

Klima und Klimawandel

Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm



Erfassung und Bewertung
„Klima und Klimawandel“
Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm

Annette Decker, Johannes Franke, Rolf Tenholtern

1	Einführung	5
1.1	Funktionen von Klima und Luft	5
2	Klimawandel	6
2.1	Grundaussagen der regionalen Klimaprojektionen	7
2.2	Beobachtete Klimaentwicklung in Sachsen	8
2.3	Auswirkungen auf Natur und Landschaft	12
2.3.1	Klimawandel und Biodiversität	13
2.3.2	Klimawandel und Boden	16
2.3.3	Klimawandel und Wasser (Landschaftswasserhaushalt/Gewässer)	16
3	Siedlungsklima	17
3.1.1	Entstehungs- und Abflussgebiete für Kalt- und Frischluft im Freistaat Sachsen	17
3.1.2	Waldgebiete mit landesweit bedeutsamer Klimaschutz- und Immissionsschutzfunktion	18
4	Schutzwürdigkeit	19
4.1	Klima allgemein	19
4.2	Siedlungsklima	19
	Literaturverzeichnis	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der jährlichen Anzahl Heißer Tage an der Messstation Dresden-Klotzsche von 1961 bis 2100,...	8
Abbildung 2: Flächenmittel der Jahresmitteltemperatur T_M (°C) und des Jahresniederschlags RR (mm) in Sachsen für 1881-2013	9
Abbildung 3: Mittlere Anzahl von Sommertagen ($T_{max} > 25$ °C) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 28 Tage), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 35 Tage, d. h. +25 %)	10
Abbildung 4: Mittlere Intensität (mm) pro Starkregenereignis (R95p) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 24,8 mm), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 27,2 mm, d. h. +10 %).....	11
Abbildung 5: Änderung der Auftretenswahrscheinlichkeit ÜWKT (%) von Starkregenereignissen (R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Vegetationsperiode I (Flächenmittel: -15 %), rechts: Vegetationsperiode II (Flächenmittel: +18 %).....	11
Abbildung 6: Früherer Eintritt der Vegetationsperiode 1991-2005 im Vergleich zu 1961-1990 (SMUL 2008).....	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flächenmittel für Klimaelemente und -größen nach Mittelungszeiträumen in Sachsen.....	10
--	----

1 Einführung

Unter dem Klima eines Ortes, einer Landschaft oder eines Landes wird die Gesamtheit aller meteorologischen Zustände und Vorgänge während eines längeren Zeitraumes verstanden. Das Klima wird durch das Zusammenwirken einzelner Klimaelemente wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Bewölkung, Nebel usw. geprägt und durch ihre statistischen Maßzahlen beschrieben. Meteorologische Zustände, Erscheinungen und Prozesse des Klimas sind an die Lufthülle gebunden.

Aus landschaftsplanerischer Sicht sind das Klima und der Klimawandel mit ihren Wirkungen auf den Naturhaushalt, auf andere Umweltmedien wie Boden, Wasser, Tiere und Pflanzen sowie als Rahmenbedingung für die landschaftsbezogene Erholungsvorsorge von Bedeutung. Eine Kurzcharakteristik der aktuellen klimatischen Verhältnisse ist unter „Naturraum und Landnutzung“ im Kapitel „Naturräumliche Potenziale, Empfindlichkeiten und Landnutzung sächsischer Landschaften“ nachzulesen. Im vorliegenden Kapitel wird auf die möglichen Veränderungen durch den Klimawandel und seine Auswirkungen auf Natur und Landschaft sowie auf das Siedlungsklima eingegangen.

1.1 Funktionen von Klima und Luft

Klima und Luft haben durch nachstehende Funktionen wesentlichen Anteil an der Erhaltung oder Wiederherstellung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes als Lebensgrundlage:

- Über das Klima werden wesentliche physikalische, chemische und biologische Prozessabläufe, wie Gesteinsverwitterung, Bodenentwicklung, Formung des Reliefs, Prozesse des Wasserhaushalts und Lebensvorgänge gesteuert.
- Die Luft ist ein stoffliches Transport- und Speichermedium. Durch den Witterungsablauf wird das natürliche Selbstreinigungsvermögen der Luft von Nähr- und Schadstoffeinträgen über Abbau- und Transportprozesse gesteuert.
- Die bodennahe Lufthülle ist Bestandteil von Ökosystemen und ihren Lebensräumen.

