

Kippenwälder des Lausitzer Braunkohlenreviers im Klimawandel

Teil I: Klimaszenarien der fernen Zukunft und Baumarteneignung

Die Lausitz gilt als eine der klimaempfindlichsten Regionen in Deutschland, wobei geringe Sommerniederschläge das Waldwachstum limitieren. Einen Sonderfall bilden exponierte Rückgabeflächen des Braunkohlenbergbaus mit ihren sandigen Rohböden. So sind die jungen Kippenwälder erstaunlich frohwüchsig, aber insbesondere gegenüber Witterungsextremen störungsanfällig.

Zur Absicherung der Rekultivierungsplanung soll geprüft werden, wie sich mögliche Klimaveränderungen auf das Waldwachstum auswirken. Im ersten Schritt erfolgt eine Regionalisierung globaler Klimaprognosen (IPCC 2007, ECHAM 5_MPI_OM) mit den „Downscaling“-Modellen WETTREG₂₀₁₀, COSMO-CLM und REMO.

Gegenüber den validierten Basisszenarien der „Klimanormalperiode“ (1971–2000) lässt sich bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071–2100) eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 2,1 °C (REMO_B1, COSMO-CLM_B1_R1) bis 3,4 °C (WETTREG₂₀₁₀_A1B_R0, _R6 und _R8, COSMO-CLM_A1B_R2) annehmen. Im pflanzenbaulich ungünstigsten Szenario WETTREG₂₀₁₀_A1B_R6 fällt die jährliche Niederschlagssumme um 21–30 %. Zudem verlagern sich die Niederschläge vom Sommer- in das Winterhalbjahr. Dagegen signalisieren REMO und COSMO-CLM weitgehend unveränderte Feuchteverhältnisse.

Im Vergleich zur Traubeneiche wird die Gemeine Kiefer als klimasensitiver eingestuft. Zwar ist sie trockentolerant, jedoch als boreale Baumart hitzeempfindlich. Bereits heute lösen fröhsommerliche Tageshöchsttemperaturen >35 °C mehrjährige Wuchsdepressionen aus, ungeachtet einer ausreichenden Wasserversorgung.

Stichworte: Klimaszenarien, Hitzestress, Wassermangel, Aufforstung, Rekultivierung, *Pinus sylvestris*, *Quercus petraea*

Afforested mine sites of the Lusatian Lignite District under climate change

Part I: Climate scenarios of far future and tree species suitability

Lusatia is one of the most climate-sensitive regions in Germany with low summer rainfall limiting forest growth on many sandy soils. In this context, afforestations of lignite post-mining sites represent a matter of special importance. Although good growing, young ecosystems are susceptible to any disturbance, especially against extreme weather.

To support reclamation planning, it is to find out, how climate change affects stand growth. In a first step, we regionalize global climate prognoses (IPCC 2007, ECHAM 5_MPI_OM) using the downscaling models WETTREG₂₀₁₀, COSMO-CLM and REMO. As against basic scenarios of “climate normal period” (1971–2000) to the end of 21st century (2071–2100) an increase of annual mean temperature is assumed by 2.1 °C (REMO_B1, COSMO-CLM_B1_R1) to 3.4 °C (WETTREG₂₀₁₀_A1B_R0, _R6, _R8, COSMO-CLM_A1B_R2). In worst-case WETTREG₂₀₁₀_A1B_R6 scenario, rainfall decreases by 21–30 % with a seasonal shift from the vegetation period to winter. On the other hand, REMO and COSMO-CLM calculate a widely unchanged precipitation regime in the long term.

These findings suggest a higher susceptibility of Scots Pine to climate change impacts compared with Sessile Oak. In fact, boreal pine is drought-tolerant it turns out to be quite heat-sensitive. Already now, early summer daily maximum temperatures >35 °C cause perennial growth depressions, even when water supply is sufficient.

Keywords: climate scenarios, heat stress, water shortage, afforestation, reclamation, *Pinus sylvestris*, *Quercus petraea*

1 Klimawandel – Herausforderung für die forstliche Rekultivierung

Im Lausitzer Braunkohlenrevier zielt die forstliche Rekultivierung auf standortgerechte, multifunktionale „Klimaxwälder“ (HAUBOLD-ROSAR & KNOCHE 2007). Trauben- und Stieleiche nehmen etwa 30 % der jährlichen Aufforstungsfläche ein, während der Gemeinen Kiefer 40–50 % zufallen. Allerdings bleibt unklar, ob solche, als standortgerecht angesehene Bestände, auch künftigen Klimabedingungen genügen.

So gilt die Niederlausitz als ausgesprochenes „Klima-Risikogebiet“ (SPEKAT et al. 2007, WALKENHORST & STOCK 2009, LINKE et al. 2010). Geringe Niederschläge und sumpfungsbedingte Grundwasserabsenkungen begrenzen das Waldwachstum (GEMBALLA & SCHLUTOW 2007, EISENHAEUER 2008, KATZUR & BÖCKER 2010). Pflanzenbauliche Extreme der Kippenböden, wie Humusarmut, substratbedingte Versauerung und Versalzung (KNOCHE 2001), lassen vermuten, dass sich hier klimatischer Stress frühzeitig und deutlich auswirkt.

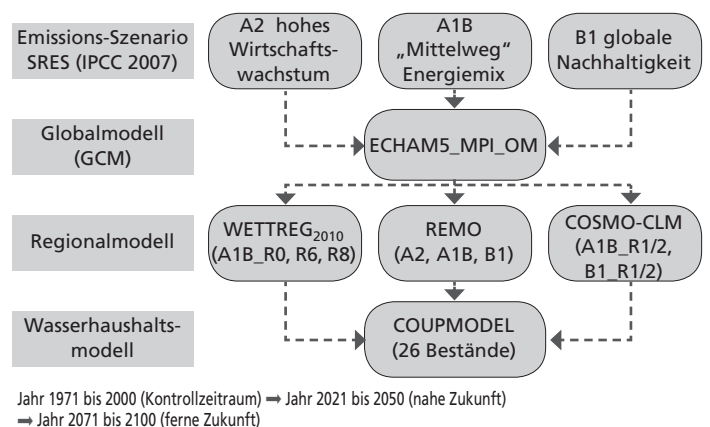


Abbildung 1: Modellkette zur regionalisierten Klimaprojektion und Simulation des Bestandeswasserhaushaltes von Kippenwäldern

Figure 1: Applied models for regional climate projection and water budget simulation of afforested mine sites

Angesichts dessen sind langfristige Prognosen zur Waldzustandsentwicklung bzw. Baumartenanpassung unverzichtbar (u. a. WAGNER 2008, ROLOFF & GRUNDMANN 2008, SCHLUTOW et al. 2009). Diese erfordern validierte Projektionen der regionalen Klimadynamik (Abbildung 1). Dabei wirken sich Hitze- und Trockenperioden primär über den Bestandeswasserhaushalt aus (FALK et al. 2008, RIEK 2010). Folgerichtig werden in einer zweiten Publikation die Wasserflüsse kippentypischer Kiefern- und Traubeneichen-Aufforstungen unter Klimaannahmen betrachtet: „Kippenwälder des Lausitzer Braunkohlenreviers im Klimawandel – Teil II: Szenarienbasierte Simulation des Bestandeswasserhaushaltes“ (in diesem Heft auf den Seiten 152 bis 163).

