

## Energie aus dem Stock – Zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb

JAN ENGEL<sup>1</sup> & DIRK KNOCHE<sup>2</sup>

Im Rahmen des FNR-Verbundvorhabens „FastWOOD“ soll das durch Kurzumtrieb mobilisierbare Biomassepotenzial der Robinie bewertet werden. Die beiden Projektpartner Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) und Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB) entwickeln Konzepte zur effizienten Verjüngung und Bestandesbehandlung von Robinienbeständen und der Gewinnung von Vermehrungsgut zur vorrangigen energetischen Nutzung.

### Einleitung

Nach BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2011) stocken in Deutschland etwa 14.000 ha Robinienbestände, wobei auf Brandenburg 8.100 ha entfallen (DSW 2009). Angesichts des prognostizierten Klimawandels dürfte diese vergleichsweise trockenresistente Baumart dort an waldbaulicher Bedeutung gewinnen. Ihre Fähigkeit zur Luftstickstoffbindung ermöglicht selbst auf wenig kulturfreundlichen Sonderstandorten, wie den humusarmen und bisweilen stark versauerten Kipprohböden des Braunkohlenbergbaus, einen zufriedenstellenden Biomassezuwachs (vgl. BARRETT et al. 1990, ERTLE, et al. 2008, FÜHRER 2005). Daneben bildet sie für ertragsschwache Agrarholzflächen eine willkommene Alternative zur wesentlich anspruchsvolleren Pappel (PETERS et al. 2007, RÉDEI & VEPERDI 2005).

Bekanntlich ist die Robinie eine invasive und unduldsame Lichtbaumart (BÖHMER et al. 2000), deren Zuwachs sehr zeitig kulminiert (ERTELD 1951). So wird ihr hohes Wuchspotenzial durch 80- bis 100-jährige Umtriebszeiten bzw. eine Zielstärke (BHD) >40 cm (MLUR 2004) kaum ausgeschöpft. Aufgrund der Überalterung vieler Bestände erreicht der laufende Zuwachs in Brandenburg nur etwa 50 % des standörtlich möglichen Niveaus. Näher betrachtet, werden jedoch Biomassebildung, Energieausbeute und Holzqualität entscheidend durch die Herkunftswahl beeinflusst (BONGARTEN et al. 1992, SCHÜLER et al. 2006). Im Gegensatz zu Pappel oder Weide steht die züchterische Bearbeitung noch am Anfang: Herkunft und genetische Struktur der heimischen Bestände bedürfen dringend einer Aufklärung.

Vorrangiges Projektziel ist es, dass energetisch nutzbare Biomassepotenzial der Baumart zu ermitteln. Es werden

Modellbestände für eine Bewirtschaftung in kurzen Umtriebszeiten etabliert. Neben einer niederwaldartigen Behandlung steht die Erzeugung von Sondersortimenten, quasi als moderne Variante des historischen Mittelwaldes im Forschungsinteresse. In wiederholter Rotation lassen sich Standort-, Bestockungs- und Witterungseinflüsse auf das Ertragsvermögen ableiten. Für den späteren Aufbau von Samenplantagen sind genotypisierte Plusbäume vegetativ zu vermehren.

### Die Robinie in Brandenburg

In Brandenburg kommt die Robinie im ganzen Land vor, hat den Schwerpunkt ihrer momentanen Verbreitung jedoch in den östlichen und südlichen Landesteilen (Abb. 1).

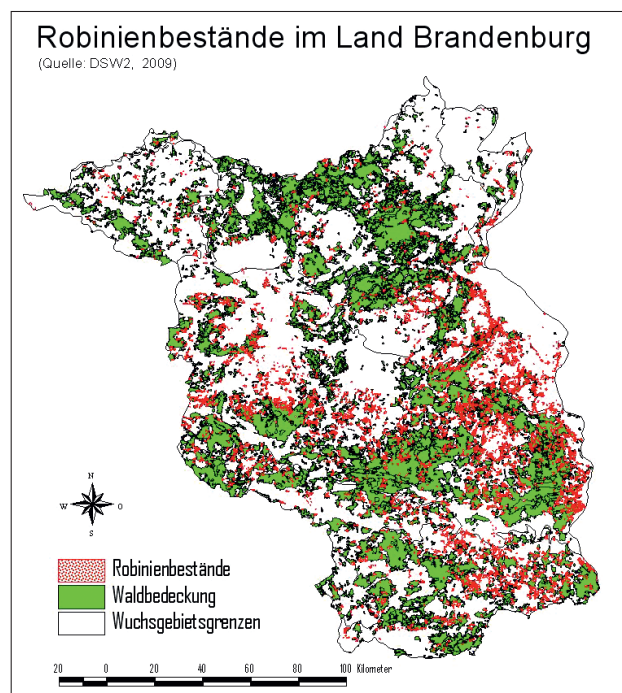


Abbildung 1: Verbreitungskarte der Robinie im Land Brandenburg (DSW 2010)

<sup>1</sup>) Forstoberinspektor JAN ENGEL, Dezernent im Projekt FastWOOD, **Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)**, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde, Telefon 03334 65267, E-Mail: Jan.Engel@lfe-e.brandenburg.de

<sup>2</sup>) DR. DIRK KNOCHE, Abteilungsleiter Agro- und Forstökosysteme, **Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)**, Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde, Telefon 03531 790716, E-Mail: d.knoche@fib-ev.de

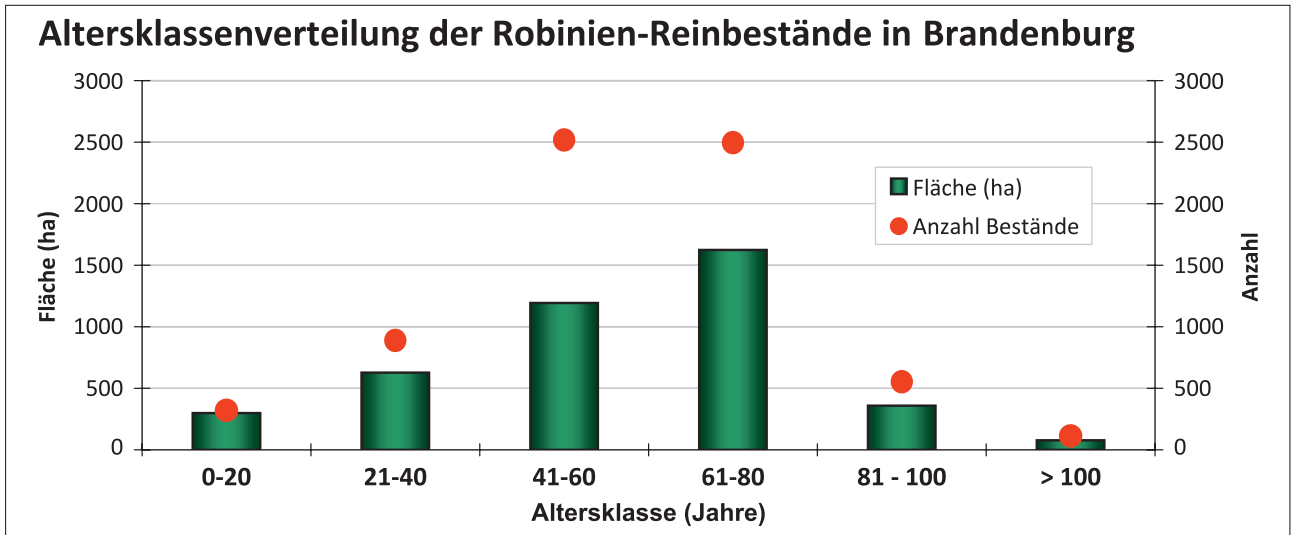


Abbildung 2: Altersklassenverteilung (DSW 2011)