Die Erfüllung dieser Funktionen schafft die Voraussetzungen für verschiedene, an Klima und Luft gebundene Naturprozesse mit Nutzungsrelevanz, z. B.:

- **Wasserhaushalt**
Niederschläge und ihr Abfluss sichern mit der Grundwasserneubildung das Wasserdargebot zur Trinkwasser- und Brauchwassergewinnung und –bereitstellung (siehe Kap. 3.3).
- **Bioklima**
Klima und Witterung sind von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Bioklimatisch wirksam sind Abbauprozesse von Wärmebelastungen durch Frischluft- und Kaltluftzustrom sowie durch Talabwinde aus Freiflächen (Ausgleichsräume) mit Abkühlereffekten für Siedlungs-, Industrie- und Gewerbegebiete (Wirkungsräume). Gebiete mit günstigem Bioklima weisen - nicht zuletzt im Hinblick auf die landschaftsbezogene Erholung (s. u.) - optimale Kombinationen von Kältereizen und Wärmezufuhr durch ausreichende Sonnenscheindauer, verträgliche bis stimulierende Temperatur- und Windverhältnisse in der jahreszeitlichen Abfolge auf.

■ Luftreinhaltung

Luftbewegungen mit bestimmten Mindest-Windgeschwindigkeiten für die bodennahe Durchlüftung mindern Luftschadstoff-Belastungen durch Ausdünnen und Verteilen bzw. bauen diese ab, vor allem nach Inversionswetterlagen.

■ Klimateigenschaften als Ausstattungsmerkmal für Erholungsgebiete

Gebiete mit bestimmten Klimateigenschaften, z. B. ganzjährig wirksamen Ausprägungen bioklimatischer Reizklimate oder mit regelmäßigen Schneefällen („Schneesicherheit“) in Wintersport-Erholungsgebieten sind für naturverbundene Formen der Erholung, der Touristik und des Sports besonders geeignet.

2 Klimawandel

Im 5. Sachstandsbericht (IPCC 2013A) wird festgehalten, dass die Belege für den Klimawandel und seine Ursachen noch umfassender und sicherer sind als im 4. Sachstandsbericht (IPCC 2007). „Hauptursache der Erwärmung ist die Freisetzung von Treibhausgasen, insbesondere von Kohlendioxid. Dessen Konzentration ist in der Atmosphäre heute so hoch, wie noch nie zuvor in den zurückliegenden 800 000 Jahren. Bliebe die derzeitige Emissionsrate unverändert, dann wäre schon Mitte dieses Jahrhunderts so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre emittiert, dass die globale Mitteltemperatur über 2° C gegenüber dem vorindustriellen Niveau ansteigen würde.“ (IPCC 2013A)

Die Beschreibung des zu erwartenden Klimawandels und der Veränderung klimatischer Eigenschaften und Werte wie Jahresmitteltemperatur und mittlerer Jahresniederschlag wird auf der Grundlage von Modellen vorgenommen. Für die Modelle werden Szenarien verwendet, die sich hinsichtlich der sozioökonomischen Entwicklung und den damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen unterscheiden. Der IPCC verwendete bisher sechs Modellszenariengruppen, in denen von unterschiedlichen Randbedingungen [z.B. Entwicklung des Wirtschaftswachstums, der Weltbevölkerung, effizienter Technologien, der Nutzung von Energien (fossil/nicht fossil)], ausgegangen wird. Für jede Szenariengruppe wurde mit unterschiedlichen Modellen gerechnet, die etwas unterschiedliche Ergebnisse liefern. Die Szenariengruppen enthalten demnach Spannen der Ergebnisse, die die Unsicherheit der Projektionen bezeichnen. Die gesamte Spanne aller Szenarien reicht z.B. von einem Temperaturanstieg zwischen 1,1 und 6,4 °C bis 2100. Eine zu erwartende Temperaturerhöhung für Mitteleuropa wird von allen Modellen wiedergegeben, insofern ist eine Fortsetzung der Erwärmung wahrscheinlich, die Stärke (ob 2 °C oder bis zu 6 °C bis 2100) ist jedoch unsicher. Die Ergebnisse der verschiedenen Modellszenarien werden als gleich wahrscheinlich angesehen. Der für 2000 berechnete anthropogen bedingte Temperaturanstieg gegenüber dem vorindustriellen Niveau liegt zwischen 0,3 und 0,9 °C. (IPCC 2007:13)

