle sind Alter, Wuchsjahr, Wuchsleistung (WHD) mit Standardabweichung (sd), Extrema (Minimum-Maximum) und Stichprobenzahl (n) der Herkunftsvergleiche angegeben.

Die Gesamtwuchsleistung der ausgewählten Pluspflanzen lag im Folgejahr (II.3) 350 % über der Wuchsleistung der Freilandaussaat 2011 (II.2, vgl. Abb. 4). Nach vier Jahren (II.4) betrug der WHD-Mittelwert dieser Pflanzen 2,64 ($\pm 1,08$) cm. Trotz der Vorselektion war auch in dieser „Untersuchungsgruppe“ die Streuung sehr groß (0,46 – 6,05 cm).

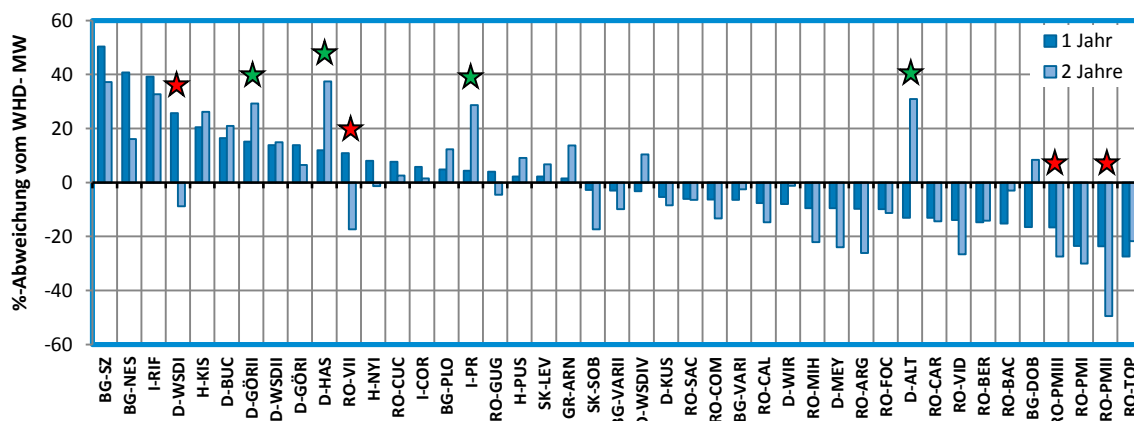


Abb. 5: Prozentuale Abweichung der Wuchsleistung der Herkünfte vom WHD-Gesamtmittelwert nach dem ersten und zweiten Standjahr im Freiland. Die Frostanfälligkeit ausgewählter Herkünfte ist mit „Sternen“ markiert (rot: sensitiv, grün: tolerant)

Bei der Wuchsleistung von 2- bis 4-jährigen Pflanzen kam es nur zu geringen Verschiebungen im Vergleich der Herkünfte. Herkünfte, welche sich nach zwei bzw. drei Standjahren als wüchsig erwiesen, hielten ihren Vorsprung auch in den Folgejahr(en) und setzten damit den Wuchstrend fort (Abb. 6). Betrachtet man die Wuchsleistung aus dem Herkunftsvergleich der ehemals im Gewächshaus angezogenen Pflanzen (I.2 und I.4 \triangleq „Gruppe I“, blaue Balken), können die Herkünfte Nessebar (BG), Levice (SK) und Waldsiefersdorf III (DE) deutlich (>15 %) zulegen, wohingegen nur die Herkunft aus Vidra (RO) deutlich zurückfiel (-18 %). In der Versuchsgruppe der Pluspflanzen (II.3 und II.4 \triangleq „Gruppe II“, grüne Balken) konnten deutliche Steigerungen bei den Herkünften Plovdiv (BG), Gugesti und Sacueni (beide RO) festgestellt werden, klar zurückgefallen ist die Herkunft Nyirsegi (HU).