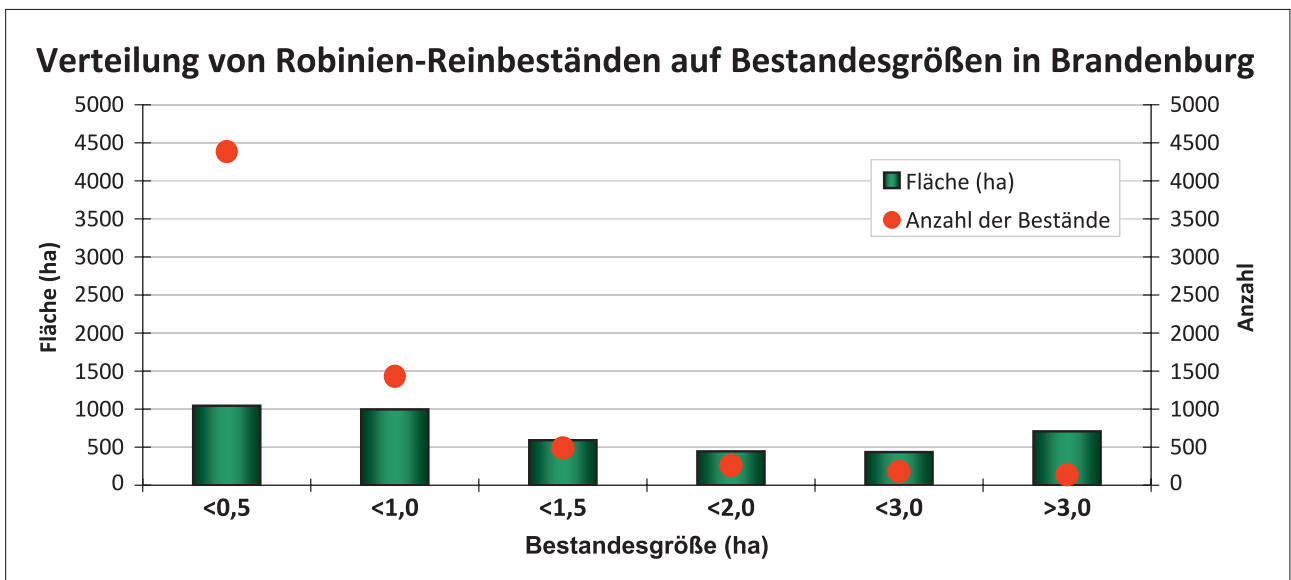


Abbildung 3: Durchschnittliche Bestandesgrößen (DSW 2011)

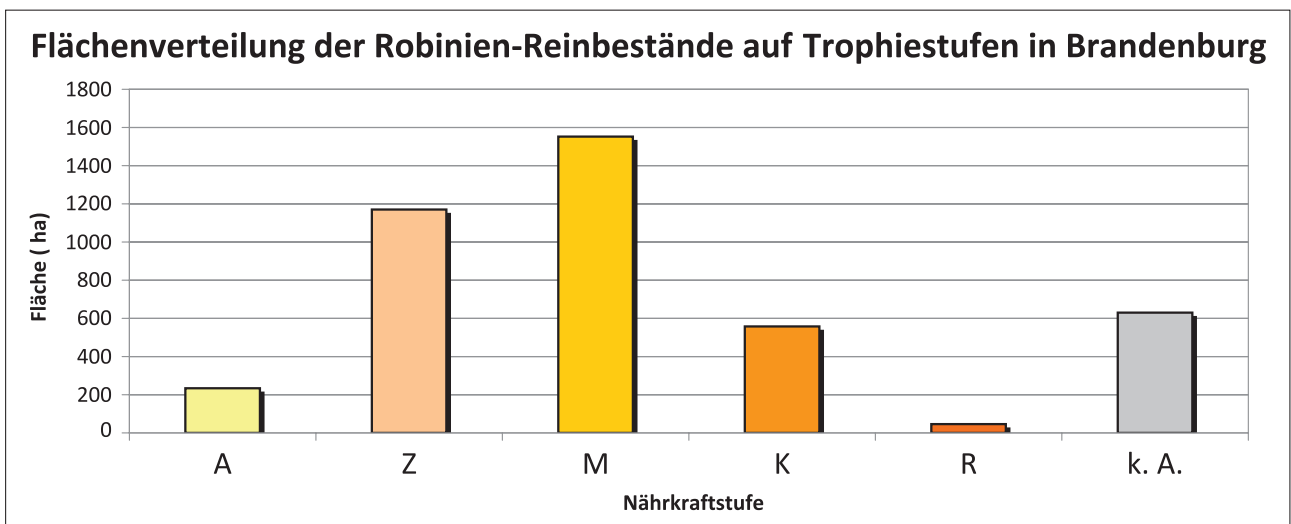


Abbildung 4: Flächenverteilung auf Trophiestufen (DSW 2011)

In die Analyse sind nur die 4.223,7 ha im Datenspeicher Wald (DSW) erfassten Reinbestände aus dem Oberstand eingeflossen.

Rund 40 % der Fläche dieser Bestände liegt im Altersbereich von 61–80 Jahren, gefolgt von der Altersklasse 41–60 Jahre mit einem Flächenanteil von rund 1.200 ha. In den jungen Altersbereichen <20 Jahre stocken lediglich 298 ha (Abb. 2).

Auffällig sind die geringen Größen der einzelnen Bewirtschaftungseinheiten. Aus der Gesamtzahl von 6.890 Reinbeständen ergibt sich rechnerisch eine durchschnittliche Bestandesgröße von 0,61 ha, wobei tatsächlich nur 1.073 Robinienbestände eine Fläche >1 ha einnehmen. 5.817 Bestände (84 %) umfassen weniger als 1 ha, lediglich 138 Bestände sind größer als 3 ha (Abb. 3).

Entsprechend der Standortsansprüche der Robinie entfällt ihr Anbauswerpunkt mit 65 % in den Trophiebereich Z bis M. Die Nährkraftstufe A ist mit nur 234 ha vertreten. Für weitere 630 ha Robinienbestände liegen allerdings keine Standortsangaben vor, dabei handelt es sich vor allem um Kippenerstaufforstungen des Braunkohlenbergbaus und Nichtholzbodenflächen (Abb. 4).

Einen Eindruck der durchschnittlichen Ertragskenndaten vermitteln die flächengewogenen arithmetischen Mittelwerte von D13, Mittelhöhe, Vorrat (ha) und Zuwachs (pro ha und Jahr). Nach Tabelle 1 bilden diese Bestandesgrößen entsprechend der Alterklassen- und Flächenverteilung den schwachen Baumholzbereich ab.

Über die Fläche gewogene Mittelwerte (8.100 ha Oberstand, alle Bestandesmischungen, alle Eigentumsarten)	
D13:	26,3 cm
Mittelhöhe:	18,6 m
Vorrat pro ha:	221,4 Vfm
Zuwachs pro ha und Jahr:	5,0 Vfm

Tabelle 1: Ertragskenndaten der Robinie in Brandenburg (gewogenes arithmetisches Mittel), durchschnittlicher Vorrat und Zuwachs (DSW 2010)

Hieraus lässt sich für Brandenburg eine jährlich nachhaltig nutzbare Holzmasse von etwa 30.000 Efm ableiten.

Dabei ist zu beachten, dass der Datenspeicher Wald (DSW) nur rund 80 % der Waldfläche abdeckt. Insbesondere für den Privatwald wurden die Bestandesdaten seit nunmehr über 20 Jahren nur fortgeschrieben. Viele Flächen in den Bergbaufolgelandschaften oder ehemalige nicht eingerichtete Bestände sind darin nicht enthalten. Der für die Versuchsflächen durch die Hiebsmaßnahme errechnete durchschnittliche Bestandesvorrat von 253,6 Vfm (Baumholz) pro ha (Tabelle 7) liegt jedoch im Bereich des theoretischen Wertes von 221,4 Vfm (Derbholz) aus der Berechnung des Datenspeichers Wald, wenn man von einem mittleren Reduktionsfaktor für die Umrechnung von Baum in Derbholz = 0,8 nach MUCHIN et al. (2006) ausgeht.