Für den 5. Sachstandsbericht wurde eine neue Szenarienfamilie, bestehend aus 4 „Repräsentativen Konzentrationspfaden“ (RCP-Szenarien), erarbeitet (vgl. IPCC 2013A, Imbéry , Kriegler o.J.). Die Grundlage hierfür bilden bereits publizierte Szenarien, die von unabhängigen Wissenschaftlergruppen entwickelt wurden. Für jede Szenariengruppe wird eine Treibhausgaskonzentration für 2100 vorgegeben. Die RCP-Szenarien vertreten in ihrer Spannweite die gesamte bisherige Literatur, wobei jedes Szenario einer plausiblen und konsistenten Beschreibung der nahen Klimazukunft dient (VAN VUUREN ET AL. 2011). Die drei Szenariengruppen, die von höheren Strahlungsantrieben ausgehen, umfassen das Spektrum der bisher verwendeten SRES-Szenarien. Hierbei ähnelt das RCP8.5-Szenario, das von nahezu ungebremsten Emissionen ausgeht, den bisherigen A2- und A1FI-Szenarien, das RCP6.0- dem A1B-Szenario und das RCP4.5- dem B1-Szenario (MOSS ET AL.

2008:34, IMBERY&PLAGEMANN 2011, IPCC 2013A:4). Eine wesentliche Neuerung ist, dass Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgas-Konzentrationen berücksichtigt werden (IPCC 2013A:6). Sie fließen in die vierte Szenariengruppe ein, für die zwar auch eine steigende Treibhausgaskonzentration angenommen wird. Diese liegt aber unter derjenigen der bisher verwendeten SRES-Szenarien.

Im Ergebnis der Modellrechnungen für die RCP-Szenarien werden für die global gemittelte Temperatur der bodennahen Luft folgende Unsicherheitsbereiche auf das Ende des 21. Jahrhunderts (2081-2100), gegenüber seinem Beginn (1986-2005), projiziert: RCP 2.6 = 0,3°C bis 1,7°C; RCP 4.5 = 1,1°C bis 2,6°C; RCP 6.0 = 1,4°C bis 3,1°C; RCP 8.5 = 2,6°C bis 4,8°C. Weiterhin wird die Erwärmung regional nicht einheitlich sein und Schwankungen von Jahren bis Jahrzehnten aufweisen. Die Arktis wird sich schneller erwärmen als das globale Mittel (IPCC 2013B:18). Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass alle Klimaprojektionen mit Unsicherheiten behaftet sind. Diese Unsicherheiten sind vor allem eine Folge der Unvorhersehbarkeit der künftigen sozioökonomischen Entwicklung und der Abbildung klimatischer Prozesse in Modellen und kommen durch Unsicherheitsbereiche (Bandbreiten) in den Ergebnissen zum Ausdruck. Um einen besseren Einblick in die Komplexität der Klimaprojektionen und die mit ihnen verbundenen Unsicherheiten zu erhalten, ist es empfehlenswert, die auf den Internetseiten zum Klimawandel zusammengestellten Informationen einzusehen (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/1285.htm, www.de-ipcc.de).

2.1 Grundaussagen der regionalen Klimaprojektionen

Regionale Klimamodelle liefern Informationen über die räumliche und zeitliche Differenzierung des projizierten globalen Klimawandels. Modellaussagen sind mit Unsicherheiten behaftet, denen mittels Modell-Ensembles begegnet wird. Im Ergebnis entsteht ein Projektionskorridor (Bandbreite), was einen erschwerten Umgang allgemein und insbesondere in der Klimafolgenabschätzung bedeutet. Dazu sei an dieser Stelle auf BERNHOFER ET AL. (2011) verwiesen (siehe www.rekis.org).

Für Sachsen liegt erstmalig ein Ensemble unterschiedlicher regionaler Klimaprojektionen mit dem für Klimafolgenuntersuchungen favorisierten Regionalmodell WEREX vor. Die 20 Modell-Läufe des WEREX-V-Ensembles umfassen mehrere Globalmodelle, Emissionsszenarien und Modellspezifikationen (s. KREIENKAMP ET AL., 2011).

Unter Annahme des moderaten Emissionsszenarios A1B wird eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 3,0 bis 3,5 Grad auf das Ende des 21. Jahrhunderts in Sachsen projiziert. Das politisch angestrebte 2-Grad-Ziel (Emissionsszenario E1) kann für Sachsen laut WEREX-V eine Bandbreite von 2,0 bis 2,5 Grad bedeuten. Es gilt unter Klimaforschern bereits als nicht mehr einhaltbar. Bei den Niederschlagssummen sind Änderungen derart zu erwarten, dass leichten Zunahmen im Winter vergleichsweise deutliche Abnahmen im Sommer (A1B: 20 bis 25 %, E1: 10 bis 15 %) gegenüberstehen. Letzteres hat ein erhöhtes Trockenheitsrisiko zur Folge, wobei hier Regionen in Nord- und Ostsachsen besonders im Fokus stehen.