2 Landschaftsraum und Regional-klima

Das Lausitzer Braunkohlenrevier zählt zum forstlichen Wuchsgebiet „Düben-Niederlausitzer Altmoränenland“. Landschaftsprägend sind saale(II/III)kaltzeitliche Rückzugsstufen in hoher geomorphologischer Formenvielfalt (NOWEL et al. 1994). Bei Höhenlagen zwischen 50 und 150 m (NN) ist die Reliefenergie gering, das Gebietsklima variiert kaum. Nach KOPP & SCHWANECKE (1994) lässt sich die Region dem pseudo-maritim beeinflussten „Lausitzer Klima“ (φ , mäßig trocken) bis kontinental getöntem „Südmärkischen Klima“ (γ , trocken) zuordnen. Die Durchschnittstemperatur schwankt zwischen 8,5 und 8,9 °C (Tabelle 1). Mit 550 bis 650 mm Jahresniederschlag bleibt die klimatische Wasserbilanz (KWBa) extrem gering (<0 mm).

Erste Signale des sich abzeichnenden „Klimawandels“ sind offenkundig. Allein während der letzten 30 Jahre ist eine signifikante Erwärmung um etwa 0,3 °C nachweisbar (LINKE et al. 2010). Dies

Tabelle 1: Klimacharakterisierung nach Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die Referenzperiode 1961 bis 1990, Jahresmittel und für die Vegetationsperiode (April bis September, kursiv in Klammern), Niederschlag korrigiert nach RICHTER (1995)

Table 1: Climate characterization according to climate stations of German Weather Service (DWD) for the reference period 1961 to 1990, annual mean and for the vegetation period (April to September, italic in brackets), precipitation correction according to RICHTER (1995)

Klimastation (DWD) Stat_ID	Höhe [NN]	Koordinaten (Gauß-Krüger)	Niederschlag [mm]	Lufttemperatur [°C]	Luftfeuchtigkeit [%]
Lausitzer Braunkohlenrevier					
Cottbus 3358	69	R 5452982 H 5739008	627,3 (409,4)	8,9 (14,0)	77,2 (73,2)
Doberlug 3360	97	R 5402085 H 5724906	620,9 (399,9)	8,5 (13,5)	78,5 (75,0)
Oberlausitzer Bergland					
Kubschütz 3382	232	R 5465163 H 5670305	753,2 (468,4)	8,8 (13,9)	75,7 (75,3)
Mittleres Brandenburg					
Berlin-Dahlem 3319	51	R 5384605 H 5816188	659,6 (404,9)	8,9 (13,8)	76,9 (72,9)
Müncheberg 3336	63	R 5441300 H 5820746	594,1 (376,2)	8,4 (13,5)	75,5 (75,3)
Potsdam 3342	81	R 5368503 H 5807307	668,5 (407,0)	8,8 (13,8)	78,7 (74,0)
Lindenberg 3346	98	R 5439766 H 5787378	630,7 (395,4)	8,6 (13,8)	77,7 (72,7)

Klimastation – climate station,
Koordinaten (Gauß-Krüger) – easting/northing (Gauß-Krüger),
Höhe – altitude, Niederschlag – precipitation,
Lufttemperatur – air temperature, Luftfeuchtigkeit – air humidity

beeinflusst den Waldzustand und erfordert eine Neuordnung der forstlichen Bestandeszieltypenplanung (FRANKE et al. 2006, HÄNTSCHEL et al. 2006, GEMBALLA & SCHULTOW 2007, RIEK 2010).

Abbildung 2: Lageplan mit den Referenzflächen der Klimasimulation (GKi 4 und GKi 6) auf Kippen des Lausitzer Braunkohlenreviers und nahe DWD-Klimastationen

Figure 2: Site map with reference plots for climate simulation (GKi 4 and GKi 6) on dumps of the Lusatian Lignite District and nearby DWD climate stations

