



Abb. 1: Trotz erheblicher Anstrengung zum Waldumbau prägen nach wie vor großflächige Kiefernreinbestände das Landschaftsbild der Bergbaufolgelandschaft.



Abb. 2: Beispiel eines typischen Wurzelschwammbefallsherdes in Kiefernstangenhölzern auf Kippen des Braunkohlebergbaus (Untersuchungsgebiet Schlabendorf Nord, Bestandesalter 24 Jahre) und Hauptfruchtform des Erregers an Grobwurzeln

Forstliche Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften

Wurzelschwamm bedroht Kiefern-Erstaufforstungen

Von Dirk Knoche und Christoph Ertle, Finsterwalde

In der Lausitz nehmen die Kippenaufforstungen etwa 30 000 ha ein. Bis in die jüngste Vergangenheit hinein wurde für die Aufforstung Gemeine Kiefer favorisiert. Seit kurzer Zeit lassen sich jedoch in 20- bis 40-jährigen Erstdurchforstungsbeständen gravierende Absterbeerscheinungen durch den Weißfäulepilz *Heterobasidion annosum* (Wurzelschwamm) beobachten. Angesichts des raschen Befallsfortschrittes gilt es Pflegestrategien zu entwickeln, welche das Risiko der Primärinfektion minimieren.

Kiefer und Rekultivierung

In der Lausitz nehmen die Kippenaufforstungen etwa 30 000 ha ein, dies sind 60 % der Rekultivierungsfläche. Unbestritten leisten die im Aufbau befindlichen Wälder einen zentralen Beitrag zur Revitalisierung des durch den Bergbau stark gestörten Landschaftsraums. Vorrangiges forstliches Ziel ist dabei die Wiederherstellung standortgerechter, möglichst naturnaher und

entwicklungsfähiger Waldökosysteme. Sie sollen die Erfüllung aller Waldfunktionen dauerhaft gewährleisten, gleichzeitig einen den jeweiligen Betriebszielen entsprechenden Gestaltungsspielraum eröffnen.

Aufgrund der überwiegenden Verkipfung sorptionsschwacher Sande wurde bis in die jüngste Vergangenheit hinein die Aufforstung mit Gemeiner Kiefer (*Pinus sylvestris*) favorisiert. Als anspruchslose Baumart ist sie in den potenziellen Waldgesellschaften des Tagebaumlandes vertreten und selbst unter extremen Substratverhältnissen anbausicher. Nach heutiger Einschätzung wird jedoch durch den groß-

flächigen Kiefernreinanbau das pflanzenbauliche Potenzial vieler Kippsubstrate unterbewertet [8]. Bereits auf mäßig bindigen Rohböden lassen sich wüchsige Mischbestände bestehend aus Eiche, Winterlinde und Hainbuche sowie Kiefer begründen. Diese übertreffen nicht selten das Ertragsniveau des Tagebaumlandes.

Als Hauptwirtschaftsbaumart beansprucht die Gemeine Kiefer etwa 50 % der bisherigen Aufforstungsfläche, wobei über 80 % der Bestockung in die I. und II. Altersklasse entfällt (Abb. 1). Die mit >16 000 Sämlingen je Hektar äußerst stammzahlreich begründeten Reinbestände gelten als ausgesprochen wüchsig [3]. Ihre relative Mittelhöhenbonität schwankt zwischen >I.0 und II.0, der DGZ_{100} beträgt etwa 7 bis 9 $m^3/ha \cdot a$ [10]. Infolge des Dichtstandes ist die Wertholzerwartung vergleichsweise hoch. Allerdings sind die meisten Bestände erheblich überbestockt, strukturarm und dringend pflegebedürftig. Für die nächsten Jahre stehen daher umfangreiche Erschließungs- und Pflegemaßnahmen an.

Absterbeerscheinungen in Erstdurchforstungsbeständen

Seit kurzer Zeit lassen sich jedoch in 20- bis 40-jährigen Erstdurchforstungsbeständen

Dr. D. Knoche und C. Ertle sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB, www.fib-ev.de).