Von BERNHOFER ET AL. (2014) wurden Bandbreiten von Kenngrößen für die Klimafolgenabschätzung im WEREX-V-Ensemble untersucht. Im Mittel werden ein deutlicher Anstieg der Minimum- und Maximumtemperaturen sowie ein Rückgang von Kälte- und eine Zunahme von Wärmeperioden für Sachsen in die Zukunft projiziert. Die Bandbreite der Projektionen wird mit zunehmendem Abstand von der Gegenwart größer. Für den Zeitraum 1971-2000 wurden die Kontrollläufe (C20) der Simulationen mit Messungen verglichen, wobei eine allgemein gute Übereinstimmung festgestellt wurde. Die Indizes für den (Stark-)Niederschlag werden im Vergleichszeitraum von den C20-Läufen des WEREX-V-Ensembles unterschätzt. Je nach Station werden unein-

heitliche Entwicklungen in die Zukunft projiziert, was in einer vergleichsweise großen Bandbreite zum Ausdruck kommt. Exemplarisch ist in Abbildung 1 die zeitliche Entwicklung der Heißen Tage an der Messstation Dresden-Klotzsche dargestellt.

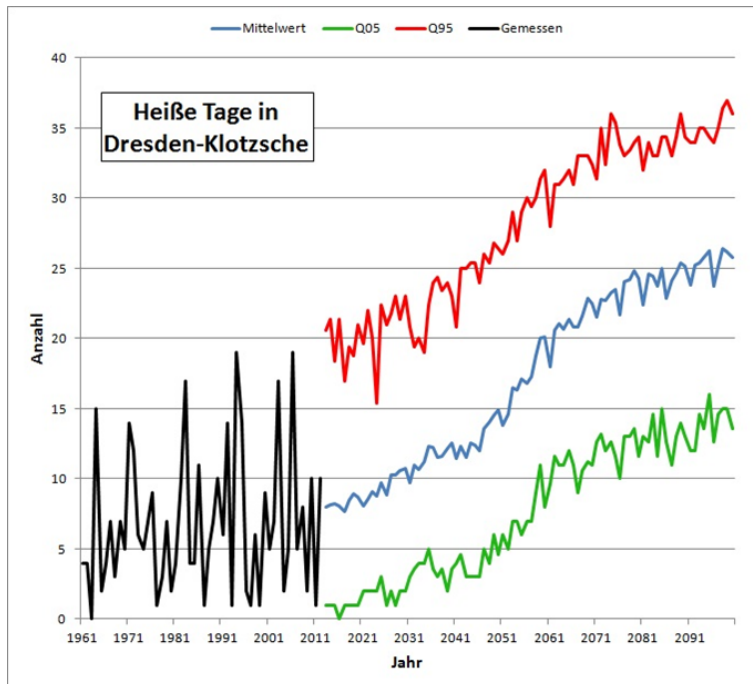


Abbildung 1: Entwicklung der jährlichen Anzahl Heißen Tage an der Messstation Dresden-Klotzsche von 1961 bis 2100, Daten: Messungen (schwarz) und WEREX-V-Ensemble (Bandbreite: rot: 95%-Perzentil, grün: 5%-Perzentil, blau: Mittelwert) (LfULG 2015)

Für Aussagen zur näheren Klimazukunft, insbesondere zur wahrscheinlichen Entwicklung von witterungsbedingten Extremereignissen, sind Erkenntnisse aus der regionalen Klimadiagnose unverzichtbar (s. Kap. 2.2). In Sachsen eilt die bereits stattfindende Klimaänderung der projizierten voraus.

2.2 Beobachtete Klimaentwicklung in Sachsen

Abbildung 2 zeigt die langjährig gemessene Entwicklung der Jahresmitteltemperatur und des Jahresniederschlages in Sachsen. Für die letzten 133 Jahre (1881-2013) zeigen beide Elemente eine nicht-lineare (polynomiale) Entwicklung, mit unterschiedlich stark ausgeprägten, dekadischen und 'von Jahr zu Jahr' Schwankungen. Der Niederschlag ist gegenüber der Temperatur in seinem raum-zeitlichen Auftreten sehr heterogen. Hervorzuheben ist, dass der deutliche Anstieg der Jahresmitteltemperatur von Zunahmen in den Jahresniederschlägen während der letzten 3 Dekaden (1981/90, 1991/00, 2001/10) begleitet ist. In den letzten beiden Dekaden trat eine auffällige Häufung der wärmsten Jahre auf.