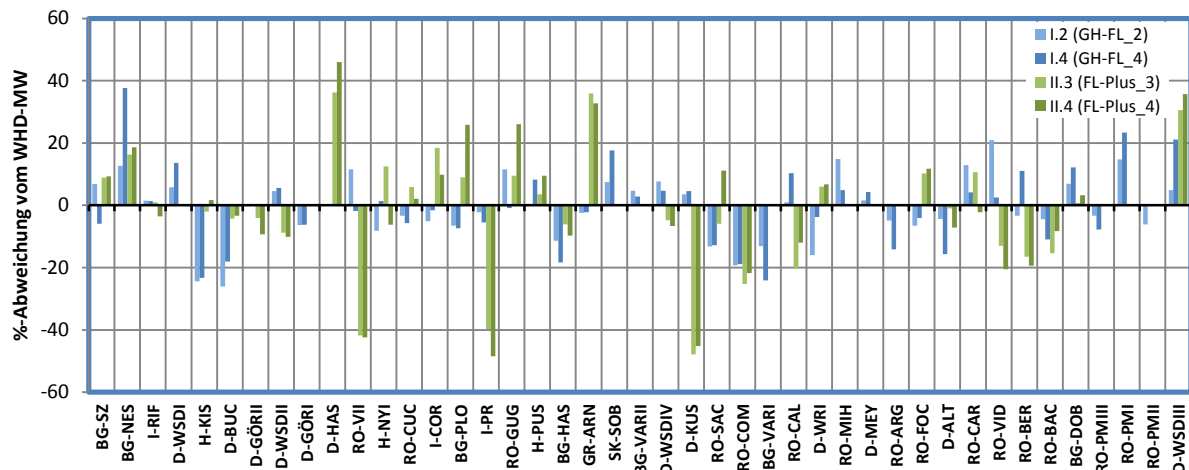


Abb. 6: Prozentuale Abweichung der Wuchsleistung der Herkünfte vom WHD-Gesamtmittelwert nach dem zweiten und vierten Standjahr der im Freiland verschulten Gewächshauspflanzen (blau), sowie nach dem dritten und vierten Standjahr vorselektierter Pluspflanzen (grün).

Beim Vergleich zwischen den beiden Gruppen unterscheiden sich einige Herkünfte deutlich in ihrer Wuchsleistung (blaue vs. grüne Balken in Abb. 6). So sind die selektierten Pluspflanzen der in „Gruppe I“ gut wüchsigen Herkünfte Berzasca (RO), Kusel (DE), Poggio Rosso (IT) und Viisoara (RO) nur schwachwüchsig. Im Gegensatz sind die Pluspflanzen der Herkünfte Hasenholz (DE), Arnaia (GR), Plovdiv (BG) und Gugesti (RO) deutlich wuchskräftiger bezogen auf das Herkunftsmittel der „Gruppe I“.

Die bisher präsentierten Ergebnisse sind zusammenfassend in Abbildung 7 dargestellt. In der Darstellung wurde die Ertragsleistung einjähriger Nachkommenschaften unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen als Basis verwendet. Ergänzend wurden gute (>10 % vom Gesamtmittel) und schlechte (<10 %) Wuchsleistung der Herkünfte nach vier Jahren von beiden Gruppen hervorgehoben. Die „Sterne“ markieren die Frostanfälligkeit.

Die zwei Herkünfte (I-RIF und BG-SZ), die sich in der ersten Untersuchung als tolerant unter natürlichen Wuchsbedingungen herausgestellt haben, erbrachten als 4jährigen Pflanzen nur mittlere Wuchsleistungen. Herausragend ist die Herkunft aus Nessebar (BG-NES), welche als mäßig tolerant eingestuft wurde, und in beiden Gruppen eine gute Wuchsleistung erbrachte. Ebenfalls in beiden Gruppen im Spitzenfeld vertreten ist Waldsiefersdorf III (D-WSDIII). Auch zwei weitere Herkünfte aus Waldsiefersdorf (D-WSDI und D-WSDIV) sowie Sobrance (SK), die ein hohes Ertragspotential bei der Toleranzuntersuchung zeigten (grünes Cluster), waren auch in „Gruppe I“ gutwüchsig. Ergänzend sei GR-ARN erwähnt, welche in „Gruppe II“ deutlich über dem Gesamtmittel lag. Drei rumänische Herkünfte (CAL, TOP, BER) waren gutwüchsig in „Gruppe 1“, bei den Pluspflanzen jedoch nur unterdurchschnittlich. Die Herkunft aus Comana (RO) zeigt insgesamt eine schlechte Wüchsigkeit.