Dirk Knoche
d.knoche@fib-ev.de

Diese Studie wurde durch das Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg gefördert. Von der Vattenfall Europe Mining AG wurden Luftbilder bereitgestellt. Mitarbeiter der Ämter für Forstwirtschaft Doberlug-Kirchhain, Lübben und Peitz unterstützten bei der Flächenauswahl.

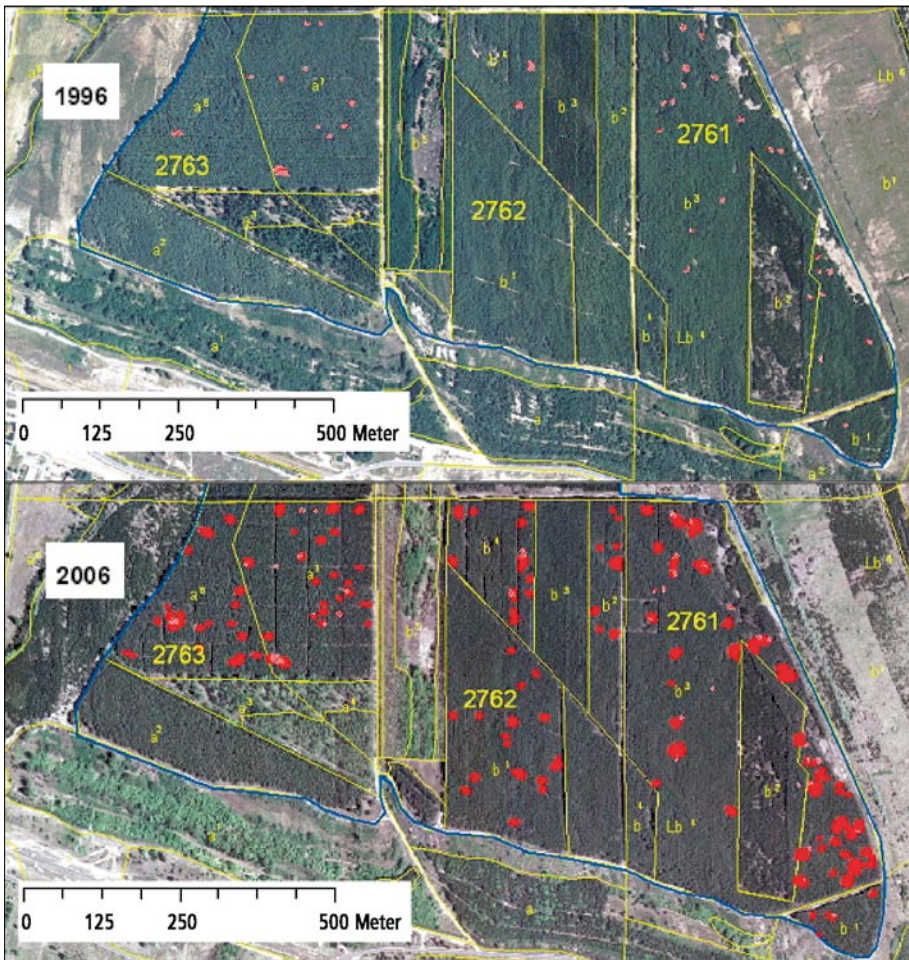


Abb. 3: Entwicklung des Krankheitsgeschehens im Untersuchungsgebiet Bärenbrücker Höhe von 1996 bis 2006 (CIR 1:10 000, Vattenfall Europe Mining AG)

Tab. 1: Charakterisierung der durch *Heterobasidion annosum* (Fr.) BREF. verursachten Absterbelücken in Kiefernerstaufforstungen auf Kippenstandorten