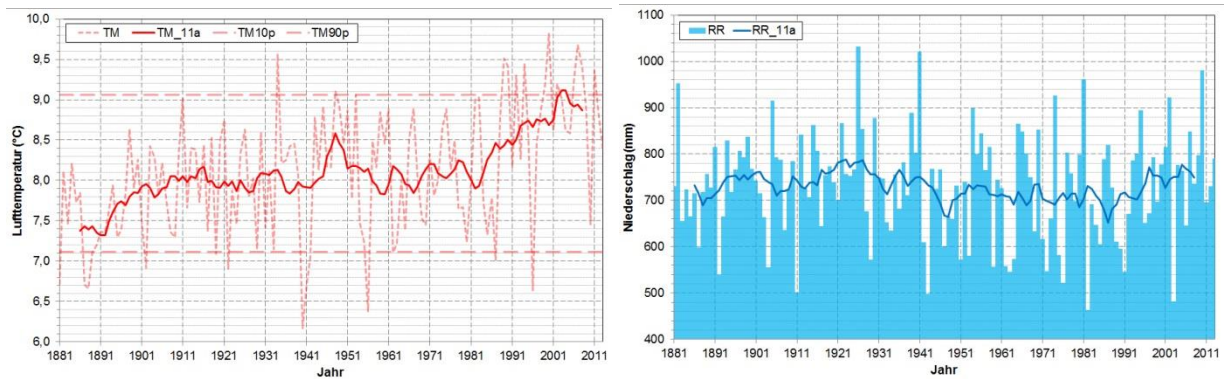


Abbildung 2: Flächenmittel der Jahresmitteltemperatur TM (°C) und des Jahresniederschlags RR (mm) in Sachsen für 1881-2013 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, "10p" bzw. "90p": 10%- bzw. 90%-Perzentil, "11a": um den mittleren Sonnenfleckenzyklus bereinigte Reihe)

Für Sachsen liegt eine Analyse der 50-jährigen Klimaentwicklung zwischen 1961 und 2010 vor (Franke 2014). In die Untersuchungen wurden „temperatur- und niederschlagsabgeleitete Indizes aus dem WMO-Katalog¹ und eine weiterführende Starkregenanalyse“ einbezogen (FRANKE 2014:1). „Insgesamt liegt für die Klimaelemente: Temperatur (Max, Min, Mittel), Niederschlag, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie für die komplexen Klimagrößen: potentielle Verdunstung, klimatische Wasserbilanz (potentielles Wasserdargebot), WMO-Indizes (z.B. Sommertage) und Starkregenereignisse vor:

- Gegenüberstellung der Klimanormalperioden 1961-1990 (WMO-Referenzperiode) und 1981-2010,
 - Erarbeitung der dekadischen Variabilität (1961-1970 bis 2001-2010),
 - Darstellung mit inner-/ jährlichem Bezug (Kalenderjahr, 4 Jahreszeiten, meteorologisches Winter- und Sommerhalbjahr mit Unterscheidung in Vegetationsperiode I und II).“
- (Franke 2014:1f)

„Für die Jahresmitteltemperatur in Sachsen wurde eine kontinuierliche Zunahme über die Dekaden festgestellt, mit einer Erhöhung von 1 °C zwischen der ersten und letzten Dekade (Tab. 1).“ (FRANKE 2014:2) Für die Temperaturverteilung in Sachsen bedeutet dies, dass sich die Isothermen (Linien, die Orte gleicher Temperatur miteinander verbinden) der Jahresmitteltemperatur während der letzten fünf Dekaden um ca. 100 Hm in höhere Lagen verschoben haben.

¹ WMO: World Meteorological Organization

Tabelle 1: Flächenmittel für Klimaelemente und -größen nach Mittelungszeiträumen in Sachsen (FRANKE 2014:3)

Klimaelement/ -größe	Klimanormalperioden		Dekaden				
	1961-1990	1981-2010	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Jahr (Jan-Dez):							
Lufttemperatur (°C)	8,1	8,7	7,9	8,1	8,4	8,7	8,9
Sommertage (Tmax > 25 °C)	28	35	30	25	30	35	40
Relative Sonnenscheindauer ¹ (%)	32	34	33	31	32	34	35
Vegetationsperiode I (Apr-Jun):							
Niederschlag (mm)	215	190	235	215	200	200	180
Potentielle Verdunstung (mm)	245	255	250	240	245	260	265
Klimatische Wasserbilanz (mm)	-30	-65	-15	-25	-45	-60	-85
Vegetationsperiode II (Jul-Sep):							
Niederschlag (mm)	215	240	215	220	215	240	270
Potentielle Verdunstung (mm)	250	260	255	245	255	265	265
Klimatische Wasserbilanz (mm)	-35	-20	-40	-25	-40	-25	+5

