

## Forstliche Rekultivierung

# Klima- und standortangepasste Waldentwicklungstypen

Dirk Knoche, Christoph Ertle

*Im Lausitzer Braunkohlenrevier nehmen Kippenwälder rund zwei Drittel der Rekultivierungsfläche ein. Als anspruchslose Leitbaumarten dominieren Gemeine Kiefer, Trauben- und Stieleiche. Zwar erstaunlich wuchsfreudig, so beeinträchtigen doch Klimaänderungen ihre Anbau-eignung.*



Abb. 1: Typische Aufforstungsflächen im Lausitzer Braunkohlenrevier, hier auf kies- und kohle-führenden Kippeinsanden (ehemaliger Tagebau Klettwitz)

Foto: Dirk Knoche

### Lausitzer Kippenwälder im „Klimawandel“

Die Niederlausitz zählt mit ihren trockenheißen Sommern zu den „klimaempfindlichsten“ Regionen Mitteleuropas [9, 13]. Geringe Niederschläge limitieren das Waldwachstum; Trockenjahre, wie

1976, 2003 oder 2006, verzeichnen unter 200 mm in der Vegetationszeit. Ohnedies verschärfen regelmäßige Hitze-Episoden die angespannte pflanzenbauliche Situation. Selbst in regenreichen, nur vermeintlich kühlen Sommern sind Spitzentemperaturen nahe 40 °C im Schatten möglich.

Gerade exponierte Kippenaufforstungen zeichnen gegenüber extremen Witterungsereignissen besonders anfällig (Abb. 1). Dies betrifft weniger den Anwuchserfolg der Kulturen (Abb. 2) als zunehmend die weitere Bestandesentwicklung. So zeigen bis dahin vitale Eichenbaumhölzer in und nach Trockenjahren auffällige Zuwachseinbußen [14]. Selbst die anspruchslose Gemeine Kiefer erduldet immer wieder Wasserstress [11].

Obwohl relativ trockenheitstolerant, nimmt ihre Befallsdisposition gegenüber „wärmeliebenden“ Schwächeparasiten und Schadinsekten spürbar zu, letztlich ein schwer kalkulierbares Risiko (Abb. 3).

Bisher orientiert sich die forstliche Rekultivierung am Wachstumsverlauf älterer Kippenwälder, ist also gewissermaßen retrospektiv [4, 5]. Substrateigenschaften definieren die Baumartenwahl, zumal das Landschaftsklima recht einheitlich ist. Im „Klimawandel“ reicht dieser betont bodenkundliche und durch Anbauversuche gestützte Ansatz allein kaum aus [6, 7]. Vielmehr bedarf es begründeter Annahmen zur Klimadynamik und Anpassung der Gehölze [1].

Erfolg verspricht die Ableitung von Klima-Zuwachs-Beziehungen, welche jahringanalytische Methoden mit Klima- und Wasserhaushaltsszenarien verknüpfen. Hierbei spiegelt der Radialzuwachs die Gehölzvitalität und reagiert besonders empfindlich auf Witterungssignale [10, 12]. Dieses anwendungsbezogene Forschungsvorhaben wird durch das Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg finanziert und den Landesbetrieb Forst Brandenburg unterstützt.

### Szenarien und Unwägbarkeiten

In 10 Modellszenarien lässt sich die wahrscheinliche Klimaentwicklung bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071 bis 2100) abbilden [6]. Unvermeidbare Prognoseunsicherheiten werden im vergleichsweise „milden“ Szenario COSMO-CLM\_B1\_R2 und durch die „pessimistische“ Variante WETTREG2010\_A1B\_R6 abgedeckt.<sup>\*)</sup> Tab. 1

<sup>\*)</sup> WETTREG ist ein in Deutschland entwickeltes statistisches Verfahren zur Errechnung von Klimavariablen. Im Gegensatz zu dynamischen regionalen Klimamodellen wie etwa CCLM, die versuchen über das Lösen physikalisch-chemischer Gleichungssysteme auf lokale Klimavariablen zu schließen, werden bei WETTREG statistische Zusammenhänge zwischen globalen und lokalen Klimavariablen hergestellt.

Dr. D. Knoche ist Stellvertretender Direktor/Leiter der Abteilung Agrar- und Forstökosysteme, Rekultivierung und Sanierung am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB).