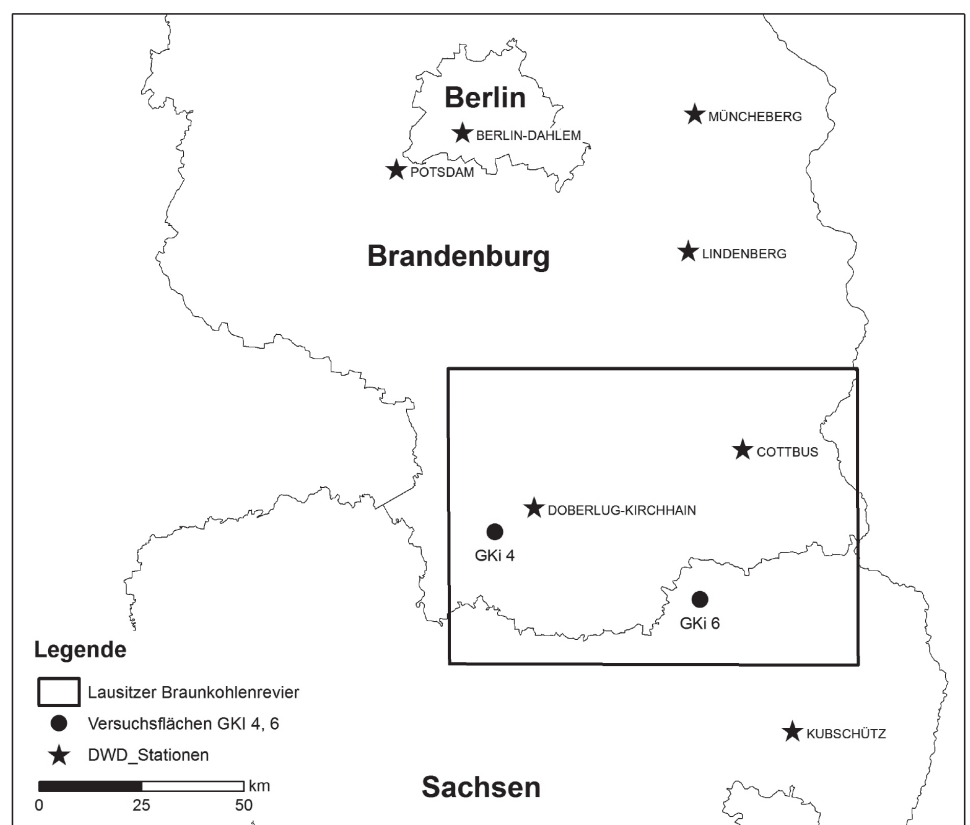


Tabelle 2: Standortinformationen zu den Referenzflächen der Klimasimulation (GKi 4 und GKi 6) auf Kippen des Lausitzer Braunkohlenreviers**Table 2:** Site information for reference plots of climate simulation (GKi 4 and GKi 6) on dumps of the Lusatian Lignite District

Fläche (Alter [Jahre])	Substratsystematische Einheit	Bodenart	nWSK _{100cm} [mm]	pH _{KCl}	Koordinaten (Gauß-Krüger)
Gemeine Kiefer (Reinbestände auf typischen Kippsubstraten)					
GKi 4 (70)	Kies-, kohleführender Kippreinsand über kiesführendem Kippreinsand [oj-(k, x)ss / (k)ss (pq)]	Ss	99	3,9–5,9	R 5392496 H 5718817
GKi 6 (78)	Kies-, kohleführender Kippelohmsand [oj-(k, x)ls (pq)]	Sl3	232	3,8–6,4	R 5442609 H 5702283

Fläche (Alter) – site (stand age), Substratsystematische Einheit – mine soil substrate type, Bodenart – soil texture, nWSK_{100cm} – plant available water storage capacity, Koordinaten – easting/northing (Gauß-Krueger)

3 Referenzflächen der Klimasimulation

Zur szenariovergleichenden Klimasimulation werden die beiden Erstaufforstungsbestände Gemeine Kiefer (GKi 4 (70 Jahre, R 5392496, H 5718817) und Gemeine Kiefer (GKi 6 (78 Jahre, R 5442609, H 5702283) betrachtet. In ihrer klimageographischen Lage flankieren sie den Landschaftsraum mit seiner nach Osten hin zunehmenden thermischen Kontinentalität (Abbildung 2).

Vergleichsweise frohwüchsig, stocken die mittleren Baumhölzler auf kies- und kohleführenden Kipp-Gemengesanden tertiären Ursprungs (Tabelle 2). Hierfür charakteristisch sind starke bodenchemische Gradienten (pH 3,8 bis 6,4) und eine beachtliche Spannweite der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK_{100cm}). Durch Humusanreicherung haben sich Rohböden zu Regosolen (Ah-IC-Profil) entwickelt.

4 Ableitung von regionalisierten Klimaszenarien

Ausgewählte Basisszenarien

Künftige Klimaveränderungen werden in Abhängigkeit des globalen Landoberflächenmodells (GCM, Global Circulation Model) ECHAM 5_MPI-OM (MAX-PLANCK-Institut (MPI) für Meteorologie) nach IPCC (2007, CERA-Datenbank) für die international gebräuchlichen Klima- bzw. Emissionsszenarien A2 („worst case – hohes Wirtschaftswachstum“), A1B („Mittelweg“) und B1 („globale Nachhaltigkeit, intensiver Umweltschutz“) beschrieben. Die Regionalisierung der Klimaszenarien erfolgt durch statistisch und dynamisch gekoppelte „Downscaling“-Modelle, hier WETTREG (SPEKAT et al. 2007), REMO (JACOB et al. 2007) und COSMO-CLM (ROCKEL et al. 2008) mit den Projektionshorizonten:

- 1971 bis 2000 – „Klimanormalperiode“,
- 2021 bis 2050 – Projektion „nahe Zukunft“,
- 2071 bis 2100 – Projektion „ferne Zukunft“.

Dabei kann es innerhalb der Modellkette (Emissionsszenario [IPCC], Globalmodell, Regionalmodell) zu erheblichen Spannweiten der Ergebnisse kommen (vgl. VAN DER LINDEN & MITCHELL 2009, KALACHE et al. 2010).

Um solche Prognoseunsicherheiten angemessen zu berücksichtigen, kommen 10 Modellläufe zur Anwendung:

- (1) WETTREG₂₀₁₀: WETTREG₂₀₁₀_A1B_Realisation 0, 6 und 8 (3 von 10 möglichen Modellszenarien),
- (2) REMO: REMO_A1B, _A2 und _B1 (alle Modellszenarien);
- (3) COSMO-CLM: CLM_A1B_Run 1 und 2 sowie CLM_B1_Run 1 und 2 (alle Modellszenarien).

Tabelle 3: Referenzflächen GKi 4 und GKi 6: Plausibilitätsprüfung der verwendeten Klimaszenarien für die „Klimanormalperiode“ (1971–2000), REMO und COSMO-CLM ohne Bias-Korrektur (CMBC), langjähriges Mittel**Table 3:** Reference plots GKi 4 and GKi 6: Plausibility of applied climate scenarios for “climate normal period“ (1971–2000), REMO and COSMO-CLM without bias correction (CMBC), longtime mean

Klimaprojektion 1971 bis 2000	Freilandniederschlag [mm]			Lufttemperatur [°C]		
	Jahr	WHJ	SHJ	Jahr	WHJ	SHJ
Referenzfläche GKi 4 (70 Jahre): R 5718817, H 5392496						
Messwert (DWD) abstandsgewichtet	627,0	273,5	353,5	8,9	3,3	14,5
WETTREG ₂₀₁₀ _R0	638,2	306,6	331,6	9,0	3,3	14,6
WETTREG ₂₀₁₀ _R6	676,1	318,0	358,1	9,0	3,4	14,5
WETTREG ₂₀₁₀ _R8	658,3	306,4	351,9	9,0	3,4	14,5
REMO	726,7	305,2	421,5	9,8	3,9	15,6
COSMO-CLM_R1	748,3	345,9	402,4	8,5	2,9	14,1
COSMO-CLM_R2	747,1	342,3	404,8	8,2	2,6	13,7
Referenzfläche GKi 6 (68 Jahre): R 5702283, H 5442609						
Messwert (DWD) abstandsgewichtet	671,0	288,5	382,6	9,1	3,4	14,7
WETTREG ₂₀₁₀ _R0	633,8	293,8	339,9	9,1	3,4	14,8
WETTREG ₂₀₁₀ _R6	691,4	316,2	375,1	9,2	3,5	14,7
WETTREG ₂₀₁₀ _R8	670,3	304,0	366,3	9,2	3,5	14,8
REMO	705,9	303,4	402,4	9,8	4,0	15,6
COSMO-CLM_R1	827,7	371,5	456,2	8,2	2,6	13,8
COSMO-CLM_R2	815,9	372,2	443,7	8,0	2,4	13,5