Im Landesforst Brandenburg wurden bei einer Robinienfläche von 1.190 ha (0,47 % der Holzbodenfläche) im Jahr 2010 rund 4.800 fm (entspricht dem Durchschnitt der letzten drei Jahre) Robinienholz eingeschlagen, was einem durchschnittlichen Nutzungssatz von 4 Efm/ha entspricht. (Quelle: FBMS IT-Betrieb; GRAUDENZ 2011, mdl. Mitteilung). Damit wurde der nachhaltige Nutzungssatz nahezu ausgeschöpft.

Der Anteil von Robinienbeständen in den sonstigen Waldeigentumsarten liegt mit 6.910 ha bei 1,15 %, Angaben über dort genutzte Holzmen gen gibt es nicht.

## Anlage der Versuchsflächen zur Etablierung von Modellbeständen

### Flächenübersicht

Über die Anbauswerpunkte des mittleren und südlichen Brandenburgs verteilt wurden 9 Modellbestände ausgewählt und Versuchsflächen von bis zu 1 ha in Abhängigkeit der Stammzahl etabliert. Davon entfielen jeweils 3 Bestände auf die Altersbereiche 0–20, 21–40, 41–60 Jahre (siehe Tabellen 2 & 3). Die Anlage der Flächen folgte der Praxis für langfristige forstliche Versuchsflächen der Deutschen Forstlichen Versuchsanstalten.

Ihrer regionalen Bedeutung entsprechend fanden auch Kippenerstaufforstungen des Braunkohlenbergbaus Berücksichtigung. Das Hauptaugenmerk der Flächenauswahl lag auf grundwasserfernen, ziemlich armen bis mittel nährstoffversorgten, mäßig frischen Standorten (Z2, M2).

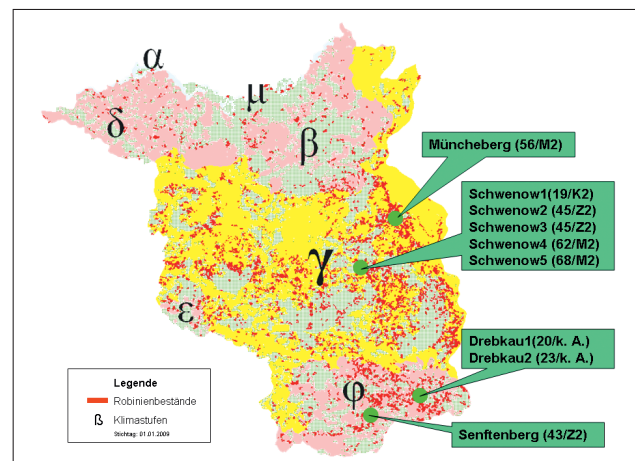


Abbildung 5: Lage der Versuchsflächen im Land Brandenburg (DSW 2010)

Die Ausgangsbestände wurden nach einer Standortserkundung (SEA 95 und AG BODEN 2005), ertragskundlicher Aufnahme, der Auswahl von 36 Probestämmen in drei Qualitätsstufen pro Versuchsfläche sowie einer populationsgenetischen Charakterisierung (DNA-Marker) im März 2009 „auf den Stock gesetzt“ und geräumt. Anschließend wurde jeder Wurzelstock eingemessen und dauerhaft nummeriert.

Anschließend erfolgte eine Untergliederung in die vier Behandlungsvarianten:

- „Niederwald I“ (1-jähriger Umtrieb)
- „Niederwald II“ (2-jähriger Umtrieb) jeweils mit anschließlicher Energieholzproduktion
- „Mittelwald“ (4-jähriger Umtrieb) sowie Überhalt von hochwertigen Robinien (Zielstammzahl etwa 50 Stk. ha<sup>-1</sup>, ggf. Astung) mit bis zu 50-jähriger Umtriebszeit, Gewinnung von Vermehrungsgut
- „Hochwald“ (Referenzfläche) mit bis zu 80-jähriger Umtriebszeit

Fläche	Oberförsterei	Waldort	Alter (2009)	Standortsgruppe	Koordinaten (ETRS 89)	Flächengröße (m <sup>2</sup> )
<b>Natürliche Waldstandorte</b>						
Schwenow 1	Schwenow	Abt. 5191 c <sup>5</sup>	19	K2	H5779338 R3435164	10.035
Schwenow 2	Schwenow	Abt. 5186 b <sup>3</sup>	45	Z2	H5778188 R3435003	4.411
Schwenow 3	Schwenow	Abt. 5262 a <sup>4</sup>	45	Z2	H5777390 R3426310	3.872
Schwenow 4	Schwenow	Abt. 4560 a <sup>0</sup>	62	M2	H5773291 R3441773	9.666
Schwenow 5	Schwenow	Abt. 4563 a <sup>6</sup>	68	M2	H5774325 R3441516	3.383
Müncheberg	Müncheberg	Abt. 6180 1 <sup>0</sup>	56	M2	H5823417 R3435838	5.733
<b>Kippenstandorte</b>						
Drebkau 1	Drebkau	Abt. 981 2 <sup>3</sup>	20	k. A.	H5714522 R3453922	5.747
Drebkau 2	Drebkau	Abt. 973 2 <sup>1</sup>	23	k. A.	H5712701 R3452105	4.457
Senftenberg	Senftenberg	Abt. 1621 a <sup>4</sup>	43	Z2	H5707275 R3417973	8.441
k. A. = keine Angaben						

Tabelle 2: Übersicht der Versuchsflächen zur modellhaften Bewirtschaftung der Robinie im Kurzumtrieb

Standort	Fläche [ha]	Alter	Höhe [m]	BON	BHD [cm]	Bo	Vorrat [Vfm ha <sup>-1</sup> ]	Erntemenge [Vfm ha <sup>-1</sup> ]
Quelle: DSW, 2009							Quelle: HBF 2009, Holzaufmaß	
<b>Natürliche Waldstandorte</b>								
Schwenow 1	1,6	19	15,1	-0,1	10	1,2	177,9	207,8
Schwenow 2	1,2	45	18,0	II,3	25	1,2	247,9	253,4
Schwenow 3	2,1	45	16,3	III,0	19	1,3	233,5	144,9
Schwenow 4	2,3	62	24,9	0,7	29	0,9	406,6	199,6
Schwenow 5	1,2	68	26,7	0,3	32	1,0	501,7	660,4
Müncheberg	1,4	56	25,6	0,1	29	0,4	184,9	174,1
<b>Kippenstandorte</b>								
Drebkau 1	5,9	20	12,8	I,6	12	1,0	92,5	135,7
Drebkau 2	1,2	23	11,9	II,7	14	1,0	95,8	206,5
Senftenberg	1,7	43	16,0	III,0	16	1,0	148,2	274,1
<small>Alter des Ausgangsbestandes (01.01.2009), Waldzustandsdaten nach Datenspeicher Waldfonds (DSW2), BHD = Brusthöhendurchmesser, Bo = Bestockungsgrad, Vorrat = Derbholzvorrat (Ø &gt;7 cm mit Rinde)  Erntemenge nach Nutzung der Bestände entspricht Vfm (Ø &lt;7 cm mit Rinde), da eine Ganzbaumnutzung erfolgte.</small>								

Tabelle 3: Bestockungsverhältnisse (Ausgangssituation) der Versuchsflächen zur modellhaften Bewirtschaftung der Robinie im Kurzumtrieb

### Standortverhältnisse

Die Versuchsflächen liegen in Brandenburg im Bereich des mäßig trockenen bzw. mäßig frischen Tieflandklimas (t, m) in den forstlichen Wuchsgebieten 11 und 15 (Tabelle 4).

Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme liegt zwischen 606 bis 626 mm und es ist eine stark negative klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (-82 bis -107 mm, Tabelle 5) zu verzeichnen.