Ass. d. Fd. C. Ertle ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB).

Dirk Knoche  
d.knoche@fib-ev.de



Abb. 2: Rekultivierungsziel „Wald“ zunächst erreicht: Vollbestockte Traubeneichen-Dickung (10-jährig) mit vereinzelt Kiefern- und Birkenanflug

Foto: Dirk Knoche

Abb. 3: Absterbeerscheinungen in jungen Kiefernstangenwäldern, ausgelöst durch den Kiefern-Wurzelschwamm, jedoch begünstigt durch einen warm-trockenen Witterungsverlauf

Foto: Christoph Ertle

verdeutlicht den möglichen Klimaverlauf für eine repräsentative Bezugsordinate (R 5718817, H 5392496).

Im Vergleich zur „Klimanormalperiode“ (1971 bis 2000) erhöht sich die Jahresmitteltemperatur bis Ende des Jahrhunderts zwischen 2,4 °C und 3,5 °C. Während der Vegetationszeit sind Durchschnittstemperaturen um 17 °C realistisch, gegenüber heutigen 14,5 °C. Dabei nimmt die Häufigkeit warmer Anomalien zu, gleiches gilt für thermische Extremereignisse.

Hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung bestehen größere und pflanzenbaulich letztlich ausschlaggebende Unterschiede. So signalisiert COSMO-CLM\_B1\_R2 weitgehend konstante Niederschlagsverhältnisse, sowohl in Summe als auch Verteilung. Dagegen verringert sich nach WETTREG2010\_A1B\_R6 die bereits jetzt limitierende Regenmenge im Sommerhalbjahr um 30 %, was die Bedeutung des Bodenwasserspeichers für das Waldwachstum unterstreicht.

So kann es in den betrachteten Eichen- und Kiefernbaumwäldern schon Anfang Juni zur weitgehenden Entwässerung des Hauptwurzelraumes kommen. Auf „speicherdürren bis -trockenen“ Kippsanden ( $nWSK_{100\text{cm}} < 113\text{ mm}$ ) entleert der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher nach WETTREG2010\_A1B\_R6 unter 20 % seiner Kapazität schon in „Normaljahren“. Während der Vegetationsperiode findet keine Durchfeuchtung und Tiefensickerung statt [7]. Anhaltende Vitalitäts- und Zuwachsverluste sind wahrscheinlich, jenseits der noch schwierig abzuschätzenden Extremereignisse [2]. Darüber hinaus akzentuiert ein Wassermangel die Hitzeempfindlichkeit von Gehölzen, wird doch ihre Thermoregulation bei sehr geringer Transpirationsrate beeinträchtigt.

### Klima-Radialzuwachs-Beziehungen

Zunächst werden für typische Kiefern- und Eichenbestände des Lausitzer Braunkohlenreviers

- (1.) standardisierte Radialzuwachschronologien ermittelt, ausgehend für jeweils 10 (vor)herrschende Bäume je Bestand (Kraft'sche Klasse 1 und 2). Solche Indexreihen mit Hochpassfilter können Alters- und Bewirtschaftungseinflüsse ausblenden. Dies ermöglicht eine Auflösung kurzfristiger, in erster Linie witterungsbedingter Faktoren. Anhand mehrfaktorielter Korrelationsanalysen lassen sich dann
- (2.) stochastische Beziehungen zwischen Erklärungsvariablen und Jahrringwachstum ableiten. Schließlich wird
- (3.) der Zuwachsindex mit den so gefilterten Prädiktoren (Hauptregressoren) klimaszenarisch bis in die „ferne Zukunft“

(2071 bis 2100) fortgeschrieben. Zur Plausibilitätsprüfung der mathematischen Algorithmen dienen die gemessenen Jahrringreihen.