„Infolge des durchgreifenden Erwärmungstrends ist beispielsweise auch die Anzahl der Sommertage (Tmax > 25 °C) im Jahr, insbesondere außerhalb der Mittelgebirge, erheblich angestiegen, was zu einer erhöhten Hitzebelastung führt [Tabelle 1, Abbildung 3]. Mit dem erhöhten Temperaturniveau gehen auch flächendeckend Zunahmen der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen, insbesondere im Erzgebirge und dessen Vorland (Abbildung 4) in der Klimanormalperiode 1981-2010 gegenüber 1961-1990 einher. Im Vergleich der Klimanormalperioden hat die Sonnenscheindauer zugenommen (Tab. 1). In der dekadischen Entwicklung dieser Zunahme zeigt sich auch die Verbesserung der Luftqualität infolge eines verminderten Aerosolgehaltes.“ (FRANKE 2014:2)

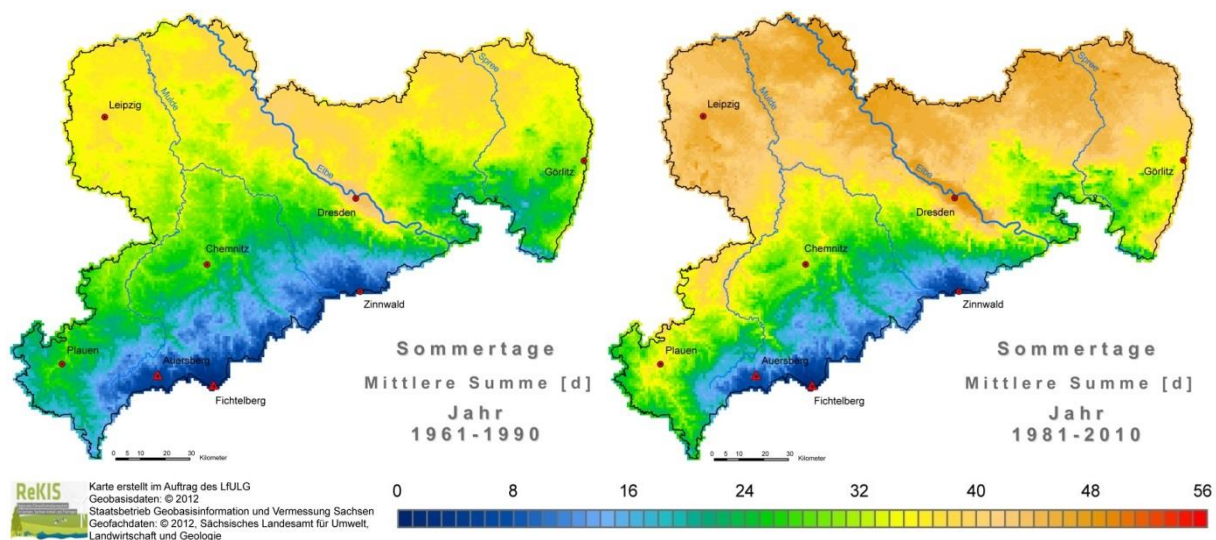


Abbildung 3: Mittlere Anzahl von Sommertagen (Tmax > 25 °C) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 28 Tage), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 35 Tage, d. h. +25 %)