Untersuchungsgebiet/ Kippenkomplex		Schlabendorf Nord	Schwarzheide/ Schipkau	Bärenbrücker Höhe
Holzboden (gesamt)	ha	141	648	181
Holzboden Gemeine Kiefer	ha	127	400	62
Mittleres Bestandesalter	Jahre	24	33	26
Mittlere relative Höhenbonität	-	1,3	1,0	1,2
Mittlerer Stammzahlschlussgrad	-	1,0	1,6	1,5
Anzahl kartierter Sterbelücken	St.	50	48	186
Fläche betroffener Bestände	ha	80	121	55
Mittleres Alter mit Sterbelücken	Jahre	23	32	25
Gesamtfläche Lücken	m ²	11 383	7 445	29 692
Mittlere Lückengröße	m ²	228 (31–755)	152 (25–830)	159 (8–618)
Mittlerer Lückendurchmesser	m	16	12	14

Tab. 2: Befalldynamik im Untersuchungsgebiet Bärenbrücker Höhe, südlicher Kippenbereich, Holzbodenfläche 73 ha, davon 44 ha Gemeine Kiefer, mittleres Bestandesalter 16 Jahre (1996) bzw. 26 Jahre (2006), luftbildgestützte ex-post-Analyse

Aufnahme	Anzahl	Fläche Befallsherde [m ²]			
		Minimum	Maximum	Median	Gesamt
1996	36	17	288	65	2 350
2006	119	16	652	165	19 692
1996 bis 2006	+ 231 %	- 6 %	+ 126 %	+ 154 %	+ 738 %

gravierende Absterbeerscheinungen beobachten. Etwa drei bis fünf Jahre nach den Eingriffen bilden sich annähernd konzentrische, rasch größer werdende Sterbelücken aus [6]. Als Schadensursache ist der Befall durch den Weißfäulepilz *Heterobasidion annosum* (Fr.) BREF. (Wurzelschwamm) nachweisbar [5]. In der Regel erfolgt die Primärfektion über frische Baumstubben zwei bis drei Wochen nach den Eingriffen, daraufhin geht das Pilzmycel durch Wurzelkontakte auf Nachbarbäume über (Abb. 2). Zwar scheint die praxisübliche Aufkalkung vieler Kippenstandorte die Befallsdisposition zu erhöhen [2], das Krankheitsgeschehen wird jedoch offensichtlich durch eine komplexe Faktorenkombination bestimmt. Dementsprechend kann der Erreger in einem breiten Standortspektrum Absterbeerscheinungen auslösen.

Nach einer ersten Schadensinventur weisen bereits 30 bis 90 % der Bestände eindeutige Befallssymptome auf. Dabei nehmen die Befallsherde bis zu 4,8 % der jeweiligen Kiefernanteilsfläche ein, ihre Flächengröße schwankt zwischen 8 und 830 m² (Tab. 1).

Alarmierende Schadensentwicklung zwingt zu Gegenmaßnahmen

Beispielhaft lässt sich in Tab. 2 bzw. Abb. 3 der Schadensverlauf im südlichen Kippenbereich der Bärenbrücker Höhe verfolgen. Erstmals treten Befallssymptome im Bestandesalter von 15 bis 19 Jahren auf (1996). Dies entspricht der Infektionsbiologie des Erregers. Danach ist für die erfolgreiche Erstinfektion ein Mindeststubben-durchmesser von etwa 10 cm erforderlich (u.a. [12], [11]).

Im 10-jährigen Bezugszeitraum kommt es zu einer rasanten, in ihrer Intensität völlig unerwarteten Schadensentwicklung. So verdreifacht sich die Anzahl der Befallsherde (+231 %), die gesamte Befallsfläche wächst bis 2006 um das Achtfache. Von Interesse ist der Kiefernbestand Abt. 2763 a². Diese Fläche ist bei vergleichbaren Bestockungs- und Substratverhältnissen symptomfrei, bisher erfolgte im Gegensatz zu den übrigen Beständen keine Stammentnahme.