Die pH KCl-Werte auf den Versuchsflächen schwanken zwischen 3,2 und 4,6 und bewegen sich von Ober- zu Unterboden im Austausch- bis Aluminium-Pufferbereich. Auf allen Standorten herrschen Reinsande bis schwach lehmige Sande vor, deren nutzbare Feldkapazität (nFK 100 cm) bei rund 110 mm liegt (gering bis mittel). Ausnahmen bilden die beiden Flächen *Müncheberg* und *Schwenow 4* mit einer pflanzenverfügbaren Wasserspeicherung von lediglich +/- 50 mm.

Standort	Klimastufe	Wuchsgebiet	Wuchsbezirk
<b>Natürliche Waldstandorte</b>			
Schwenow 1	γ (t)	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	Beeskower Platte
Schwenow 2	γ (t)	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	Beeskower Platte
Schwenow 3	γ (t)	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	Koenigs Wusterhausener Talsand und Platten
Schwenow 4	γ (t)	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	Beeskower Platte
Schwenow 5	γ (t)	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	Beeskower Platte
Müncheberg	γ (t)	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	Strausberger Platte
<b>Kippenstandorte</b>			
Drebkau 1	Φ (m)	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland	Lausitzer Grenzwall
Drebkau 2	Φ (m)	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland	Lausitzer Grenzwall
Senftenberg	Φ (m)	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland	Senftenberger kippenreiche Platte

Tabelle 4: Lage der Versuchsfelder in forstlichen Wuchsgebieten

Flächen	Niederschlag [mm]	Luft-Temperatur [°C]	Luft-Feuchtigkeit (relativ) [%]	Potenzielle Evapotranspiration [mm]	Klimatische Wasserbilanz [mm]
Schwenow 1-5	607,0 (461,0)	8,6 (14,2)	78,2 (74,5)	607,0 (461,0)	24,2 (-98,9)
Müncheberg	605,7 (343,0)	8,4 (14,1)	79,4 (76,1)	560,8 (425,3)	34,0 (-82,3)
Drebkau 1-2 Senftenberg	626,2 (411,2)	8,6 (13,3)	78,4 (75,3)	613,5 (517,7)	12,7 (-106,5)

Tabelle 5: Klimatische Situation auf den Versuchsfeldern auf der Basis von Daten der nächstgelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Zeitraum von 1961–1990. Angegeben sind die jährlichen Mittelwerte und in Klammern die Mittelwerte in der Vegetationsperiode

Fläche	Bodentyp (AG Boden 2005)	Bodenart	nFK <sub>100cm</sub> [mm]	PH <sub>KCl</sub>	Standortsgruppe <sub>(SEA 95)</sub>
<b>Natürliche Waldstandorte</b>					
Schwenow 1	Normbraunerde (BBn)	Lehmiger Sand	119	3,5 - 4,1	K2
Schwenow 2	Braunerde-Trepsol (BB-YU)	Sand	107	3,8 - 4,4	Z2
Schwenow 3	Braunerde-Trepsol (BB-YU)	Sand	111	3,9 - 4,4	Z2
Schwenow 4	Normbraunerde (BBn)	Sand	54	3,2 - 4,6	M2
Schwenow 5	Pseudogley-Braunerde (SS-BB)	Lehmiger Sand	107	3,2 - 4,2	M2
Müncheberg	Normbraunerde (BBn)	Sand	48	3,8 - 4,6	M2
<b>Kippenstandorte</b>					
Drebkau 1	Normlockersyrosem (OLn); Kipp-Kohlesand (pq) über Kipp-Kohle-Kalklehmsand (pq)	Lehmiger Sand	109	7,7 - 8,4	k. A.
Drebkau 2	Normregosol (RQn); Kipp-Reinsand (q)	Sand	69	5,9 - 7,2	k. A.
Senftenberg	Normregosol (Rqn); Kipp-Gemengesand (q/pq)	Lehmiger Sand	83	3,7 - 4,0	Z2

*Ökologische Gruppierung der Böden nach Pufferbereichen: Austauscher-Pufferbereich (pH 4,2 bis 5,0), Aluminium-Pufferbereich (pH 3,0 bis 4,2), (Ulrich 1981, AG Boden 2005)*

Tabelle 6: Bodenarten und Standortsgruppen der Versuchsfelder

## Nutzung der Ausgangsbestände

Holz und Schlagabraum wurden praxisüblich verwertet und für die stoffliche (Stamm-, Pfahl-, Industrieholz) bzw. energetische (Brennholz, Hackschnitzel) Nutzung ausgehalten.

Dabei entfielen im Mittel aller Flächen rund 50 % der Biomasse auf Energieholz, bei den noch gering dimensionierten Jungbeständen bis zu 84 % (Tabelle 7). Der Stamm-

holzanteil von unter 3 % war mit Ausnahme des 56-jährigen Bestandes *Müncheberg* und des 68-jährigen Bestandes *Schwenow 5* vernachlässigbar. Hier wurden u. a. Industrieholz-Lang Sortimente für den GaLa- und Spielplatzbau erlösbringend ausgehalten.

Die folgenden Abbildungen illustrieren den Ernte- und Entwicklungszyklus auf der Versuchsfläche *Drebkau 2*.

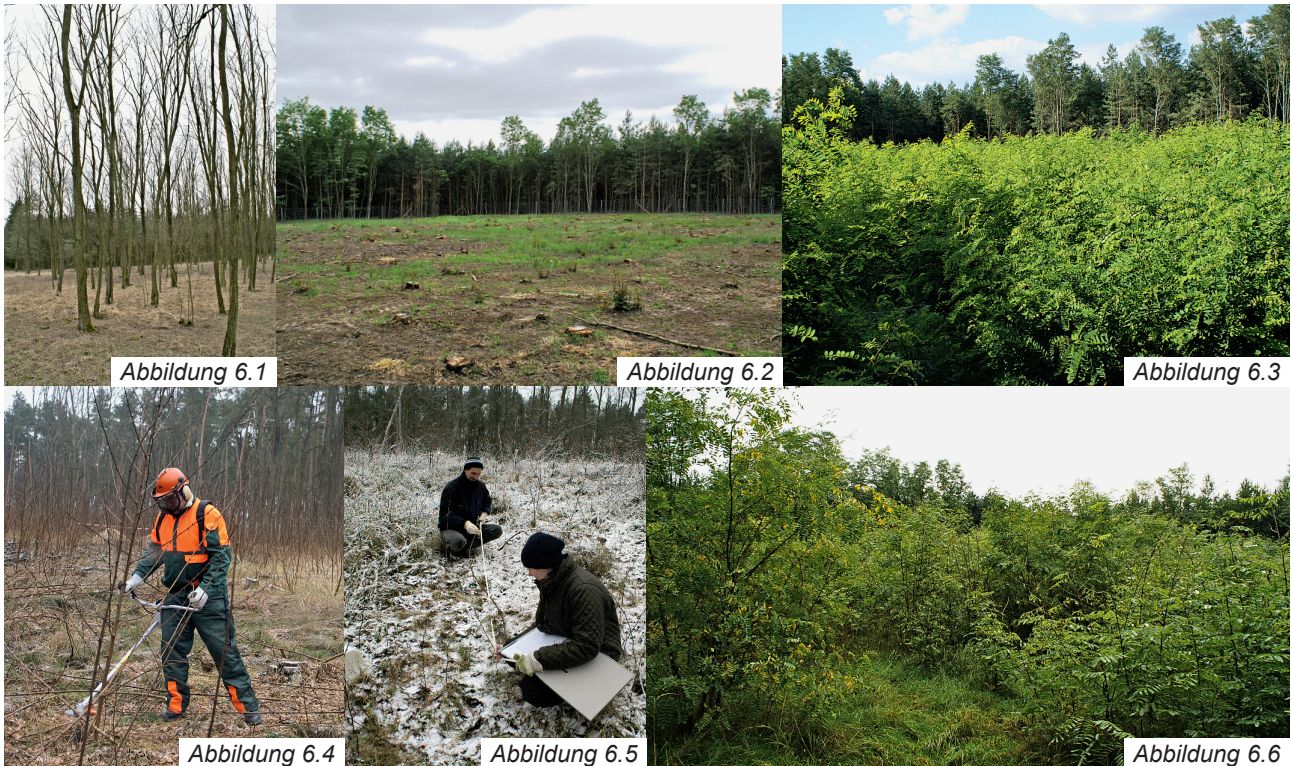


Abbildung 6.1: Fläche Drebkau 2 im März 2009 – Ausgangsbestand

Abbildung 6.2: Fläche Drebkau 2 im April 2009 nach der Beräumung

Abbildung 6.3: Fläche Drebkau 2 im September 2009 mit einjährigem Aufwuchs

Abbildung 6.4: Fläche Drebkau 2 im Januar 2010, Beerntung der einjährigen Parzelle