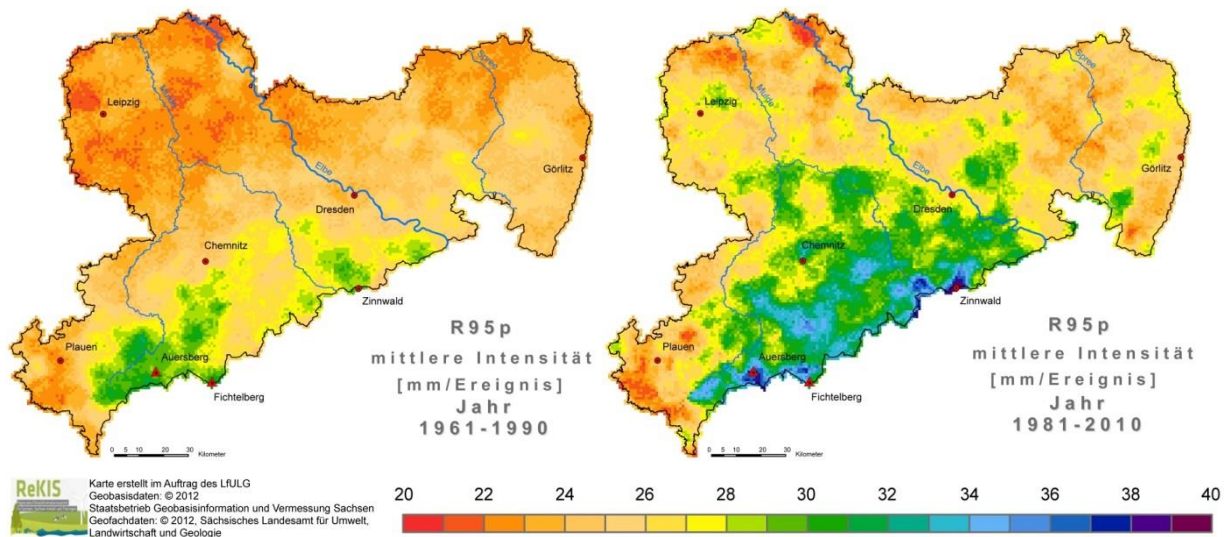


Abbildung 4: Mittlere Intensität (mm) pro Starkregenereignis (R95p) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 24,8 mm), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 27,2 mm, d. h. +10 %)

Der Niederschlag und seine Trends sind zeitlich und räumlich sehr variabel. „Beim Niederschlag wurden abnehmende Summen in der Vegetationsperiode I und zunehmende Summen in der Vegetationsperiode II als markantes Signal gemessen (Tab. 1). Diese gehen mit einer Verringerung bzw. Erhöhung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkregenereignissen einher (Abbildung 5).

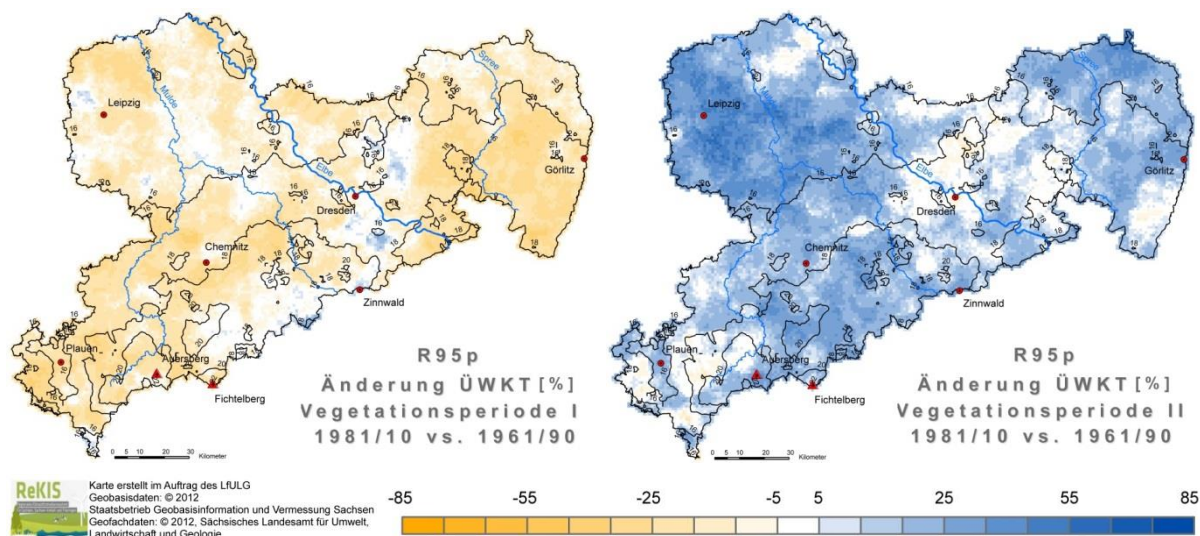


Abbildung 5: Änderung der Auftretenswahrscheinlichkeit ÜWKT (%) von Starkregenereignissen (R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Vegetationsperiode I (Flächenmittel: -15 %), rechts: Vegetationsperiode II (Flächenmittel: +18 %); Isolinien: Menge (mm) pro Tag für R95p, 1961-1990

In der Vegetationsperiode I weist die kontinuierlich zunehmende, negative klimatische Wasserbilanz (Verschlechterung des potentiellen Wasserdargebotes) auf ein erhöhtes Trockenheitsrisiko hin. Ursachen hierfür sind die bereits erwähnten Niederschlagsabnahmen in Kombination mit einer zunehmenden potentiellen Verdunstung (Tab. 1). Die Verbesserung der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode II ergibt sich