Der alarmierende Schadensfortschritt ist typisch für weite Bereiche der Bergbaufolgelandschaft und verunsichert die forstliche Praxis. Einerseits besteht auf laufender Pflegebedarf, gleichzeitig lösen aber gerade die Durchforstungseingriffe den Wurzelschwambefall aus. Um auf diese brisante Situation angemessen zu reagieren, bedarf es dringend einer stand-

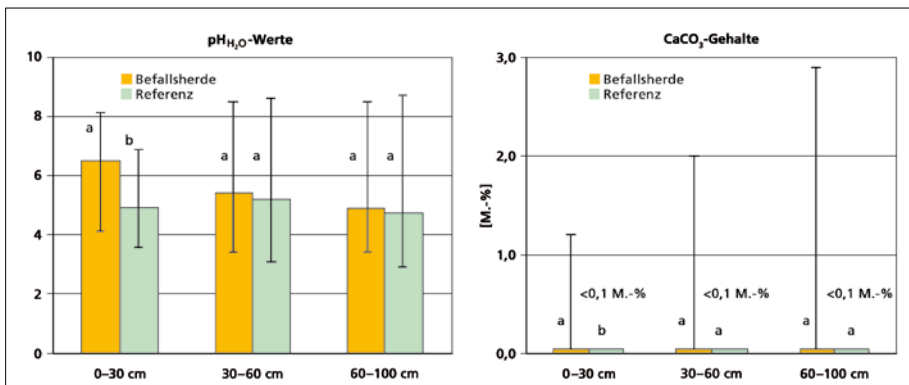


Abb. 4: $pH_{(H_2O)}$ -Werte und $CaCO_3$ -Gehalte der Befallsherde und Referenzprofile in den Tiefenstufen 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 100 cm (Median, Minimum, Maximum, $n = 30$ Befallsherde bzw. $n = 15$ Referenzprofile)

ortbezogenen Einschätzung des Befallsrisikos und Entwicklung entsprechender Waldbau- bzw. Forstschutzkonzepte.

Hohe standortbedingte Befallsdisposition der Bestände

Der Wurzelschwammbefall wird von Kiefernbeständen durch $pH_{(H_2O)}$ -Werte $> 6,0$, hohe Ca-Verfügbarkeit des Oberbodens, geringe Gehalte organischer Substanz und eine sandige Textur begünstigt (siehe dazu u.a. [4, 12, 15,]). Als besonders gefährdet gelten Kalkböden, meliorierte Flächen und zuvor ackerbaulich genutzte Standorte (so genannte „Ackersterbe“). Offensichtlich ist unter diesen Standortbedingungen die Konkurrenzstärke pilzlicher Gegenspieler wie des Riesenrindenpilzes (*Phlebiopsis gigante* [FR.] JÜLICH) gering.

Auf Neulandböden mag zudem das Fehlen bestimmter Mykorrhizapilze das Befallsrisiko erhöhen.

Nach Abb. 4 bestätigt sich für Kippenwälder ein signifikanter Zusammenhang zwischen Bodenreaktion und Wurzelschwammrisiko. So beträgt der mittlere $pH_{(H_2O)}$ -Wert des Oberbodens (0 bis 30 cm) aller Befalls-herde 6,5, hingegen in den Vergleichspro-

filen der nicht betroffenen Bestände bzw. Bestandteile 4,9. Dagegen weisen Befalls-herde und Referenzflächen im Unterboden mit $pH_{(H_2O)}$ -Werten zwischen 5,2 bis 5,4 (30 bis 60 cm) bzw. 4,7 bis 4,9 (60 bis 100 cm) einander vergleichbare Reaktionsverhältnisse auf.

Die erhöhten pH-Werte im Oberboden der Absterbelücken lassen auf die Verwendung hochreaktiver Kalke, wie Branntkalk CaO bzw. Löschkalk $Ca(OH)_2$, bei der praxisüblichen Grundmelioration schwefelsaurer Kippsubstrate schließen. Dementsprechend bleiben die Carbonatgehalte gering. Dennoch besteht zumindest im Oberboden eine statistisch gesicherte Beziehung zwischen Infektionsrisiko und $CaCO_3$ -Gehalt (Abb. 4). Hinzu kommt, dass in keinem der Referenzprofile Carbonat feststellbar ist ($< 0,1$ M.-%), dagegen weisen die Befallsnester Maximalwerte von bis zu 3 M.-% (Masseprozent) auf.