Abbildung 6.5: Fläche Drebkau 2 im Januar 2010, Biomasseermittlung in Probekreisen

Abbildung 6.6: Fläche Drebkau 2 im September 2010 mit ein- (2. Rotation) und zweijährigem Aufwuchs (links im Bild)

Versuchsfläche	Erntemenge pro Hektar (m <sup>3</sup> )	Stammholz (m <sup>3</sup> )	Industrieholz (m <sup>3</sup> )	Pfähle (m <sup>3</sup> )	Brennholz (m <sup>3</sup> )	Hackschnitzel (m <sup>3</sup> )	(srm <sup>3</sup> )
Schwenow 1	207,8			104,1		103,6	259,1
Schwenow 2	279,2	4,4	132,4	24,6		117,9	294,7
Schwenow 3	144,9		16,9	6,7	69,6	51,7	129,1
Schwenow 4	199,6		77,2	18,9		103,5	258,7
Schwenow 5	660,4	21,5	446,8	38,4		153,7	384,3
Müncheberg	174,1	33,8	48,4	6,4		85,5	213,7
Drebkau 1	135,7			52,2		83,5	208,8
Drebkau 2	206,5		4,8	86,3	30,2	85,3	213,2
Senftenberg	274,1			188,8		85,3	213,3
<b>Durchschnitt pro Hektar</b>		<b>SUMMEN:</b>					
	253,6	59,7	726,5	526,4	99,8	870,0	2.174,9

Tabelle 7: Nutzung der Ausgangsbestände nach Sortimenten

## Biomassepotenzial der ersten Rotation

### Ableitung einer Biomassefunktion

Im Winterhalbjahr 2009/2010 erfolgte die Ernte des ersten einjährigen Aufwuchses motormanuell mit Freischneider in etwa 5 cm Sprosshöhe. Grundlage der Massenermittlung bildeten allometrische Biomassefunktionen des Typs:

$$BM = a \times D_{00}^b$$

Dabei beruht die Zielgröße „Biomasse in g (atro) der einzelnen Rute“ auf nur einer Erklärungsvariablen, hier ihrem Basisdurchmesser m.R. ( $D_{00}$ ), vgl. KETTERINGS et al. (2001), RÖHLE et al. (2008).

Je Fläche wurden 20 Austriebe vermessen, gewogen und laboranalytisch die Trockenmasse (105 C°) bestimmt. Die einzelnen Durchmesser-Biomassebeziehungen unterscheiden sich nicht signifikant (MANTHE 2010). Auch ist die Wuchsform (Morphologie) der Ruten aus Stockausschlag und Wurzelbrut einander vergleichbar. Für die praktische Anwendung lässt sich daher eine allgemeingültige Schätzfunktion mit sehr hohem Bestimmtheitsmaß ( $R^2 = 0,8978$ ) ableiten (Abbildung 7).

Die hektarbezogenen Ertragsermittlung erfolgte mittels Stichprobenverfahren getrennt nach Stockausschlag und Wurzelbrut. Sie basiert auf rund 300 Ruten-Basisdurchmessern je Bestand, welche nach der Ernte in 6 zufällig verteilten variablen Probekreisen gemäß 3-Baum(„Stock“-)Stichprobe aufgenommen wurden. Bereits HARTMANN

(2006) bzw. RÖHLE et al. (2008) zeigen, dass solche Stichprobenverfahren bei vertretbarem Messaufwand die besten Schätzergebnisse liefern.

### Erntemengen in einjährigem Umtrieb

Die durchschnittliche Biomasseproduktion über alle Altersstufen und Standorte beträgt  $4,34 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Die Erträge schwanken um den Faktor 10 zwischen  $0,75 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Schwenow 3, Z2) und  $7,65 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Schwenow 1, K2). Der auffällig geringe Biomasseertrag im Altersbereich 40 Jahre ist auf den besonders ertragsschwachen Standort Schwenow 3 zurückzuführen, der durch die im ersten Umtrieb noch fehlende Fläche Senftenberg deutlich stärker ins Gewicht fällt. Eine klare Alters- oder Standortabhängigkeit ist bisher nicht erkennbar (Abbildung 8).

Bisher konnte keine gesicherte Beziehung zwischen dem jährlichen Biomassezuwachs und dem Alter der Ausgangsbestände, des pH-Pufferbereiches und dem Bodenwasserhaushalt nachgewiesen werden. Jedoch unterstreichen zahlreiche Arbeiten hier die Bedeutung der Bodeneigenschaften, insbesondere des pflanzenverfügbaren Wassers, der Bodendurchlüftung und der Durchwurzelungstiefe in Robinienbeständen (vgl. BONGARTEN et al. 1992).

Das Massenverhältnis Wurzelbrut zu Stockausschlag variiert von 13% bis 57% ( $\bar{\varnothing}$  34%). Aufgrund des relativ hohen Rindenanteils liegt der mittlere Wassergehalt der einjährigen Ruten zum Erntezeitpunkt bei beachtlichen 43,8 M.-%.