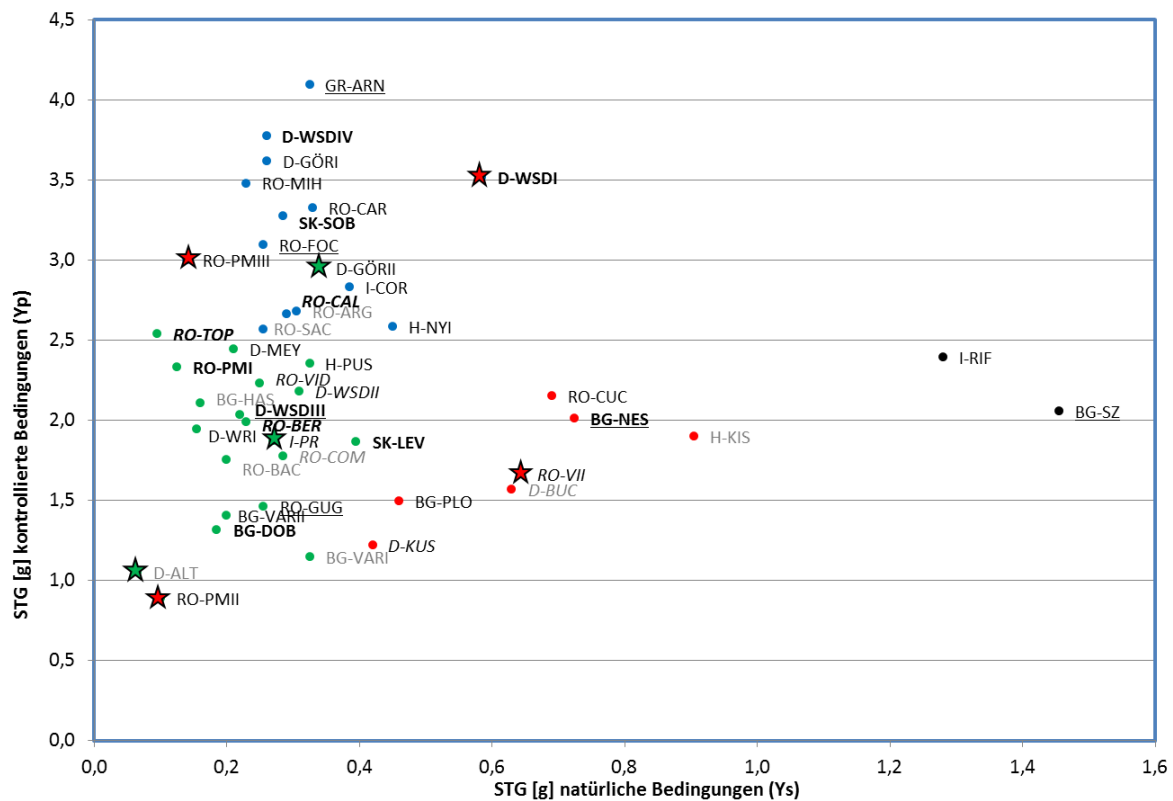


Abb. 7: Ertragsleistung einjähriger Pflanzen verschiedener Herkünfte unter natürlichen und kontrollierten Bedingungen. Die Punktfarben entsprechen den Toleranzclustern (vgl. Abb. 2). Die Sterne geben die Frostanfälligkeit wieder (rot: sensitiv, grün: tolerant; vgl. Abb. 5). Gute Wuchsleistungen (>10 % vom Gesamtmittel) der Herkünfte in „Gruppe I“ sind in fetter Schriftart, schlechte Wuchsleistung (<10 %) in grauer Farbe. Wüchsige Vertreter (>10 %) bei den Pluspflanzen (II.4) sind unterstrichen, schwachwüchsige (<10 %) kursiv dargestellt.

Schlussfolgerung

Die Ertragsleistung der einjährigen Nachkommenschaften unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen war voneinander weitgehend unabhängig. Damit konnte die Standorttoleranz der Herkünfte im ersten Wuchsjahr und ihr Ertragspotential eingeschätzt werden. Der SSI-Index wies als einziger der abgeleiteten Toleranzindizes (TOL, MP, SSI, STI) eine signifikant negative Korrelation mit der Ertragsleistung unter natürlichen Bedingungen auf, was die Einteilung in „sensitive“ und „tolerante“ Herkünfte gewährleistet. Zu demselben Ergebnis kommen u.a. auch Clarke *et al.* (1992) und Talebi *et al.* (2009) bei Trockentoleranzuntersuchen an Weizen. Bei der entsprechenden Clusteranalyse wurden neun Herkünfte dem „Toleranzcluster“ zugewiesen. Diese Herkünfte haben einen SSI-Wert <0,8. Weizensorten mit einem SSI-Wert >1 werden von Guttieri *et al.* (2001) als trockensensitiv eingestuft. Des Weiteren zeigt sich, dass Herkünfte mit geringem Ertragspotential unter Stressbedingungen in Relation deutlich produktiver sind. Demnach kann eine Selektion von Pflanzmaterial für arme/trockene Standorte nur unter entsprechenden Bedingungen erfolgen.