Bereits TOWERS u.a. [14] bzw. ALEXANDER u.a. [1] weisen darauf hin, dass neben hohen pH-Werten eine angespannte Wasserversorgung befallsverschärfend wirken kann. Dies gilt offensichtlich auch für die kiefernbestockten Kippsubstrate. Mit einem durchschnittlichen Sandanteil

von > 90 M.-% verfügen sie generell über eine sehr geringe pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität. Wie Xylemflussmessungen belegen, kommt es in niederschlagsarmen Sommermonaten regelmäßig zu Trockenstress [13].

Wider Erwarten weisen die Befalls-herde jedoch gegenüber den nicht betroffenen Bestandteilen eine signifikant höhere Wasserspeicherkapazität auf. So beträgt die durchschnittliche nutzbare Feldkapazität aller Absterbelücken, bezogen auf 100 cm Profiltiefe, knapp 80 mm, hingegen in den nicht betroffenen Beständen bzw. Bestandteilen lediglich 45 mm (Abb. 5). Möglicherweise findet der Erreger auf den extrem trockenen Kiefernzwangsstandorten ungünstigere Infektions- bzw. Lebensbedingungen vor. Andererseits verzögert sich dort die Bestandesentwicklung, sodass bei vergleichbarem Bestandesalter die Erstinfektion hinausgezögert wird.

Vom Wurzelschwamm betroffen sind daher zunächst überdurchschnittlich wüchsige Bestände mit höheren Stammbasisdurchmessern.

Abschließend sei darauf verwiesen, dass weder die allgemeine Standorttrophie (Ca-, Mg-, K-, P-Ausstattung bzw. Pflanzenverfügbarkeit) noch die geologische Einordnung der Kippsubstrate (Quartär, Tertiär) das Befallsrisiko der aufstockenden Kiefernbestände gegenüber Wurzelschwamm erklären [9]. Daher ist eine substrattypenbezogene Risikoabschätzung des Wurzelschwammbefalls von Kippenböden, beispielsweise durch den Abgleich vorhandener Kippböden oder Standortkarten, wenig Erfolg versprechend. Letztlich kann aber der forstliche Praktiker vor Ort eine erste Risikoeinschätzung vornehmen. Hierfür genügen pH-Wert-Messungen des Oberbodens (0 bis 30 cm) mittels einfacher pH-Indikatorstäbchen. Darüber hinaus ist die Bestandeswüchsigkeit von Interesse, gelten doch besser wasserversorgte und daher relativ frohwüchsige Bestände als besonders gefährdet.

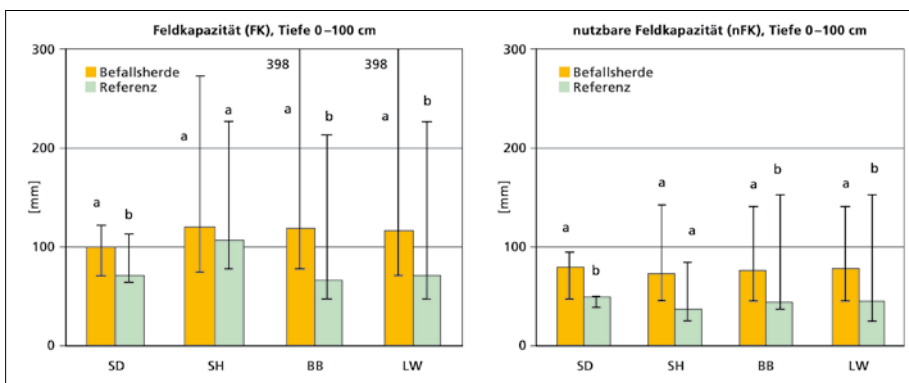


Abb. 5: Feldkapazität (0 bis 100 cm) und nutzbare Feldkapazität (0 bis 100 cm) für die Befalls-herde und Referenzprofile (Median, Minimum, Maximum, $n = 30$ Befalls-herde bzw. $n = 15$ Referenz- profile); SD – Schlabendorf Nord, SH – Schwarzheide/Schipkau, BB – Bärenbrücker Höhe, LW – Landeswald (alle Flächen)