WHJ – Winterhalbjahr (01.10. – 31.03.), SHJ – Sommerhalbjahr (01.04. – 30.09.)
 Werte **fett kursiv** – signifikanter Unterschied zum Messwert (DWD), Konfidenzintervall (p = 0,05)
 Klimaprojektion – climate projection,
 Freilandniederschlag – bulk precipitation, Lufttemperatur – air temperature,
 Jahr – year, WHJ – winter half-year, SHJ – summer half-year

WETTREG₂₀₁₀– Die Klimaszenarien liegen als transiente Zeitreihen naher Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vor. Für jede Bezugsordinate erfolgt die Berechnung tagesbezogener Klimaprojektionsdaten durch abstandsgewichtete Interpolation und Regression (IDW) nach SCHULLA & JASPER (2005).

REMO bzw. **COSMO-CLM**. Hier werden die Klimaszenarien als Rasterdatensätze mit einer Zellengröße von 0,1° × 0,1° bzw. 0,2° × 0,2° ausgegeben. Der betrachtete Standort befindet sich im zentralen Rasterpunkt von 9 angrenzenden Feldern. Analog WETTREG₂₀₁₀ erfolgt eine abstandsgewichtete Interpolation bzw. Regression der lokal wirksamen Klimawerte.

Tabelle 4.1: Referenzfläche GK4: Freilandniederschlag und Lufttemperatur der nahen Zukunft (2021–2050) gegenüber dem jeweiligen Basisszenario der „Klimanormalperiode“ (1971–2000), REMO und COSMO-CLM mit monatlich linearer Bias-Korrektur (CMBC), langjähriges Mittel, relative bzw. absolute Veränderung: kursiv in Klammern

Table 4.1: Reference plot GK4: Precipitation and air temperature in near future (2021–2050) as compared to basic scenario of “climate normal period” (1971–2000), REMO and COSMO-CLM with monthly linear bias correction (CMBC), longtime mean, relative and absolute shift: italic in brackets

Klimaprojektion 2021–2050	Freilandniederschlag [mm]			Lufttemperatur [°C]		
	Jahr	WHJ	SHJ	Jahr	WHJ	SHJ
Referenzfläche GK4 (70 Jahre): R 5718817, H 5392496						
WETTREG ₂₀₁₀ _R0	633,9 (-1 %)	292,7 (-5 %)	341,2 (3 %)	10,4 (1,4)	5,1 (1,8)	15,6 (1,0)
WETTREG ₂₀₁₀ _R6	592,9 (-12 %)	278,6 (-12 %)	314,3 (-12 %)	10,3 (1,3)	4,9 (1,5)	15,6 (1,1)
WETTREG ₂₀₁₀ _R8	600,0 (-9 %)	296,3 (-3 %)	303,7 (-14 %)	10,4 (1,4)	5,1 (1,7)	15,6 (1,1)
REMO_A1B	626,5 (0 %)	268,6 (-2 %)	357,9 (1 %)	10,0 (1,0)	4,8 (1,4)	15,2 (0,6)
REMO_B1	558,5 (5 %)	279,6 (2 %)	379,0 (7 %)	9,5 (0,6)	4,3 (1,0)	14,7 (0,2)
REMO_A2	596,5 (-5 %)	260,7 (-5 %)	335,8 (-5 %)	10,0 (1,0)	4,7 (1,4)	15,1 (0,6)
CLM_A1B_R1	657,5 (-6 %)	296,3 (8 %)	361,2 (2 %)	10,0 (1,1)	4,7 (1,3)	15,3 (0,7)
CLM_A1B_R2	692,6 (11 %)	317,8 (16 %)	374,8 (6 %)	10,3 (1,4)	5,1 (1,8)	15,5 (1,0)
CLM_B1_R1	706,0 (13 %)	312,9 (14 %)	393,1 (11 %)	9,6 (0,7)	4,3 (1,0)	14,9 (0,4)
CLM_B1_R2	639,7 (2 %)	280,0 (2 %)	359,6 (2 %)	10,2 (1,3)	4,8 (1,5)	15,6 (1,2)

Niederschlags- und Temperaturwerte im langjährigen Mittel, WHJ – Winterhalbjahr (01.10. – 31.03.), SHJ – Sommerhalbjahr (01.04. – 30.09.)
Klimaprojektion – climate projection, Freilandniederschlag – bulk precipitation, Lufttemperatur – air temperature, Jahr – year, WHJ – winter half-year, SHJ – summer half-year

Zur Plausibilitätsprüfung werden die Erwartungswerte des jeweiligen Kontrolllaufes bzw. Basisszenarios („Klimanormalperiode“, 1971 – 2000) mit den DWD-Messwerten verglichen. Je geringer die Abweichung der 5%-Konfidenzintervalle, umso höher wird die Plausibilität der Prognose eingeschätzt (vgl. SPEKAT et al. 2007). Die Signifikanzprüfung basiert auf Monats-, Halbjahres- (Oktober bis März, April bis September) und Jahreswerten.

Plausibilität der Klimaszenarien

Nach Tabelle 3 zeigt WETTREG₂₀₁₀_A1B in allen Realisationen und beiden Testfällen eine hohe Szenarioplusibilität. Die Erwartungswerte der Basisszenarien (1971 bis 2000) und abstandsgewichteten Meteodaten unterscheiden sich in keinem Fall signifikant.

Dagegen weisen REMO und COSMO-CLM als dynamische Klimamodelle neben stochastischen Schwankungen auch systematische Abweichungen (Bias) auf. Durch eine monatlich lineare Bias-Korrektur (Climate Model Bias Correction, CMBC) lassen sich solche jedoch eliminieren (MUDELSEE et al. 2010, UBA 2011). Die Szenarioplusibilität entspricht dann für Zukunftsbetrachtungen derjenigen von WETTREG₂₀₁₀.