Im Jahr 2011 kam es nach einem warmen und trockenen April im Mai zu einem Spätfrostereignis, wodurch die gerade ausgetriebenen Freilandpflanzen erfroren oder stark beschädigt wurden. Die hohe Frostanfälligkeit der Robinie beschreibt auch Göhre (1952), was erhebliche Auswirkungen auf die Wuchsform und Folgeinfektionen durch Pathogene hat. Die Spätfrostanfälligkeit wurde indirekt über die Wuchsleistung der überlebenden Pflanzen nach der Vegetationsperiode abgeleitet. Das Ergebnis ist keinesfalls repräsentativ und fundiert, jedoch zeigt sich eine Wuchstendenz der Herkünfte nach diesem Ereignis. Demnach erwiesen sich besonders die deutschen und bulgarischen Herkünfte als tolerant, wohingegen die rumänischen Herkünfte anfällig waren. Diese Pflanzen erbrachten etwa die Wuchsleistungen des Vorjahres, benötigten also eine Vegetationsperiode um sich

zu regenerieren. Bei größeren/älteren Pflanzen wurden in den Folgejahren nur geringe Frostschäden beobachtet, meist an nicht bzw. schwach verholzten Jahrestrieben bedingt durch Frühfrost.

Die Untersuchungspflanzen wurden bisher nicht geerntet. Der Wurzelhalsdurchmesser wird daher als Indikator für die Wuchsleistung verwendet. Die tatsächliche Ertragsleistung liegt also nicht vor, kann aber über den WHD aus Ergebnissen anderer Untersuchungen hergeleitet werden. Kanzler et al. (2014) bestimmten auf einer Lausitzer Rekultivierungsfläche die Biomasse von zwei- bis vierjähriger Robinien (Pflanzdichte: 9.200 Bäumen/ha). Zweijährige Pflanzen besaßen einen mittleren WHD von 2,1 cm, was einer Gesamtwuchsleistung (ohne Ausfall) von 2,88 t_{atro}/ha bzw. 1,44 $t_{atro}/ha*a$ entspricht. Die dreijährigen Pflanzen kamen im Schnitt auf 3,1 cm (7,56 t_{atro}/ha bzw. 2,54 $t_{atro}/ha*a$), Vierjährige auf 3,9 cm (18,10 t_{atro}/ha bzw. 4,53 $t_{atro}/ha*a$). Auf einer anderen Fläche lag die Wuchsleistung nach 6 Jahren bei 5 cm bzw. 6,39 $t_{atro}/ha*a$. Einzelpflanzen mit einem Durchmesser von 2 cm sind etwa 3 kg schwer, bei 3 cm etwa 8 kg und 4 cm entsprechen etwa 20 kg. Vergleicht man diese Ertragsleistungen mit den untersuchten Herkunft (für Vierjährige 1,8 cm bzw. 2,6 cm), so ist die Gesamtwuchsleistung als relativ schwach zu bewerten. Einen großen Unterschied macht dabei das Ausgangsmaterial. In dieser Untersuchung wurden die Pflanzen aus Saatgut angezogen, hingegen werden auf Versuchsflächen ein- bis zweijährige Pflanzen ausgebracht.

Bei der Gesamtbetrachtung (Abb. 7) liegen die Herkunft Nesselbar (BG) bei 2,4 cm (I.4) und 3,1 cm (II.4) sowie Waldsiefersdorf III bei 2,2 cm (I.4) und 3,6 cm (II.4) und somit in beiden Gruppen deutlich über dem Gesamtmittel. Insgesamt schlagen sich die waldsiefersdorfer Herkunft ganz beachtlich und „streuen“ im oberen Mittelfeld. In den Jahren von 1950-1965 wurden im Osten Deutschlands Plusbäume (v.a. Geradschaftigkeit) für den Aufbau einer Samenplantage in Sachsen-Anhalt selektiert. Mit diesem Material wurde auch die Samenplantage in Waldsiefersdorf begründet.