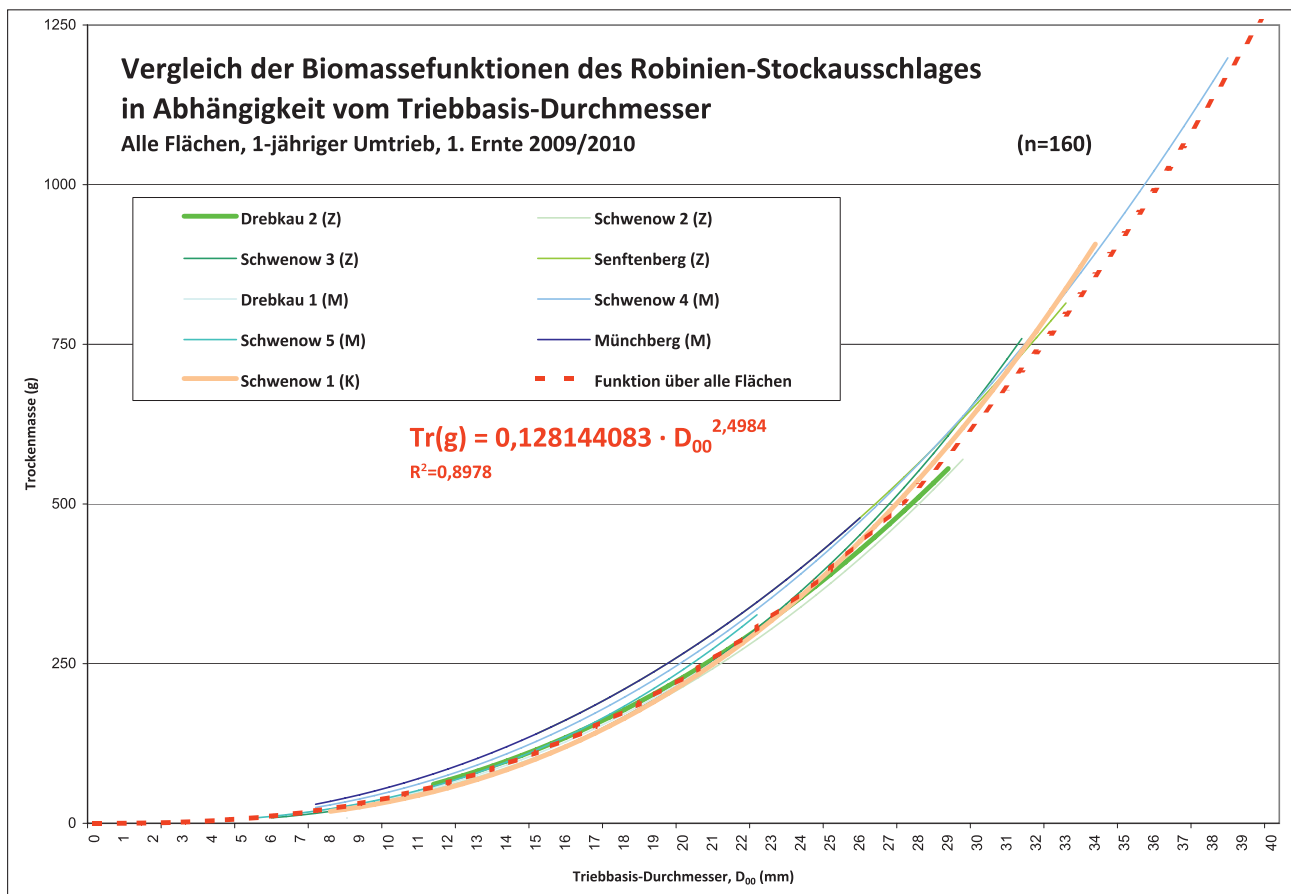


Abbildung 7: Biomassefunktion über alle Modellflächen und Parzellen des einjährigen Umtriebs

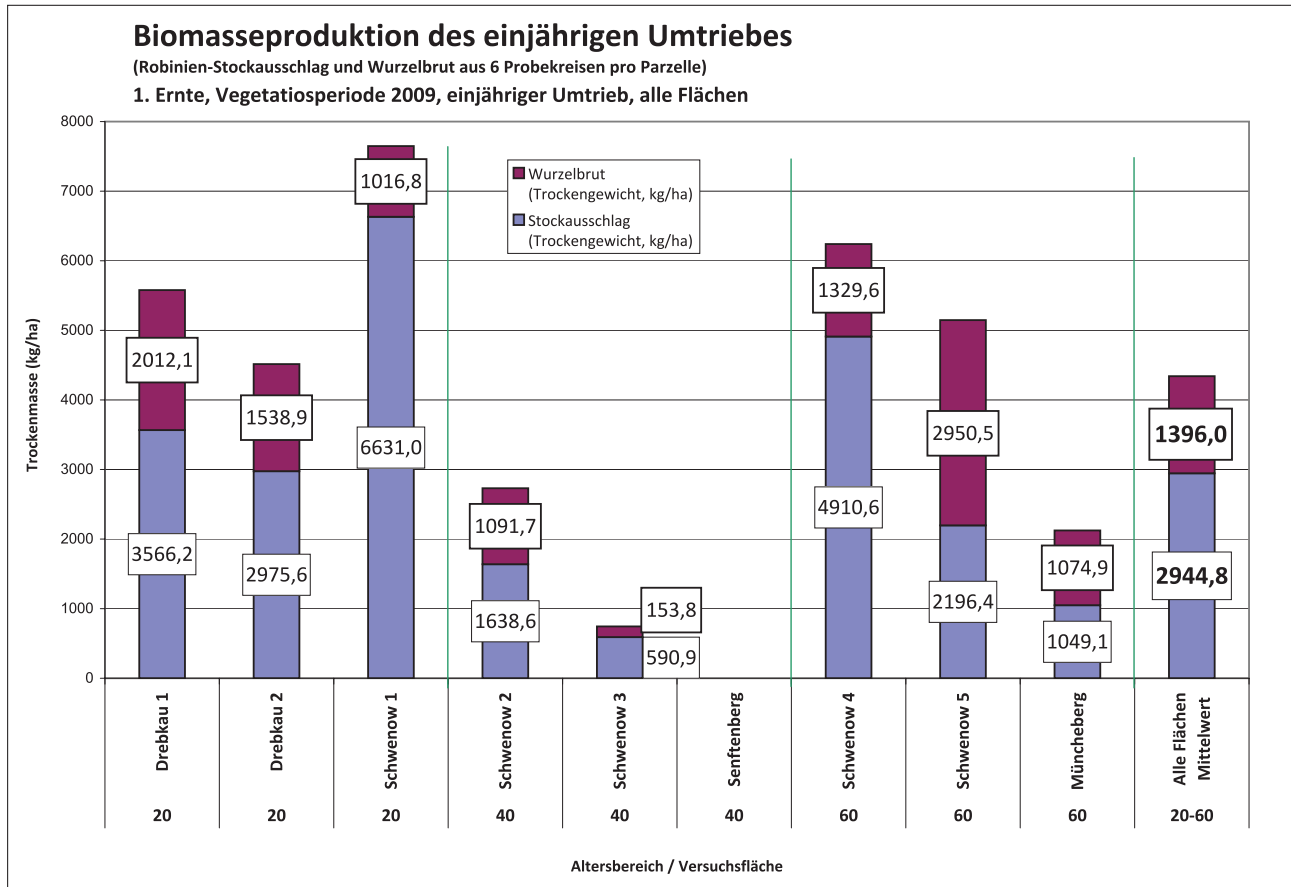


Abbildung 8: Biomasseproduktion in einjähriger Rotation (erstes Jahr der Bewirtschaftung)

## Weitere Untersuchungen

### Holzphysik

In einer zusammenfassenden Publikation der BUNDESFORSTFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT (2001) und nach Untersuchungen von RICHERT et al. (2000) werden die holzphysikalischen Parameter für Robinienstammholz wie folgt angegeben (Tabelle 8).

Im Rahmen der Untersuchungen des Projektes FASTWOOD wurden über alle Flächen 297 Stammholz-Proben der Ausgangsbestände und 72 Proben aus dem einjährigen Aufwuchs durch das Labor der Professur für Forstnutzung der TU Dresden – Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften u. a. auf die Darrdichte untersucht.

Der Mittelwert der Darrdichte für das untersuchte Stammholz liegt bei  $0,7458 \text{ g/m}^3$  ( $s=0,0544$ ) und für die einjährigen Stockausschläge bei  $0,5552 \text{ g/cm}^3$  ( $s=0,0664$ ). Dieser Unterschied erklärt sich nach DÜNISCH et al. (2008) durch die

Eigenschaft	$\sigma^-$	Mittelwert	$\sigma^+$
Gewicht frisch ( $\text{kg/m}^3$ )		930	
Rohdichte (0% darrtrocken) ( $\text{g/cm}^3$ )	0,70	0,75	0,80
Rohdichte (12-15% Holzfeuchte) ( $\text{g/cm}^3$ )		0,78	
Biegefestigkeit ( $\text{N/mm}^2$ )	133	150	167
Druckfestigkeit ( $\text{N/mm}^2$ )	80	86	92
Zugfestigkeit ( $\text{N/mm}^2$ )	130	164	200
Elastizitätsmodul (Biegung) ( $\text{N/mm}^2$ )	14.500	16.200	17.900
Scherfestigkeit ( $\text{N/mm}^2$ )	16	18	20
Härte BRINELL ( $\text{N/mm}^2$ )	31	37	43

Tabelle 8: Holzphysikalische Eigenschaften von Robinienholz

	Heizwert ( $\text{kJ/kg}$ wasserfrei)			
	Stammholz Ausgangsbestände (n=33)	% vom Mittel Kernholz	Stockausschlag (1.Umtrieb) (n=28)	% vom Mittel Splintholz
Mittelwert Kernholz	18.538	100,0		
Mittelwert Splintholz	18.208	98,2	17.493	100,0
Mittelwert Rinde	18.672	100,7	19.090	109,1

Tabelle 9: Heizwerte von Robinien-Stammholz und Ruten aus einjährigem Umtrieb im Vergleich



höhere Dichte des Kernholzes und den im Verhältnis geringeren Rindenanteil bei Stammholz.