Empfehlungen für die weitere Bestandesbehandlung

Kiefernrestaufforstungen auf Kippen des Braunkohlebergbaus weisen v.a. aufgrund der hohen pH-Werte des Oberbodens eine erhebliche Befallsdisposition gegenüber Wurzelschwamm auf. Angesichts des raschen Befallsfortschrittes gilt es Pflegestrategien zu entwickeln, welche das Risiko der Primärinfektion minimieren, weil nach Ausbildung von Befalls-herden der waldbauliche Gestaltungsspielraum erheblich abnimmt. In Abhängigkeit der Wurzelschwammgefährdung werden un-

ter Berücksichtigung praxisüblicher Pflegekonzepte folgende Durchforstungsstrategien vorgeschlagen:

Behandlungsvariante 1

Symptomfreie bzw. wenig befallsdisponierte Kiefernbestände (mittlerer pH-Wert des Oberbodens < 5,5)

Für diese Bestände kann bei entsprechender Qualität, Vitalität und Wüchsigkeit das Produktionsziel Wertholz aufrecht erhalten werden. Zum Schutz der Z-Bäume sind jedoch ergänzende waldbau-technische Abwehrmaßnahmen sinnvoll. Als viel versprechend gilt die Stubbenbehandlung mit hochwirksamen Präparaten des antagonistischen Riesenrindenpilzes (*Phlebiopsis gigantea* (Fr.) JÜLICH, beispielsweise dem Pflanzenschutzmittel *Pg-Poszwald* [7]). Darüber hinaus sollten Durchforstungsmaßnahmen nur bei Lufttemperaturen unterhalb des Gefrierpunktes erfolgen. Währenddessen sind in der Atmosphäre kaum infektiöse Basidiosporen des Wurzelschwamms nachweisbar, die Primärfektion durch Besiedlung frischer Schnittflächen unterbleibt.

Behandlungsvariante 2

Bestände mit Absterbeerscheinungen oder hoher Befallsdisposition (mittlerer pH-Wert des Oberbodens 5,5 bis 7,0)

Bei erhöhter Wurzelschwammgefährdung empfiehlt sich eine flächig differenzierte

Pflegestrategie. Erstrebenswert ist zwar eine Z-baumorientierte Auslesedurchforstung, jedoch sollte bei der Z-Baumauswahl ein Sicherheitsabstand von mindestens 20 m zu Befallsherden eingehalten werden.

Falls die prognostizierten Kronenflächen der Z-Bäume im Zielstärkenalter die Produktionsfläche nicht ausfüllen, sind Eingriffe in den Zwischenfeldern möglich. Diese dienen der Vorratspflege und erfolgen nur bei kostendeckenden Holzerteuerlösen. Unabhängig davon ist eine Stubbenbehandlung mit biologischen Präparaten zwingend, weil sich hierdurch neue Absterbelücken verhindern lassen.

Behandlungsvariante 3

Hochgradig gefährdete Bestände mit flächigen Auflösungserscheinungen (mittlerer pH-Wert des Oberbodens > 7,0)

In stark befallsdisponierten Beständen steht die Walderhaltung im Vordergrund. Auf weitere Pflegemaßnahmen wird verzichtet, zumal die Bestockung nicht unerhebliche Sekundärschäden durch rindenbrütende Borkenkäfer oder Windwurf aufweist.