Die deutlichen Unterschiede in der Wuchsleistung und Toleranz der in diesen Untersuchungen vertretenen Nachkommenschaften von Robinienbeständen und –samenplantagen, belegen deutlich die Wichtigkeit der Wahl des „richtigen“ Vermehrungsguts. Da den hier präsentierten Ergebnissen Erhebungen in Gewächshaus- bzw. Baumschulversuchen zugrunde liegen, ist eine Empfehlung geeigneter Herkunft und Samenplantagen für die Erzeugung von angepasstem und leistungsstarkem Pflanzmaterial noch nicht möglich. Dafür müssen die Ergebnisse der bereits angelegten und noch geplanten Nachkommenschaftsprüfungen abgewartet werden. Der beobachtete Leistungssprung durch die Selektion der wüchsigsten Bäume (Plusbäume) in den Nachkommenschaften zeigt, dass auch die Auslese und Vermehrung von Leistungsklonen ein möglicher Weg für eine deutliche Ertragssteigerung sein kann.

Literatur

- Bongarten BC, Huber DA, Apsley DK, 1992: Environmental and genetic influences on short-rotation biomass production of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Georgia Piedmont. *Forest Ecology and Management* 55: 315–331.
- BfN [Bundesamt für Naturschutz], 2013: Neobiota: *Robinia pseudoacacia*. Neobiota.de - Gebietsfremde und invasive Arten in Deutschland.
- Clarke JM, DePauw RM, Townley-Smith FT, 1992: Evaluation of Methods for Quantification of Drought Tolerance in Wheat. *Crop Science* 32: 723–728.
- DeGomez T, Wagner MR, 2001: Culture and Use of Black Locust. *HortTechnology* 11: 279-288.
- Dini-Papanastasi O, 2008: Effects of clonal selection on biomass production and quality in *Robinia pseudoacacia* var. *monophylla* Carr. *Forest Ecology and Management* 256: 849–854.
- Enescu CM, Danescu A, 2013: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) - an invasive neophyte in the conventional land reclamation flora in Romania. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II - Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering* 6: 23–30.
- Fernandez G CJ, 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. (CG Kuo, Ed.). Taipei, Taiwan: Avrdc.

- Fischer R, Maurer R, 1978: Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.
- Foster C, 1992: Wood fuel production from short rotation coppice. In: Cambridge: British Crop Protection Council (BCPC): 215-222.
- Gerstengarbe F-W, Badeck F, Hattermann F et al., 2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst-und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam: PIK.
- Göhre K, 1952: Die Robinie (falsche Akazie) und ihr Holz. Berlin: Deutscher Bauernverlag.
- Grünewald H, Böhm C, Quinkenstein A, Grundmann P, Eberts J, Wühlisch G von, 2009: *Robinia pseudoacacia* L.: A Lesser Known Tree Species for Biomass Production. BioEnergy Research 2: 123–133.
- Guttieri MJ, Stark JC, O'Brien K, Souza E, 2001: Relative Sensitivity of Spring Wheat Grain Yield and Quality Parameters to Moisture Deficit. Crop Science 41: 327–335.
- Iliev N, Iliev I, Park Y-G, 2005: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Bulgaria. Journal of Korean Forestry Society 94: 291–301.
- Kanzler M, Böhm C, Quinkenstein A, Steinke C, Landgraf D, 2014. Wuchsleistung der Robinie auf Lausitzer Rekultivierungsstandorten. AFZ-Der Wald 5: 35–37.
- Khadduri N, Harrington JT, Rosner LS, Dreesen DR, 2002: Percussion as an alternative scarification for New Mexico locust and black locust seeds. In: National proceedings: forest and conservation nursery associations-1999, 2000, and 2001. Ogden, UT: U.S.: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 309–316.
- Olesniewicz KS, Thomas RB, 1999: Effects of mycorrhizal colonization on biomass production and nitrogen fixation of black locust (*Robinia pseudoacacia*) seedlings grown under elevated atmospheric carbon dioxide. New Phytologist 142: 133–140.
- Redei K, Osvath-Bujtas Z, Veperdi I, 2008: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) improvement in Hungary: a review. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 4: 127–132.
- Rosielle AA, Hamblin J, 1981: Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment. Crop Science 21: 943–946.
- Schneck V, 2010: Robinie - Züchtungsansätze und Begründungsverfahren. In: Deutschland/ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.). Beiträge - Agrarholz 2010: Symposium am 18. und 19. Mai 2010 in Berlin. Bonn: BMELV, pp. 1-8.
- Talebi R, Fayaz F, Naji AM, 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). General and Applied Plant Physiology 35, 64–74.
- Veste M, Böhm C, Quinkenstein A, Freese D, 2013: Biologische Stickstoff-Fixierung der Robinie. AFZ-Der Wald 2: 40–42.

Korrespondierender Autor:

Thomas Guse
 Thünen-Institut für Forstgenetik
 Eberswalder Chaussee 3 a
 15377 Waldsiedersdorf
 thomas.guse@ti.bund.de