Tabelle 4.2: Referenzfläche GK4: Freilandniederschlag und Lufttemperatur der fernen Zukunft (2071–2100) gegenüber dem jeweiligen Basisszenario der „Klimanormalperiode“ (1971–2000), REMO und COSMO-CLM mit monatlich linearer Bias-Korrektur (CMBC), langjähriges Mittel, relative bzw. absolute Veränderung: kursiv in Klammern

Table 4.2: Reference plot GK4: Precipitation and air temperature in far future (2071–2100) as compared to basic scenario of “climate normal period” (1971–2000), REMO and COSMO-CLM with monthly linear bias correction (CMBC), longtime mean, relative and absolute shift: italic in brackets

Klimaprojektion 2071–2100	Freilandniederschlag [mm]			Lufttemperatur [°C]		
	Jahr	WHJ	SHJ	Jahr	WHJ	SHJ
Referenzfläche GK4 (70 Jahre): R 5718817, H 5392496						
WETTREG ₂₀₁₀ _R0	574,9 (-10 %)	284,5 (-8 %)	293,4 (-12 %)	12,4 (3,4)	7,2 (3,9)	17,5 (2,9)
WETTREG ₂₀₁₀ _R6	533,3 (-21 %)	285,6 (-10 %)	247,7 (-31 %)	12,4 (3,4)	7,1 (3,7)	17,5 (3,0)
WETTREG ₂₀₁₀ _R8	560,2 (-15 %)	288,8 (-6 %)	271,4 (-23 %)	12,3 (3,3)	6,9 (3,5)	17,6 (3,1)
REMO_A1B	599,0 (-4 %)	276,6 (1 %)	322,5 (-9 %)	12,1 (3,2)	7,1 (3,8)	17,1 (2,6)
REMO_B1	622,9 (-1 %)	279,1 (2 %)	343,8 (-3 %)	11,1 (2,1)	5,9 (2,6)	16,1 (1,6)
REMO_A2	639,5 (2 %)	289,2 (6 %)	350,3 (-1 %)	12,0 (3,1)	7,1 (3,8)	16,9 (2,4)
CLM_A1B_R1	660,4 (5 %)	310,0 (13 %)	350,4 (-1 %)	12,1 (3,1)	6,8 (3,5)	17,3 (2,8)
CLM_A1B_R2	650,4 (4 %)	312,1 (12 %)	338,4 (-4 %)	12,3 (3,4)	7,0 (3,7)	17,5 (3,0)
CLM_B1_R1	669,7 (7 %)	312,1 (14 %)	357,6 (0 %)	11,1 (2,2)	5,8 (2,5)	16,4 (1,9)
CLM_B1_R2	666,4 (6 %)	316,8 (15 %)	349,5 (-1 %)	11,3 (2,4)	5,9 (2,6)	16,7 (2,2)

Niederschlags- und Temperaturwerte im langjährigen Mittel, WHJ – Winterhalbjahr (01.10. – 31.03.), SHJ – Sommerhalbjahr (01.04. – 30.09.)
Klimaprojektion – climate projection, Freilandniederschlag – bulk precipitation, Lufttemperatur – air temperature, Jahr – year, WHJ – winter half-year, SHJ – summer half-year

Zukünftige Klimaveränderungen

Alle Klimaszenarien erwarten bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071 – 2100) eine signifikante Erwärmung. Gegenüber den jeweiligen Kontrollläufen der „Klimanormalperiode“ (1971 – 2000) wird eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 2,1 °C (REMO_B1, CLM_B1_R1) bis 3,4 °C (WETTREG₂₀₁₀_A1B_R0, _R6, _R8, CLM_A1B_R2) simuliert (Tabellen 4.2 und 5.2). Während des Sommerhalbjahres liegen die Durchschnittswerte dann um 1,6 bis 3,1 °C (GK4) bzw. 1,7 bis 3,2 °C (GK6) über heutigem Temperaturniveau. Bereits in „naher Zukunft“ (2021 – 2050) lässt sich ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur auf 9,5 °C (GK4, REMO_B1: +0,6 °C) bis 10,6 °C (GK6, WETTREG₂₀₁₀_A1B_R0: +1,5 °C) feststellen (Tabellen 4.1 und 5.1).

Nach WETTREG₂₀₁₀_A1B kommen rückläufige Jahresniederschläge hinzu, langfristig um -10 bis -21 % (GK4) bzw. -15 bis -30 % (GK6). Zugleich verlagert sich das Niederschlagsgeschehen vom Sommer- ins Winterhalbjahr. Im Einzelfall (GK6, Szenario WETTREG₂₀₁₀_A1B_R6) wird gegen Ende des Jahrhunderts eine Abnahme des mittleren Sommerniederschlags von aktuell 375 auf 226 mm ausgewiesen (-40 %) mit noch kaum absehbaren Folgen für das Waldwachstum. Dagegen signalisieren REMO und COSMO-CLM ein weitgehend unverändertes Feuchtereime. Mit -4 bis +7 % (GK4) bzw.

Tabelle 5.1: Referenzfläche GK_i 6: Freilandniederschlag und Lufttemperatur der nahen Zukunft (2021–2050) gegenüber dem jeweiligen Basisszenario der „Klimanormalperiode“ (1971–2000), REMO und COSMO-CLM mit monatlich linearer Bias-Korrektur (CMBC), langjähriges Mittel, relative bzw. absolute Veränderung: kursiv in Klammern

Table 5.1: Reference plot GK_i 6: Precipitation and air temperature in near future (2021–2050) as compared to basic scenario of “climate normal period” (1971–2000), REMO and COSMO-CLM with monthly linear bias correction (CMBC), longtime mean, relative and absolute shift: italic in brackets