Der Vergleichswert für Hxbrid-Pappeln im Kurzumtrieb liegt im Mittel zwischen 0,33 und 0,47 g/cm<sup>3</sup> (SACHSSE 1979, DINUS et al. 1990). Dadurch haben Robinien-Hackschnitzel eine höhere Energiedichte, was z. B. reduzierte Transportkosten zur Folge hat.

Der Heizwert (Tabelle 9) wurde nach DIN 51900 anhand von 33 Proben (Stammholz) und 28 Proben (einjährige Ruten), die repräsentativ nach Altersbereich, Standort und Qualitätsstufe ausgewählt wurden, bestimmt.

Auffällig ist der hohe Heizwert der Rinde gegenüber Splint- und Kernholz und der erwartungsgemäß geringere Heizwert des einjährigen Umtriebes im Vergleich zu Stammholz, was noch statistisch im Hinblick auf die Einflüsse von Standort und Alter des Ausgangsbestandes zu überprüfen ist.

Zur Einordnung seien hier Faustzahlen für Heizwerte anderer Holzarten und Brennstoffe (bezogen auf das Trockengewicht) genannt.

- Buche 14.400 kJ/kg
- Eiche 15.100 kJ/kg
- Birke 15.500 kJ/kg
- Tanne 16.200 kJ/kg
- Steinkohle 29.780 kJ/kg
- Braunkohle 17.000 kJ/kg
- Braunkohlenbriketts 19.259 kJ/kg
- Dieselöl und leichtes Heizöl 42.705 kJ/kg

### Populationsgenetik

Für populationsgenetische Untersuchungen durch das Institut für Forstgenetik am Johann-Heinrich von Thünen-Institut (Dr. Heike Liesebach) wurden pro Versuchsparzelle je 3 Proben von Stämmen der Qualitätsstufen gut-mittelschlecht, also insgesamt 324 Stück, entnommen. Diese werden aktuell mit DNA-Fingerprint-Methoden (nukleare Mikrosatellitenmarker) am vTI-Institut für Forstgenetik untersucht. Erste Ergebnisse der Mitte Januar 2011 angelauteten genetischen Charakterisierung deuten auf teilweise klonale Strukturen auf den Flächen hin.

Die für die Baumart Robinie typische vegetative Ausbreitung über Wurzelaufläufer führt üblicherweise zu mehr oder weniger großen Klonkomplexen aus Bäumen mit identischem Genotyp. Dies wurde sowohl im natürlichen Verbreitungsgebiet als auch in Aufforstungsbeständen (HERTEL & SCHNECK 2003, JUNG et al. 2009) mit genetischen Markern nachgewiesen.

Da der Biomasse-Ertrag von Robinien wesentlich mit einer Familien- und Klonselektion verbessert werden kann (BONGARTEN et al. 1992, DINI-PAPANASTASI 2008), muss auch bei den hier beschriebenen Versuchen davon ausgegangen werden, dass der Ertrag von einer evtl. vorhandenen Klonstruktur auf den Versuchsfeldern und -parzellen beeinflusst wird. Die Kenntnis der genetischen Struktur dieser Flächen ist deshalb eine Voraussetzung für eine sachgerechte Auswertung und Interpretation der gewonnenen ertragskundlichen Versuchsdaten.

### Bedeutung für die forstliche Praxis und Ausblick

Auf Versuchsflächen im Land Brandenburg werden neue waldbauliche Konzepte für eine energetische und stoffliche Verwertung der Robinie erprobt. Ziel ist die Mobilisierung bisher ungenutzter, aber nachhaltig verfügbarer Holzreserven im Sinne des „Nationalen Biomasseaktionsplans für Deutschland“ (BMELV & BMU 2009). Keinesfalls verbindet sich damit ein flächenrelevanter Robinienanbau zu Lasten standortheimischer Laubbaumarten („Grüner Ordner“, MLUR 2004). Es geht vielmehr um betriebswirtschaftlich sinnvolle Behandlungsalternativen für vorhandene, waldbaulich schwierige Ausgangsbestände.

Bereits im einjährigem Aufwuchs zeigt die Robinie auf mäßig frischen, schwach bis mittel nährstoffversorgten Sanden (Z2, M2, K2) des nordostdeutschen Tieflandes einen viel versprechenden Biomassezuwachs. Realisierbar sind Erträge von knapp 8 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, jedoch streuen die Leistungswerte in Abhängigkeit von der Bestockungssituation (Stammzahlhaltung der Ausgangsbestände, Stockauschlagfreudigkeit) und des Standortes erheblich. Der mit Ø 34 M.-% hohe Wurzelbrutanteil kann zu einer weiteren Ertragsverbesserung in Folgerotationen bzw. bei mehrjährigen Umtriebszeiten führen. Gerade in stammzahlarmen, inhomogenen und qualitativ unbefriedigenden Erntebeständen eröffnen sich Perspektiven für ein waldbauliches Handeln jenseits der reinen Energieholzproduktion.

Als problematisch wird neben den gesetzlichen Anforderungen einer ordnungsgemäßen Waldbewirtschaftung (Einstufung als Kurzumtriebsplantage, Mindestumtriebszeiten) insbesondere der Einsatz rationeller Erntetechnologien für kleine Flächen mit gering dimensioniertem, aber stammzahlreichem Aufwuchs angesehen. So dürften die reinen Erntekosten etwa 90% des Bewirtschaftungsaufwandes ausmachen (vgl. BALLY et al. 1997). Zwar entfallen in niederwaldartiger Nutzung Investitionen für Bestandesbegründung und -pflege, im Gegensatz zu Agrarholz ist jedoch eine flächige Befahrung aus Bodenschutzgründen (Zertifizierung) und zur Sicherung des Stockausschlagvermögens nicht möglich. Zudem erfordert der hohe Wassergehalt des feldfrischen Robinienholzes kurze Transportwege oder eine örtliche Vortrocknung von Ruten bzw. Hackschnitzeln.

Für die nächsten Rotationszyklen gilt es verlässliche Zuwachszahlen, die ertragsbestimmenden Erklärungsvariablen und plausible Ertragsfunktionen zu ermitteln. Hierauf basierend lässt sich der optimale Erntezeitpunkt festlegen und eine betriebswirtschaftliche und technologische Verfahrensbetrachtung durchführen. Schließlich soll ein Kriterienkatalog zur Auswahl geeigneter Ausgangsbestände abgeleitet werden.

### Zusammenfassung

Für eine effiziente Verjüngung, Bewirtschaftung und Saatgutgewinnung der Robinie wurden 9 Modellbestände in den Altersbereichen 20, 40, 60 Jahre angelegt, um Konzepte für eine ertragreichere Bewirtschaftung und erfolgversprechende Verjüngung der in Brandenburg auf rund 8.100 ha vorhandenen Robinienbestände zu etablieren.

Auf den Versuchsflächen zeigte sich eine hohe Wüchsigkeit der Stockausschläge und der Wurzelbrut im ersten Jahr. Die durchschnittliche oberirdische Biomasseprodukti-

on (Holzmasse ohne Blätter) über alle Altersbereiche und Standorte liegt bei rund  $4 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Stockausschlag und Wurzelbrut).

Weitere Untersuchungen sollen mit statistischen Methoden die Abhängigkeit von Standort, Ausgangsalter und Bewirtschaftungszyklus auf die Biomasseleistung aufklären.

Der hohe und möglicherweise noch zunehmende Anteil der Wurzelbrut eröffnet Perspektiven für waldbauliches Handeln über die reine Energieholzproduktion hinaus. Problematisch wird zum jetzigen Zeitpunkt der Einsatz geeigneter Erntetechnologie für kleine Flächen und einen gering dimensionierten einjährigem Aufwuchs sowie der hohe Wasseranteil bei der Ernte gesehen. Dieser erfordert für waldfrische Ware kurze Transportwege zum Verbraucher bzw. Lagermöglichkeiten zur Trocknung.