Sofern es die Substratverhältnisse erlauben, sollten ausgehend von Befalls-herden vorgezogene Voranbaumaßnahmen durchgeführt werden. Als wurzelschwamm-tolerante Laubgehölze bieten sich mit zunehmender Feuchte- und Nährkraftstufe an: Gemeine Birke, Stiel-Eiche,

Trauben-Eiche, Winter-Linde, Hainbuche und Buche [8]. In kleineren Absterbelücken von < 0,05 ha kann, sofern diese nicht vergrasen, auf Voranbaumaßnahmen verzichtet werden; sie bieten Ansatzpunkte für eine natürliche Gehölzansamung.

Literaturhinweise:

[1] ALEXANDER, S. A. u.a. (1975): Edaphic factors associated with the incidence and severity for disease caused by *Fomes annosus* in loblolly pine plantations in Virginia. *Phytopathology*, 65: 585-591. [2] EMMERICH, W.-D.; HEYDECK, P.; HEINSDORF, D. (2001): Absterbeerscheinungen in Kiefernstangehölzern auf Kippsubstraten. *AFZ-DerWald*, 1296-1299. [3] ERTLE, C.; WENK, G.; BÖCKER, L.; PREUBNER, K. (2006): Ertrags- und Wachstumsprognosen von Kiefernbeständen auf Kippen des Lausitzer Braunkohlenreviers. *AFZ-DerWald*, 1057-1059. [4] GREIG, B. J. W. (1995): Butt-rot of Scots pine in Thetford Forest caused by *Heterobasidion annosum*: a local phenomenon. *Eur. J. For. Path.*, 25: 95-99. [5] HEINSDORF, D.; HEYDECK, P. (1998): Schäden in Kiefernstangehölzern auf Kippsubstraten durch den Pilz *Heterobasidion annosum*. *AFZ-Der Wald*, 695-699. [6] HEYDECK, P. (2000): Bedeutung des Wurzelschwamms im nordostdeutschen Tiefland. *AFZ-DerWald*, 742-744. [7] HEYDECK, P. (2005): Prüfung von Maßnahmen zur Reduzierung des Befalls von Waldbäumen durch parasitische Wurzelpilze. Landesforstanstalt Eberswalde, Abschlussber., unveröff. [8] KNOCH, D. (2001): Forstliche Rekultivierung. In: Lausitzer u. Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (Hrsg.). *Wissensch. Begleitung der ostdeutschen Braunkohlesanierung*. Eigenverlag LMBV: 105-131. [9] KNOCH, D.; ERTLE, C. (2007): Ursachen und Verlauf des Wurzelschwammbefalls von Kiefernbeständen auf Kippenstandorten – Entwicklung eines Bewertungsschemas zur Einschätzung der Prädisposition von Kippenstandorten und von Behandlungsempfehlungen für die betroffenen Kiefernbestände. *FIB Finsterwalde*, Abschlussber., unveröff., 1-92. [10] LEMBCKE, G.; KNAPP, E.; DITTMAR, O. (1976): *DDR-Kiefern-Ertragstafel 1975*, Eberswalde. [11] MORRISON, D. J.; JOHNSON, A. L. S. (1999): Incidence of *Heterobasidion annosum* in precommercial thinning stumps in coastal British Columbia. *Eur. J. For. Path.*, 29: 1-16. [12] RISHBETH, J. (1951): Observations on the biology of *Fomes annosus*, with particular reference to East Anglian pine plantations. (II) Spore production, stump infection, and saprophytic activity in stumps. *Annals of Botany* NS, 15, 57: 1-21. [13] SCHERZER, J. (2001): Der Wasserhaushalt von Kiefernforsten auf Kippböden der Niederlausitz. *Cottbuser Schriften*, 16: 1-136. [14] TOWERS, B.; STAMBAUGH, W. J. (1968): The influence of induced soil moisture stress upon *Fomes annosus* root rot of loblolly pine. *Phytopathology*, 58: 269-272. [15] WALLIS, G. W., (1960): Survey of *Fomes annosus* in East Anglian pine plantations. *Forestry*, 33: 203-214.