Klimaprojektion 2021–2050	Freilandniederschlag [mm]			Lufttemperatur [°C]		
	Jahr	WHJ	SHJ	Jahr	WHJ	SHJ
Referenzfläche GK _i 6 (68 Jahre): R 5702283, H 5442609						
WETTREG ₂₀₁₀ _R0	618,7 (-2 %)	280,1 (-5 %)	338,6 (0 %)	10,6 (1,5)	5,2 (1,8)	15,8 (1,0)
WETTREG ₂₀₁₀ _R6	590,2 (-15 %)	273,8 (-13 %)	316,4 (-16 %)	10,5 (1,3)	5,1 (1,6)	15,9 (1,2)
WETTREG ₂₀₁₀ _R8	594,4 (-11 %)	282,0 (-7 %)	312,4 (-15 %)	10,5 (1,3)	5,2 (1,7)	15,8 (1,0)
REMO_A1B	712,5 (6 %)	311,8 (8 %)	400,7 (5 %)	10,2 (1,1)	4,9 (1,5)	15,4 (0,6)
REMO_B1	748,5 (12 %)	319,2 (11 %)	429,2 (12 %)	9,7 (0,6)	4,5 (1,0)	14,9 (0,2)
REMO_A2	675,8 (1 %)	298,8 (4 %)	377,0 (-1 %)	10,1 (1,1)	4,8 (1,4)	15,4 (0,4)
CLM_A1B_R1	689,0 (3 %)	303,8 (5 %)	385,2 (0 %)	10,0 (0,9)	4,7 (1,3)	15,3 (0,5)
CLM_A1B_R2	718,6 (7 %)	315,2 (9 %)	403,4 (5 %)	10,4 (1,2)	5,2 (1,7)	15,6 (0,8)
CLM_B1_R1	714,2 (6 %)	316,1 (9 %)	398,1 (4 %)	9,7 (0,6)	4,4 (1,0)	15,0 (0,2)
CLM_B1_R2	670,4 (0 %)	282,4 (-2 %)	388,6 (2 %)	10,3 (1,1)	4,8 (1,4)	15,7 (0,9)

Niederschlags- und Temperaturwerte im langjährigen Mittel, WHJ – Winterhalbjahr (01.10. – 31.03.), SHJ – Sommerhalbjahr (01.04. – 30.09.)
Klimaprojektion – climate projection, Freilandniederschlag – bulk precipitation, Lufttemperatur – air temperature, Jahr – year, WHJ – winter half-year, SHJ – summer half-year

+1 bis +6 % (GK_i 6) nimmt die jährliche Niederschlagsmenge in „ferner Zukunft“ sogar geringfügig zu. Die relative Veränderung der Sommerniederschläge beläuft sich zwischen +3 % (GK_i 6, REMO_B1) und -9 % (GK_i 4, REMO_A1B).

WETTREG₂₀₁₀_A1B steht somit in allen Realisationen für ein sehr intensives Klimasignal. REMO_B1 und COSMO-CLM_B1_R1 bilden dagegen pflanzenbaulich gemäßigte Varianten ab.

5 Baumartenanpassung und waldbauliche Konsequenzen

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen und präzisieren bisherige Annahmen zur langfristigen Klimaentwicklung im Lausitzer Braunkohlenrevier (u. a. LINKE et al. 2010). Selbst „moderate“ Szenarien, wie COSMO-CLM_B1_R1 oder REMO_B1 signalisieren bis Ende des 21. Jahrhunderts eine Temperaturzunahme um rund 2,1 °C. Darüber hinaus ist im „worst-case-Szenario“ WETTREG₂₀₁₀_A1B_R6 ein Rückgang des Jahresniederschlags unter 490 mm (-30 %) möglich.

Allein die vorhersehbare Erwärmung erhöht das Anbaurisiko der Gemeinen Kiefer beträchtlich. Mit den prognostizierten 11,1 bis 12,6 °C liegen die künftigen Jahresmitteltemperaturen oberhalb ihres heutigen Verbreitungsschwerpunktes

Tabelle 5.2: Referenzfläche GK_i 6: Freilandniederschlag und Lufttemperatur der fernen Zukunft (2071–2100) gegenüber dem jeweiligen Basisszenario der „Klimanormalperiode“ (1971–2000), REMO und COSMO-CLM mit monatlich linearer Bias-Korrektur (CMBC), langjähriges Mittel, relative bzw. absolute Veränderung: kursiv in Klammern

Table 5.2: Reference plot GK_i 6: Precipitation and air temperature in far future (2071–2100) as compared to basic scenario of “climate normal period” (1971–2000), REMO and COSMO-CLM with monthly linear bias correction (CMBC), longtime mean, relative and absolute shift: italic in brackets

Klimaprojektion 2071–2100	Freilandniederschlag [mm]			Lufttemperatur [°C]		
	Jahr	WHJ	SHJ	Jahr	WHJ	SHJ
Referenzfläche GK _i 6 (68 Jahre): R 5702283, H 5442609						
WETTREG ₂₀₁₀ _R0	535,7 (-15 %)	264,5 (-10 %)	271,2 (-20 %)	12,6 (3,4)	7,3 (4,0)	17,7 (2,9)
WETTREG ₂₀₁₀ _R6	487,2 (-30 %)	261,0 (-17 %)	226,2 (-40 %)	12,6 (3,4)	7,3 (3,7)	17,8 (3,1)
WETTREG ₂₀₁₀ _R8	522,0 (-22 %)	262,2 (-14 %)	259,8 (-29 %)	12,5 (3,4)	7,1 (3,6)	17,9 (3,2)
REMO_A1B	674,9 (1 %)	316,7 (10 %)	358,2 (-6 %)	12,3 (3,2)	7,2 (3,8)	17,3 (2,6)
REMO_B1	710,5 (6 %)	318,3 (10 %)	392,3 (3 %)	11,2 (2,1)	6,0 (2,6)	16,4 (1,7)
REMO_A2	707,4 (5 %)	318,4 (10 %)	389,0 (2 %)	12,2 (3,1)	7,2 (3,8)	17,2 (2,4)
CLM_A1B_R1	680,6 (1 %)	317,2 (10 %)	363,5 (-5 %)	12,1 (3,0)	6,8 (3,4)	17,3 (2,6)
CLM_A1B_R2	681,8 (2 %)	313,8 (8 %)	367,9 (-4 %)	12,3 (3,2)	7,0 (3,6)	17,6 (2,8)
CLM_B1_R1	694,4 (3 %)	322,7 (12 %)	371,7 (-3 %)	11,2 (2,1)	5,8 (2,4)	16,4 (1,7)
CLM_B1_R2	681,7 (2 %)	319,0 (10 %)	362,7 (-5 %)	11,4 (2,3)	6,0 (2,6)	16,8 (2,0)