Beispielhaft skizziert Abb. 4 den Radialzuwachsverlauf zweier Kiefernbestände geringer und hoher nutzbarer Wasserspeicherkapazität ( $nWSK_{100\text{cm}}$ ). Dabei reagiert die boreale Baumart in allen Klimaszenarien mit gravierenden Zuwachseinbußen. Im Vergleich zur „Klimanormalperiode“ (1971 bis 2000) sinkt ihr mittlerer jährlicher Radialzuwachsindex um 0,38 bis 1,36 Punkte, je nach Annahme. Physiologisch plausibel, beeinflussen vor allem thermische Extremsituationen den Wuchsverlauf [3]. Immer wieder kommt es zu regelrechten Zuwachseinbrüchen. Bereits heute führen Lufttemperaturen von knapp 40 °C zur Einstellung des Jahrringwachstums und verursachen mehrjährige Wuchsdepressionen. Angesichts der ver-

**Tab. 1: Freilandniederschlag und Lufttemperatur der „nahen“ (2021 bis 2050) und „fernen“ Zukunft (2071 bis 2100) gegenüber den abstandsgewichteten Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der „Klimanormalperiode“ (1971 bis 2000); langjähriges Mittel und Veränderung für die Bezugsordinate R 5718817, H 5392496 (Gauß-Krüger)**

Projektion	Freilandniederschlag [mm]			Lufttemperatur [°C]		
	Jahr	WHJ	SHJ	Jahr	WHJ	SHJ
Messwert (DWD) 1971 bis 2000	627	274	354	8,9	3,3	14,5
COSMO-CLM_B1_R2 2021 bis 2050	640 (+13 mm)	280 (+6 mm)	360 (+6 mm)	10,2 (+1,3°)	4,8 (+1,5°)	15,6 (+1,1°)
COSMO-CLM_B1_R2 2071 bis 2100	666 (+39 mm)	317 (+43 mm)	350 (-4 mm)	11,3 (+2,4°)	5,9 (+2,6°)	16,7 (+2,2°)
WETTREG2010_A1B_R6 2021 bis 2050	593 (-34 mm)	279 (+5 mm)	314 (-40 mm)	10,3 (+1,4°)	4,9 (+1,6°)	15,6 (+1,1°)
WETTREG2010_A1B_R6 2071 bis 2100	533 (-94)	286 (+12 mm)	248 (-106 mm)	12,4 (+3,5°)	7,1 (+3,8°)	17,5 (+3°)

Niederschlags- und Temperaturwerte im langjährigen Mittel und Veränderung zu den abstandsgewichteten DWD-Messwerten der „Klimanormalperiode“ (1971 bis 2000), Winterhalbjahr (WHJ: 1. 10. bis 31. 3.), Sommerhalbjahr (SHJ: 1. 4. bis 30. 9.) COSMO-CLM\_B1\_R2 mit monatlich linearer Bias-Korrektur (CMBC) nach [15]



gleichsweise hohen Trockenheitstoleranz von Kiefern hat die pflanzenverfügbare Wasserspeicherung kaum Effekte.

Dagegen hängt die Zuwachsentwicklung der feuchtebedürftigeren Traubeneiche am Bodenwasserhaushalt (Abb. 5, [14]). Allein die pflanzenverfügbare Wasserspeicherung des Oberbodens (0 bis 30 cm Profiltiefe) im Juni erklärt etwa 50 % des jährlichen Durchmesserwachstums [3]. So sind im Beispiel des „speicherdürren“ Kippreinsandes TEi 10 (nWSK<sub>100cm</sub> 61 mm) bei rückläufiger Niederschlagsentwicklung sehr deutliche Zuwachsverluste nachweisbar (-1,50 Punkte). Umgekehrt kann die „wärmeliebende“ Baumart bei guter Wasserversorgung profitieren. Nach COSMO-CLM\_B1\_R2 steigt der mittlere Radialzuwachsindex für den „haftfrischen“ Kippkohlelehmsand TEi 2 (nWSK<sub>100cm</sub> 234 mm) sogar um 1,04 Punkte an.