## Danksagung

Dieses Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) unter den Förderkennzeichen 22023707 und 22011407. Die Bearbeiter danken ausdrücklich dem Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB) mit seinen beteiligten Dienststellen für die exzellente Unterstützung bei der Auswahl, Anlage und Bewirtschaftung der Versuchsflächen.

## Literaturverzeichnis

AUTORENKOLLEKTIV (2002):

Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern. Landesforstanstalt Eberswalde.

AG Boden (2005):

Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Hannover. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 1–438.

BALLY, B., SCHNIDER, F., BUSIN, U. (1997):

Energieholzproduktion in Mittel- und Niederwäldern der Schweiz - Vergleich der Wertschöpfung in der Hoch-, Mittel- und Niederwaldbewirtschaftung, Kurzbericht im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Bern: 1–16.

BARRETT, R. P., MEBRAHTU, T., HANOVER, J.W. (1990):

Black Locust: A multipurpose tree species for temperate climates. In: Janick, J., Simon, J.E., (eds.): Advances in new crops, Timber Press, Portland: 278–283.

BONGARTEN B., HUBER D., APSLEY D. (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.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2011):

Neoflora-Handbuch Die wichtigsten invasiven Pflanzenarten. (URL: [http://www.floraweb.de/neoflora/handbuch/robiniapseudoacacia.html#\\_dt2](http://www.floraweb.de/neoflora/handbuch/robiniapseudoacacia.html#_dt2) vom 14.03.2011)

BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT (2001):

Die Robinie und ihr Holz. Informationsblatt (<http://www.bfafh.de/bibl/pdf/robinie.pdf>), 4 Seiten. BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung: 1–30.

BÖHMER, H.-J., HEGER, T., TREPL, L. (2000):

Fallstudie zu gebietsfremden Arten in Deutschland, Umweltbundesamt, Fachgebiet II, 1.3, 1–13.

BONGARTEN, B.C., MERKLE, S.A., HANOVER, J.W. (1992):

Genetically improved black locust for biomass production in short-rotation plantations. In: Klass, D.L. (ed.): Energy from Biomass and Wastes, XV. Institute of Gas Technology, Chicago, IL: 391–409.

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.

DINUS, R.J., DIMMEL, D.R., FEIRER, R.P., JOHNSON, M.A., MALCOM, E.W. (1990):

Modifying woody plants for efficient conversion to liquid and gaseous fuels. Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/Sub/88-SC006/1, Oak Ridge, TN, 1–100.

DSW 2 (Datenspeicher Waldfonds 2) (2009):

Landesbetrieb Forst Brandenburg. Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde.

DÜNISCH, O, RICHTER, H.-G., KOCH, G. (2008):

Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. Wood Sci. Technol. 44, 2, 301–313.

ERTELD, W. (1952):

Wachstum und Ertrag der Robinie im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, Eberswalde.

ERTLE, C., BÖCKER, L., LANDGRAF, D. (2008):

Wuchspotenzial von Stockausschlägen der Robinie. AFZ-DerWald 18/2008: 994–995.

FÜHRER, E. (2005):

Robinienwirtschaft in Ungarn: I. Die Robinie im praktischen Waldbau. Forst und Holz 60: 464–466.

GÖHRE, K. (1952):

Die Robinie und ihr Holz. Deutscher Bauernverlag. Berlin.

HARTMANN, K.-U. (2006):

Biomassefunktionen als Grundlage zur Ertragsermittlung in Kurzumtriebsbeständen. In: DVFFA – Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2006: 167–173.

- HERTEL, H.; SCHNECK, V. (2003):  
Untersuchungen zur genetischen Struktur eines Robinienbestandes (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg. In: Welling M ed. Bedrohung der biologischen Vielfalt durch invasive gebietsfremde Arten – Erfassung, Monitoring und Risikoanalyse. Münster, Landwirtschaftsverlag GmbH.
- JAUERNIG, H. (1997):  
Untersuchungen über die Verklebung von Robinie bei höheren Holzfeuchten. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- JUNG, S-C., MATSUSHITA, N., WU, B-Y, KONDO, N., SHIRAISHI, A., HOGETSU, T. (2009):  
Reproduction of a *Robinia pseudoacacia* population in a coastal *Pinus thunbergii* windbreak along the Kujukurihama Coast, Japan Journal of Forest Research, 14: 101–110.
- KERESZTESI, B. (1983):  
Breeding and cultivation of black locust, *Robinia pseudoacacia*, in Hungary. Forest Ecology and Management 6: 217–244.
- KETTERINGS, Q, M., COE, R., VAN NOORDWIJK, M., AMBAGU, Y., PALM, C.A. (2001):  
Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management 146: 199–209.
- LAMPSON, P. (1996):  
Druckimprägnierte Hölzer im Außenbereich. Bausortiment Holz und Ausbaubedarf (Publikation des Holzzentralblattes). Leinfelden-Echterdingen: 12.
- LANDGRAF, D., ERTLE, C., BÖCKER, L. (2005):  
Wuchspotenzial von Stockausschlägen der Robinie auf Bergbaufolgefleichen. AFZ – Der Wald 14: 748–749.
- LANDGRAF, D., ERTLE, C., BÖCKER, L. (2007):  
Stockausschlagspotenzial von Aspe und Robinie. AFZ – Der Wald 2: 80–83.
- MANTHE, K. (2010):  
Alters- und standortsabhängiges Stockausschlagsvermögen der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) nach einjährigem Umtrieb in Brandenburg. Freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Bachelor of Science (B. Sc.) der Studienfachrichtung Forstwirtschaft und Ökosystemmanagement der Fachhochschule Erfurt.
- MLUR (Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg) (2004):  
Waldbau-Richtlinie 2004 – „Grüner Ordner“ – der Landesforstverwaltung Brandenburg.
- MOLNAR, S., PESZLEN, I., RICHTER, H.G., TOLVAJ, L., VARGA, F. (1998):  
Influence of steaming on selected wood properties of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Proceedings „Environment and Wood Science“, Acta Facultatis Lignensis, University of Sopron, Hungary.
- MUCHIN, A., BILKE, G., BÖGE, R. (2006):  
Energiepotenzial der Wälder in Brandenburg – Das naturale Potenzial. Forschungsbericht, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Landesforstanstalt Eberswalde.
- NAUJOKS, G., EWALD, D. (2001):  
Robinie – Pionierbaum und Wertholz; Erfahrungen bei der In-vitro-Vermehrung geradschaftiger Robinien. BFH-Forschungsreport: 36–38.
- NEUMANN, M. (1999):  
Orientierende Untersuchung zur Anwendung von Holzpflaster im Außenbereich. Diplomarbeit. TU Dresden, Tharandt.
- PETERS, T., BILKE, G., STROHBACH, B. (2007):  
Ertragsleistung sechsjähriger Robinien (*Robinia pseudoacacia*) auf vier ehemaligen Ackerstandorten unterschiedlicher Bodengüte in Brandenburg. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie 41: 26–28.
- RÉDEI, K., VEPERDI, I. (2005):  
Robinienwirtschaft in Ungarn: III. Robinienenergieholzplantagen. Forst und Holz 60: 468–469.
- RICHTER, H.G. (ed.) (2000):  
Technology for high quality products from Black Locust (*Robinia pseudoacacia*). Final Report INCO COPERNICUS Project No. PL 96-4114, EU Contract Nr. ERB IC15-CT960713.
- RÖHLE, H., HARTMANN, K.-U., STEINKE, C., MURACH, D. (2008):  
Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. In: Reeg, T, Bemmann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H., (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen: 41–55.
- SACHSSE, H. (1979):  
Holzeigenschaften wichtiger Balsampappeln und Balsamhybriden. Holz-Zentralblatt 105: 1517–1518.
- SCHÜLER, S., WEISSENBACHER, L., SIEBERER, K. (2006):  
Robinien für Energie- oder Wertholz – die Sorte macht's!, Forstzeitung 117, 8: 8–9.
- ULRICH, B. (1981):  
Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 144, 3: 289–305.