Niederschlags- und Temperaturwerte im langjährigen Mittel, WHJ – Winterhalbjahr (01.10. – 31.03.), SHJ – Sommerhalbjahr (01.04. – 30.09.)
Klimaprojektion – climate projection, Freilandniederschlag – bulk precipitation, Lufttemperatur – air temperature, Jahr – year, WHJ – winter half-year, SHJ – summer half-year

von etwa -4 bis +10 °C (Klimahülle nach KÖLLING 2007). Aufgrund des Temperaturniveaus dürfte die Frequenz warmer Anomalien bzw. thermisch extremer Monate zunehmen und so die pflanzenbauliche Situation weiter verschärfen (SCHÄR et al. 2004, BOLTE et al. 2011). Dabei reagieren Kiefern-Kippenwälder bereits auf einmalige Tagesspitzen-temperaturen >35 °C mit jahrelang anhaltenden Zuwachsdpressionen (ERTLE & KNOCH 2012). Ab 40 °C sind irreversible Schädigungen der Nadeln anzunehmen (BRÉDA et al. 2006). Gleichwohl lässt sich noch keine abschließende Bewertung zur künftigen Anbaueignung treffen. So werden im Klimahüllen-Konzept die interspezifische Konkurrenz, das Adaptionsvermögen (genetisch, ökophysiologisch) und Substrateinflüsse ausgeblendet (KÄTZEL 2008). Auch stellen Zuwachsverluste für sich noch nicht die langfristige Überlebensfähigkeit einer Baumart in Frage (KÄTZEL 2008, BOLTE et al. 2009).

Wärmeliebende Trauben- und Stieleichen entsprechen in ihrem aktuellen Verbreitungsgebiet dem für das Lausitzer Braunkohlenrevier projizierten Fächer künftiger Klimakombinationen. Dies gilt insbesondere für die Erstgenannte, toleriert sie doch Niederschläge unter 400 mm, während Stieleichen mindestens 475 mm fordern (KÖLLING 2007). Offen bleibt allerdings, ob auch regionale Herkünfte eine ähnliche Klimatoleranz aufweisen bzw. sich durch Selektion anpassen. Bekanntlich

stellen beide Baumarten gegenüber Gemeiner Kiefer höhere Ansprüche an die Wasserversorgung (SIWECKI & UFNALSKI 1998, BRÉDA 2000). Nach Trockenjahren mit <400 mm Jahres- bzw. <200 mm Vegetationszeitniederschlag kommt es zu nachwirkenden Vitalitätseinbußen („Eichensterben“, KÄTZEL et al. 2006, KALLWEIT 2010). Über ihre künftige Anbauwürdigkeit entscheidet weniger die Temperaturentwicklung, als vielmehr das transpirative Wasserdargebot (TWA). Dies betrifft neben der Niederschlagssumme und -verteilung insbesondere das nutzbare Wasserspeichervermögen des Mineralbodens (nWSK).

Einen viel versprechenden Ansatz zur Konkretisierung von Waldwachstumsprognosen bildet die Verschneidung von Klima- und Wasserhaushaltssimulationen mit dendrochronologischen Methoden (RÖHLE & GEROLD 2009, SCHRÖDER & BECK 2009). So ermöglichen die gefilterten Erklärungsvariablen erste szenarienbasierte Projektionen zur Entwicklung von Kippenwäldern unter künftigen Umweltbedingungen (ERTLE & KNOCHE 2012). Aus den Reaktionsmustern des Jahrringwachstums auf klimatische Extremereignisse leiten sich u.a. standörtliche Grenzbereiche für den Eichenanbau ab (STARKE 2010). Schließlich sollen landschaftstypische Bestockungen des Tagebauumlandes und die Holzvorratsentwicklung in die Betrachtung einbezogen werden.

Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wurde durch das Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MIL) gefördert. Unser Dank gilt darüber hinaus den Kolleginnen und Kollegen des Landesbetriebes Forst Brandenburg (LFB) sowie des Staatsbetriebes Sachsenforst (SBS) für ihre Unterstützung bei der Flächenauswahl und -sicherung.

Literatur

- BOLTE, A., AMMER, C., LÖF, M., MADSEN, P., NABUURS, G.-J., SCHALL, P., SPATHELF, P., ROCK, J., 2009: Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24, 6: 473 – 482.
- BOLTE, A., WELLBROCK, N., DUNGER, K., 2011: Wälder, Klimaschutz und Klimaanpassung – Welche Maßnahmen sind umsetzbar? *AFZ-DerWald*, 2/2011: 27 – 30.
- BRÉDA, N., 2000: Water shortage as a key factor in the case of oak dieback in the Fort de la Harth. In: OSZAKO, T., DELATOUR, C. (Hrsg.): *Recent Advances on Oak Health in Europe*, International Conference, 11–24 November 1999, Warsaw, Poland: 157 – 160.
- BRÉDA, N., HUC, R., GRANIER, A., DREYER, E., 2006: Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.*, 63: 625 – 644.
- EISENHAEUER, D.-R., 2008: Waldbaukonzepte und Klimawandel. *AFZ-DerWald*, 15/2008, 814 – 817.
- ERTLE, C., KNOCHE, D., 2012: Lausitzer Kippenwälder im Klimawandel – Wasserhaushalt und Wachstum. *Fachkolloquium „Energierregion Lausitz im Spiegel der Angewandten Landschaftsforschung“*. Finssterwalde, 14. Juni 2012.
- FALK, W., DIETZ, E., GRÜNERT, S., SCHULTZE, B., KÖLLING, C., 2008: Wo hat die Fichte genügend Wasser? Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung. *LWF aktuell*, 66: 21 – 25.
- FRANKE, J., GOLDBERG, V., MELLENTIN, U., BERNHOFER, C., 2006: Risiken des regionalen Klimawandels in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Wissen. Zeitschrift TU Dresden*, 55, 3/4: 97 – 104.
- GEMBALLA, R., SCHLUTOW, A., 2007: Überarbeitung der Forstlichen Klimagliederung Sachsens. *AFZ-DerWald*, 15/2007: 822 – 826.
- HÄNTSCHEL, J., FRANKE, J., GEMBALLA, R., BERNHOFER, C., 2006: Forstliche Klimagliederung Sachsens im Klimawandel. *AFZ-DerWald*, 25/2006: 830 – 832.