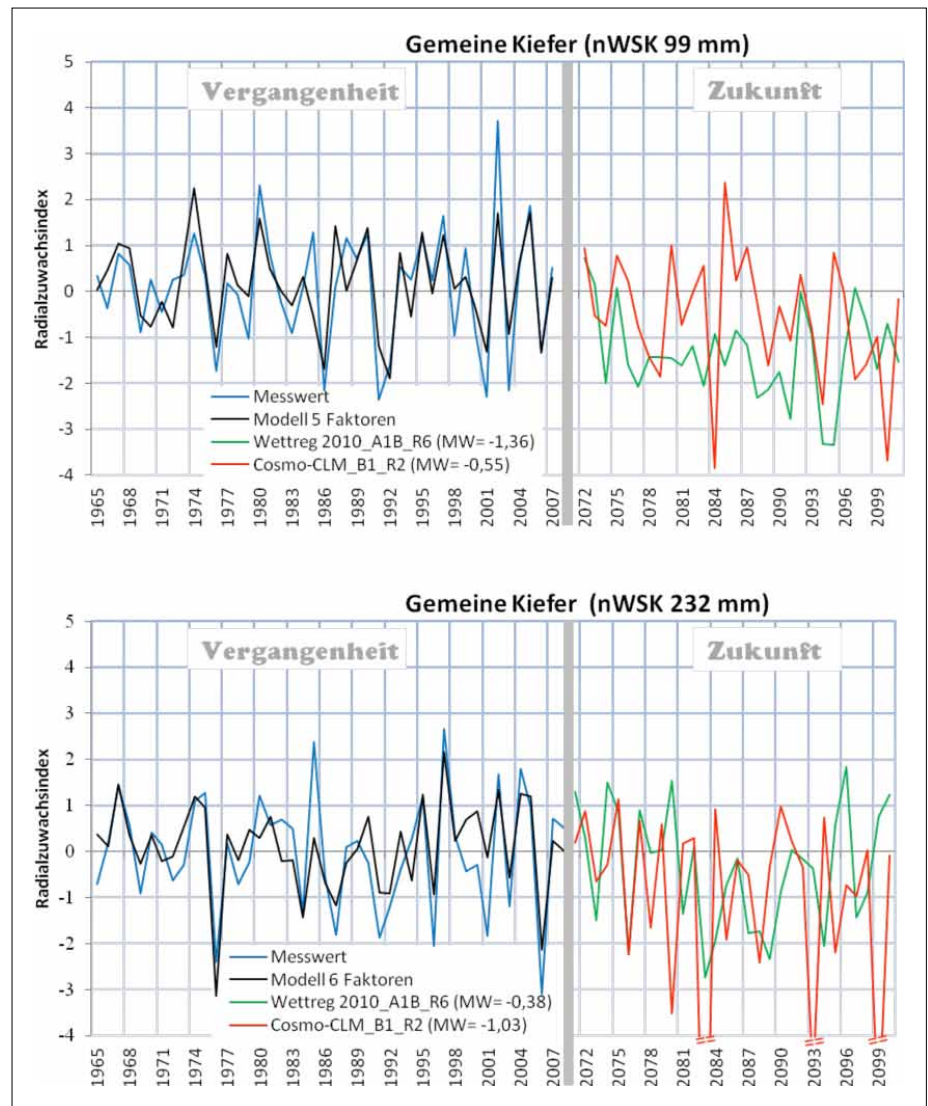
## Angepasste Waldentwicklungstypen

In allen Klima-Zuwachs-Prognosen der „fernen Zukunft“ (2071 bis 2100) erweist sich die heutige Hauptwirtschafts- und Rekultivierungsbaumart Gemeine Kiefer als recht hitzeempfindlich. Andererseits profitieren Traubeneichen – sicherlich auch Stieleichen – von höheren Jahrestemperaturen und einer längeren Vegetationszeit. Auf speicherarmen Kippsanden bis Anlehmsanden besteht jedoch ein erhebliches Trockenstressrisiko, selbst bei in Summe unveränderten Sommerniederschlägen, schon thermisch bedingt.

Insofern fehlen diesen Standorten waldbauliche Optionen zur trockenheitstoleranten, aber hitzegeschwächten Kiefer. Vorrangiges Ziel der „bergmännischen“ Rekultivierung muss die oberflächige Verkipfung bindiger, in Wasserversorgung und Trophie „laubholzfähiger“ Substrate sein. Nach den für Traubeneiche abgeleiteten Klima-Zuwachs-Beziehungen sollte die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK<sub>100cm</sub>) mindestens 100 mm betragen („speichertrocken“ und feuchter), wobei Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit korrespondieren. Tatsächlich sind solche Wuchsbedingungen nicht immer realisierbar, schon wegen der geologischen Ausgangssituation, technologischen Abläufe im Tagebau und konkurrierenden Nutzungsansprüche danach.

So bleiben sorptionskräftige Kippsubstrate des Deckgebirges meist einer landwirtschaftlichen Folgenutzung vorbehalten.

Für die flächenmäßig bedeutsamen Kippsubstratformen stehen nunmehr „klima- und standortangepasste“ Wald-



**Abb. 4: Radialzuwachsprojektion für Gemeine Kiefern-Reinbestände auf Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlenreviers;**

**oben: Bestand GKi 4, Alter 70 Jahre, „sehr speichertrockener“, kies- und kohleführender Kippreinsand (nWSK<sub>100cm</sub> 99 mm), H 5718817, R 5392496 (Gauß-Krüger);**

**unten: Bestand GKi 6, Alter 78 Jahre, „haftfrischer“, kies- und kohleführender Kippkohlelehmsand (nWSK<sub>100cm</sub> 232 mm), H 5702283, R 5442609 (Gauß-Krüger)**

**nutzbare Wasserspeicherkapazität, bezogen auf einen effektiven Wurzelraum von 100 cm Profiltiefe (nWSK<sub>100cm</sub>), Substratfeuchteklasse nach [8]**

entwicklungstypen zur Diskussion. Sie kennzeichnen den waldbaulichen Zielzustand und sollen eine flexible Steuerung der Waldentwicklung ermöglichen. Aufgrund der noch unzureichenden Datenbasis wird auf eine voreilige Festlegung von Bestandeszieltypen verzichtet. Erkenntnisdefizite bestehen unter anderem hinsichtlich des Konkurrenzverhaltens bzw. Anpassungsvermögens wichtiger Mischbaumarten. Nicht auszuschließen ist, dass sich Klimaänderungen auch auf andere Standorteigenschaften auswirken, welche ihrerseits das Wuchsverhalten beeinflussen, insbesondere Humuszustand und Nährstoffdynamik. So entfallen an dieser Stelle bewusst Angaben zu Mischungsver-

hältnissen, Nutzungszeiträumen, Produktionszielen, Zielstärken usw.

## Eichen-Laub-Mischwald

**Standorte: „mäßig speichertrocken“ und feuchter (nWSK<sub>100cm</sub> >113 mm), ziemlich arm (Z) bis mittel (M).**

Im laubholzfähigen Standortspektrum bieten sich neben der führenden Trauben- bzw. Stieleiche besonders dürre- bzw. hitzeangepasste Mischbaumarten an. Hierzu zählen: Winterlinde, Roteiche, Hainbuche, Gemeine Birke und die besonders „klimaharte“ Robinie. Anliegen ist eine möglichst effiziente Ausnutzung des verfügbaren Bodenwassers für die Holzproduktion. Das Entwicklungsziel bil-