- HAUBOLD-ROSA, M., KNOCHE, D., 2007: Forest Reclamation in the Lusatian Coal Mining District (Germany). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, 133: 162 – 172.
- JACOB, D., BÄRRING, L., CHRISTENSEN, O.B., CHRISTENSEN, J. H., HAGEMANN, S., HIRSCHI, M., KJELLSTRÖM, E., LENERINK, G., ROCKEL, B., SCHÄR, C., SENEVIRATNE, S.I., SOMOT, S., VAN ULDEN, A., VAN DEN HURK, B., 2007: An inter-comparison of regional climate model performance. *PRUDENCE Special Issue, Climatic Change*, 81, 1: May 2007.
- IPCC, 2007: *Fourth Assessment Report: Climate Change*.
- KÄTZEL, R., 2008: Klimawandel – Zur genetischen und physiologischen Anpassungsfähigkeit der Waldbaumarten. *Archiv für Forstwesen u. Landschaftsökologie*, 42, 1: 9 – 15.
- KÄTZEL, R., LÖFFLER, S., MÖLLER, K., HEYDECK, P., KALLWEIT, R., 2006: Das Eichensterben als Komplexkrankheit. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 25: 94 – 100.
- KALLACHE, M., VRAC, M., NAVEAU, P., MICHELANGELI, P.-A., 2010: A probabilistic downscaling approach and spatiotemporal statistical models for extremes. *Workshop “Extremes in Weather and Climate”*. Institut für Meteorologie der Universität Bonn, Bonn: 1 – 25.
- KALLWEIT, R., 2010: Waldzustand in der Region Berlin-Brandenburg 2009. *BRAFONA*, (19) 143: 10–12.
- KATZUR, J., BÖCKER, L., 2010: *Chronik der Rekultivierungsforschung und Landschaftsgestaltung im Lausitzer Braunkohlenrevier bis 1990*. Weißensee Verlag, Berlin, 688 S.
- KNOCHE, D., 2001: Forstliche Rekultivierung. In: *Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (Hrsg.): Wissenschaftliche Begleitung der ostdeutschen Braunkohlesanierung*. Eigenverlag der LMBV: 105 – 131.
- KÖLLING, C., 2007: Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. *AFZ-Der Wald*, 23/2007: 1242 – 1245.
- KÖLLING, C., DIETZ, E., FALK, W., MELLERT, K.-H., 2009: Provisorische Klimarisikokarten als Planungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern. *Forst und Holz*, 64, 7/8: 40 – 47.
- KOPP, D., SCHWANECHE, W., 1994: *Standörtlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft*. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin GmbH, Berlin.
- 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, Titelreihe Heft-Nr. 113*, <http://www.mugv.brandenburg.de/info/ua-publicationen>.
- MUDELSEE, M., CHIRILA, D., DEUTSCHLÄNDER, T., DÖRING, C., HAERTER, J., HAGEMANN, S., HOFFMANN, H., JACOB, D., KRAHE, P., LOHMANN, G., MOSELEY, C., NILSON, E., PANFEROV, O., RATH, T., TINZ, B., 2010: Climate Model Bias Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie. *Mitt. Deutsche Meteorologische Gesellschaft*, 3/2010: 2 – 7.
- NOWEL, W., BÖHNISCH, R., SCHNEIDER, W., SCHULZE, H., 1994: *Geologie des Lausitzer Braunkohlenreviers*. Senftenberg, Herausgeber: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (LAUBAG).
- RICHTER, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 194, Offenbach.
- RIEK, W., 2010: Regionale und standortsbedingte Unterschiede zu den Auswirkungen des Klimawandels. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 44: 38 – 48.
- ROCKEL, B., WILL, A., HENSE, A., 2008: The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorologische Zeitschrift*, 17, 4: 347/348.
- RÖHLE, H., GEROLD, D., 2009: Klima-Zuwachsbeziehungen für die Hauptbaumarten in Sachsen; *Freiburger Forstliche Forschung*, 82: 197 – 210.
- ROLOFF, A., GRUNDMANN, B., 2008: Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. *Archiv für Forstwesen u. Landschaftsökologie*, 42, 3: 97 – 109.
- SCHÄR, C., VIDALE, P. L., LÜTHI, D., FREI, C., HÄBERLI, C., LINGER, M. A., APPENZELLER, C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427: 332 – 336.
- SCHLUTOW, A., PROFFT, I., FRISCHBIER, N., 2009: Das BERN-Modell als Instrument zur Einschätzung der Angepasstheit von Waldgesellschaften und Baumarten an den Klimawandel in Thüringen. *Forst und Holz*, 62, 4: 31 – 39.
- 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: ISSN 1432 – 2609.

SCHULLA, J., JASPER, K., 2005: Modellbeschreibung WaSiM-ETH, ETH Zürich.

SIWECKI, R., UFNALSKI, K., 1998: Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland. Eur. J. For. Pathol., 28: 99 – 112.

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.

STARKE, C., 2010: Zusammenhang von Witterung und Zuwachs in Traubeneichenbeständen auf Kippenstandorten der Lausitz. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden (TUD), Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften.

UBA, 2011: http://www.anpassung.net/SharedDocs/Downloads/DE/Nutzungsbedingungen20-REMO-UBA, templated=raw,property=publicationFile.pdf/Nutzungsbedingungen%20REMO_UBA.pdf, abgerufen am 14.04.2011.

VAN DER LINDEN, P., MITCHELL, J.F.B. (Hrsg.) 2009: ENSEMBLES: Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales. Met Office Hadley Centre, Exeter.

WAGNER, S., 2004: Klimawandel – einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. Forst und Holz, 59, 8: 394 – 398.

WAGNER, S., 2008: Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. AFZ-DerWald, 20/2008: 1104 – 1107.

WALKENHORST, O., STOCK, M., 2009: Regionale Klimaszenarien für Deutschland – Eine Leseanleitung. E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), Hannover, Nr. 6: 1 – 15.

Autoren

Dr. Dirk Knoche

ist Stellvertretender Direktor und leitet die Fachabteilung Agrar- und Forstökosysteme des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)
Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde
Tel.: 03531 7907 16
E-Mail: d.knoche@fib-ev.de

Dipl.-Forstwirt, Forstassessor Christoph Ertle

ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)
Tel.: 03531 7907 18
E-Mail: c.ertle@fib-ev.de

Dr. Jörg Scherzer

ist Inhaber des Forschungs- und Consulting-Büros UDATA, Umweltschutz und Datenanalyse
Hindenburgstraße 1, 67434 Neustadt (Wstr.)
Tel.: 06321 99894 30
E-Mail: info@udata.de

Dr. Bernd Schultze

ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungs- und Consulting-Büro UDATA, Umweltschutz und Datenanalyse
Hagenstraße 19b, 95448 Bayreuth
Tel.: 0921 9515273
E-Mail: info@udata.de