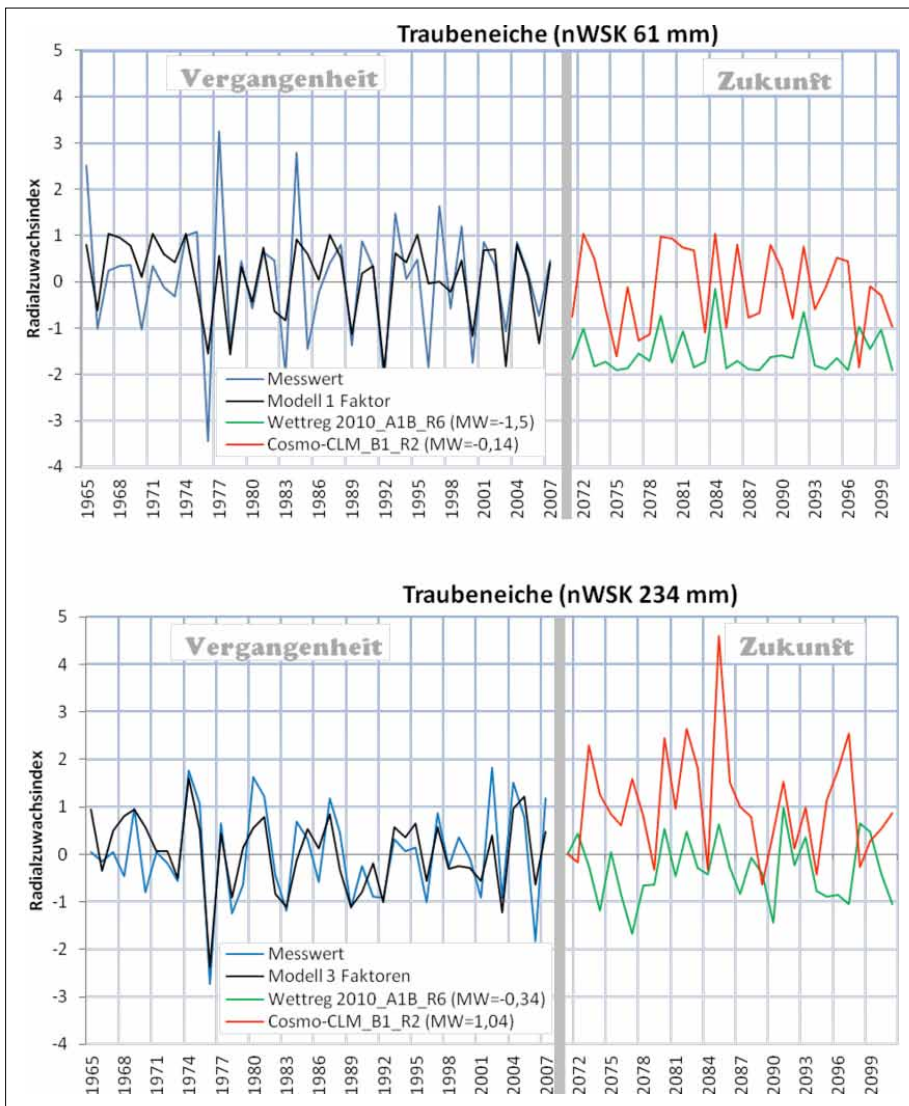


Abb. 5: Radialzuwachsprojektion für Traubeneichen-Reinbestände auf Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlenreviers;

oben: Bestand TEi 10, Alter 60 Jahre, „speicherdürer“ Kippeinsand (nWSK<sub>100cm</sub> 61 mm), H 5705011, R 5441558 (Gauß-Krüger);

unten: Bestand TEi 2, Alter 41 Jahre, „haftfrischer“, kiesführender Kippkohlelehmsand (nWSK<sub>100cm</sub> 234 mm), H 5717469, R 5393786 (Gauß-Krüger);

nutzbare Wasserspeicherkapazität, bezogen auf einen effektiven Wurzelraum von 100 cm Profiltiefe (nWSK<sub>100cm</sub>), Substratfeuchteklasse nach [8]

den strukturreiche Mischbestände, gerade angesichts unsicherer Niederschlagsprognosen. Unter Berücksichtigung kippen-typischer Substratheterogenitäten gilt eine kleinstandörtliche, gruppen- bis horstweise Mischungsform, wodurch sich das Betriebsrisiko verteilt.

### Eichen-Kiefern-Mischwald

Standorte: „sehr speichertrocken“ bis „speichertrocken“ (nWSK<sub>100cm</sub> >63 bis 113 mm), arm (A) und ziemlich arm (Z).

In diesem Standortspektrum lassen sich sowohl für Gemeine Kiefer als auch Trauben- bzw. Stieleiche Vitalitäts- und Zuwachsverluste prognostizieren, zum einen temperaturbedingt und infolge der an-

gespannten Wasserversorgung. Daneben gewinnt die lange Zeit waldbaulich unterschätzte Gemeine Birke als anspruchslose Wirtschaftsbaumart an Bedeutung. Es ist anzunehmen, dass sich letztlich besonders stresstolerante Genotypen durchsetzen. Gerade Trauben- und Stieleiche gelten entsprechend ihres weiten Verbreitungsgebietes als relativ klimaplastische Baumarten. So empfiehlt sich der Anbau besonders trockenheitstoleranter Herkünfte.

### Kiefern-Birken-Mischwald

Standorte: „speicherdür“ (nWSK<sub>100cm</sub> <63 mm), arm (A).

„Minimalziel“ der forstlichen Rekultivierung ist die Etablierung von Waldstruktu-

ren, Produktionsaspekte sind nachgeordnet. Zur „Wiederbewaldung“ lassen sich primäre Sukzessionsabläufe nutzen.

Im Sinne einer waldbaulichen Extensivierung ist zu überlegen, ob die wahrscheinlichen „Klimaxbaumarten“ erst nach Etablierung eines lockeren Vorwaldschirmes gepflanzt werden, das heißt rund 10 bis 20 Jahre nach Flächenanlage. Bis zu diesem Zeitpunkt lässt sich das Waldentwicklungsziel gegebenenfalls auch ohne Ergänzungspflanzungen realisieren. So ist die Gemeine Kiefer als Rohbodenpionier erstaunlich verjüngungsfreudig, gerade wegen ihrer geringen Nährstoffansprüche und hohen Trockenheitstoleranz. Dagegen wandern Birke, Aspe oder Robinie erst mit Verzögerung ein.

### Literaturhinweise:

[1] BOLTE, A.; WELLENBROCK, N.; DUNGER, K. (2011): Wälder, Klimaschutz und Klimaanpassung – Welche Maßnahmen sind umsetzbar? AFZ-DerWald, 2/2011: 27 – 30. [2] BRÉDA, N.; HUC, R.; GRANIER, A.; DREYER, E. (2006): Temperate forest trees and stands under severe drought: A review of ecophysiological response, adaption processes and long-term consequences. Ann. For. Sci., 63: 625 – 644. [3] ERTLÉ, C.; KNOCHÉ, D. (2012): Lausitzer Kippenwälder im Klimawandel – Wasserhaushalt und Wachstum. Fachkolloquium „Energie-region Lausitz im Spiegel der Angewandten Landschaftsforschung“. Finsterwalde, 14. Juni 2012. [4] KATZUR, J.; BÖCKER, L. (2010): Chronik der Rekultivierungsforschung und Landschaftsgestaltung im Lausitzer Braunkohlenrevier bis 1990. Weißensee Verlag, Berlin. [5] KNOCHÉ, D. (2006): Forstliche Rekultivierung. In: Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (Hrsg.): Wissenschaftliche Begleitung der ostdeutschen Braunkohlesanierung. Eigenverlag LMBV: 105 – 131. [6] KNOCHÉ, D.; ERTLÉ, C.; SCHERZER, J.; SCHULTZE, B. (2012): Kippenwälder des Lausitzer Braunkohlenreviers im Klimawandel – Teil I: Klimaszenarien der fernen Zukunft und Baumarteneignung. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie, 46, 4: 145 – 151. [7] KNOCHÉ, D.; ERTLÉ, C.; SCHERZER, J.; SCHULTZE, B. (2012): Kippenwälder des Lausitzer Braunkohlenreviers im Klimawandel – Teil II: Szenariobasierte Simulation des Bestandeswasserhaushaltes. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie, 46, 4: 152 – 163. [8] KÖNIG, T. (2011): Substratfeuchte – wichtige Auswerteeinheit der Standortserkundung; dargestellt am Beispiel Sachsens. Freiburger Forstliche Forschung, 88: 90 – 100. [9] LINKE, C.; GRIMMERT, S.; HARTMANN, I.; REINHARDT, K. (2010): Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg. Darstellung klimatologischer Parameter mit Hilfe vier regionaler Klimamodelle (CLM, REMO10, WETTREG, STAR2) für das 21. Jahrhundert. Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Titelfolge Heft-Nr. 113: <http://www.mugv.brandenburg.de/info/uaa-publikationen>. [10] RÖHLE, H.; GEROLD, D. (2009): Klima-Zuwachsbeziehungen für die Hauptbaumarten in Sachsen. Freiburger Forstliche Forschung, 82: 197 – 210. [11] SCHERZER, J. (2001): Der Wasserhaushalt von Kiefernforsten auf Kippböden der Niederlausitz. Cottbuser Schriften, 16: 1 – 136. [12] SCHRÖDER, J.; BECK, W. (2009): Risikoabschätzung durch witterungs-basierte Modelle für Eiche und Kiefer in Nordostdeutschland. Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, Beiträge zur Jahrestagung. [13] SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, U.F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES Szenarios B1, A1B und A2. Dessau. [14] STARKE, C. (2010): Zusammenhang von Witterung und Zuwachs in Traubeneichenbeständen auf Kippenstandorten der Lausitz. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften. [15] Umweltbundesamt (2011): [http://www.anpassung.net/Shared-Docs/Downloads/DE/ Nutzungsbedingungen20-REMO-UBA, temp-lated =raw,property=publicationFile.pdf/Nutzungsbedingungen%20REMO\\_UBA.pdf](http://www.anpassung.net/Shared-Docs/Downloads/DE/ Nutzungsbedingungen20-REMO-UBA, temp-lated =raw,property=publicationFile.pdf/Nutzungsbedingungen%20REMO_UBA.pdf), abgerufen am 14.4.2011.