aus vergleichsweise hohen Zunahmen der Niederschlagssummen gegenüber denen der potentiellen Verdunstung (Tab. 1). Vor dem Hintergrund eines generell erhöhten Temperaturniveaus weist die Kombination aus gestiegenen Niederschlagssummen und Starkregenereignissen (Anzahl, Intensität) darauf hin, dass der Anteil von Starkregen an den Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode II zugenommen hat. Damit im Einklang steht die Schlussfolgerung, dass trockene Abschnitte zunehmend von Starkregenereignissen unterbrochen werden.“ (FRANKE 2014:4) Als Ursachen sind Änderungen in der atmosphärischen Zirkulation anzuführen. Während der Sommermonate wurde ein zunehmender Einfluss der subtropischen Hochdruckzelle in Mitteleuropa, infolge einer Nordverlagerung der 500 hPa-Luftdruckfläche (Höhenwetter), festgestellt. Analysen der 1000 hPa-Luftdruckfläche (Bodenwetter) haben gleichzeitig Zunahmen von Hochdruckwetterlagen über Mitteleuropa, infolge eines verstärkten Einflusses des Azorenhochs, ergeben (mündl. Mitt. KÜCHLER, 2014). Diese Konstellation führt zu einem erhöhten Risiko für witterungsbedingte Extreme (z. B: Hitzebelastung, Trockenheit, Starkregen; vgl. KÜCHLER & MELLENTIN 2011:32, 56, 57). Während der vergangenen Dekade 2001 bis 2010 traten ausgeprägte Trockenperioden (2003, 2006, 2007, 2010) sowie markante Sommer- und Winterhochwasser (2002, 2003, 2006, 2010) in Sachsen auf. In diesem Kontext geht der 5. Sachstandsbericht des IPCC davon aus, dass die Häufigkeit oder Intensität von Hitzewellen und Starkniederschlagsereignissen in Europa wahrscheinlich zugenommen hat (IPCC 2013B). Witterungsbedingte Extreme haben stärkere Auswirkungen als mittlere Klimatrends.

„Im Winter wurde für die Temperatur, den Niederschlag und für die klimatische Wasserbilanz eine ausgeprägte dekadische Variabilität in Sachsen festgestellt. Eine Ursache dafür ist, dass die gesamte Region hinsichtlich der globalen Klimaentwicklung in einer Übergangszone liegt. Durch den überproportionalen Anstieg der Temperatur in der Arktis wird der Temperaturunterschied zu den gemäßigten Breiten abgeschwächt. Dadurch nehmen auch der Druckunterschied (negativer NAO-Index) und damit die zonale, breitenkreisparallele Zirkulation ab. Somit können z. B. winterliche Kontinentalhochs häufiger wirksam werden, deren genaue Lagen den tatsächlichen Verlauf unserer Winter bestimmen. In Sachsen sollten im langjährigen Trend die Wintertemperaturen dennoch weiter zunehmen, wobei das Auftreten kalter Winter nicht so deutlich abnimmt, wie bisher angenommen. Damit nimmt die Variabilität der Winter tendenziell zu. So können sich milde, regenreiche Winter mit kalten und zeitweise schneereichen Wintern abwechseln.“ (FRANKE 2014:5)

2.3 Auswirkungen auf Natur und Landschaft

Die oben beschriebenen Klimaveränderungen einschließlich der Zunahme von Extrem-Wetterereignissen wie Hagel, Tornados, Starkniederschläge, Stürme und Hitze, wirken sich auf alle Belange von Natur und Landschaft, Wasser, Boden, die Landnutzungen und die menschliche Gesellschaft aus (Klimafolgen). Um diese Auswirkungen für Sachsen zu beschreiben, wird derzeit eine Vulnerabilitätsstudie erarbeitet. Diese Studie steht kurz vor der Veröffentlichung und wird auf den Internetseiten abrufbar sein (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/29993.htm). Auch ältere Studien, die sich auf bestimmte Aspekte der Klimafolgen beziehen wie z.B. Veränderungen der Biodiversität (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/natur/23610.htm), der Bodeneigenschaften und –funktionen (vgl. www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/15212.htm und www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/17376.htm) und der Wassertemperatur, liegen vor. Deren Grundaussagen bleiben vor dem Hintergrund der obigen Erläuterungen zu den Klimaprojektionen bestehen. Eine allgemein zusammenfassende Darstellung der Auswirkungen auf Natur und Landschaft findet man bei ALBERT ET AL. (2014:FG 2).

2.3.1 Klimawandel und Biodiversität

Der aktuell zu beobachtende Klimawandel wirkt sich bereits erkennbar auf Aspekte der biologischen Vielfalt aus. Wie die in ReKIS verfügbaren Auswertungen zeigen, hat sich der Beginn der Vegetationsperiode bereits nach vorn verschoben und insgesamt verlängert (Abbildung 6). Dies betrifft die Region um Leipzig in besonderem Maße.

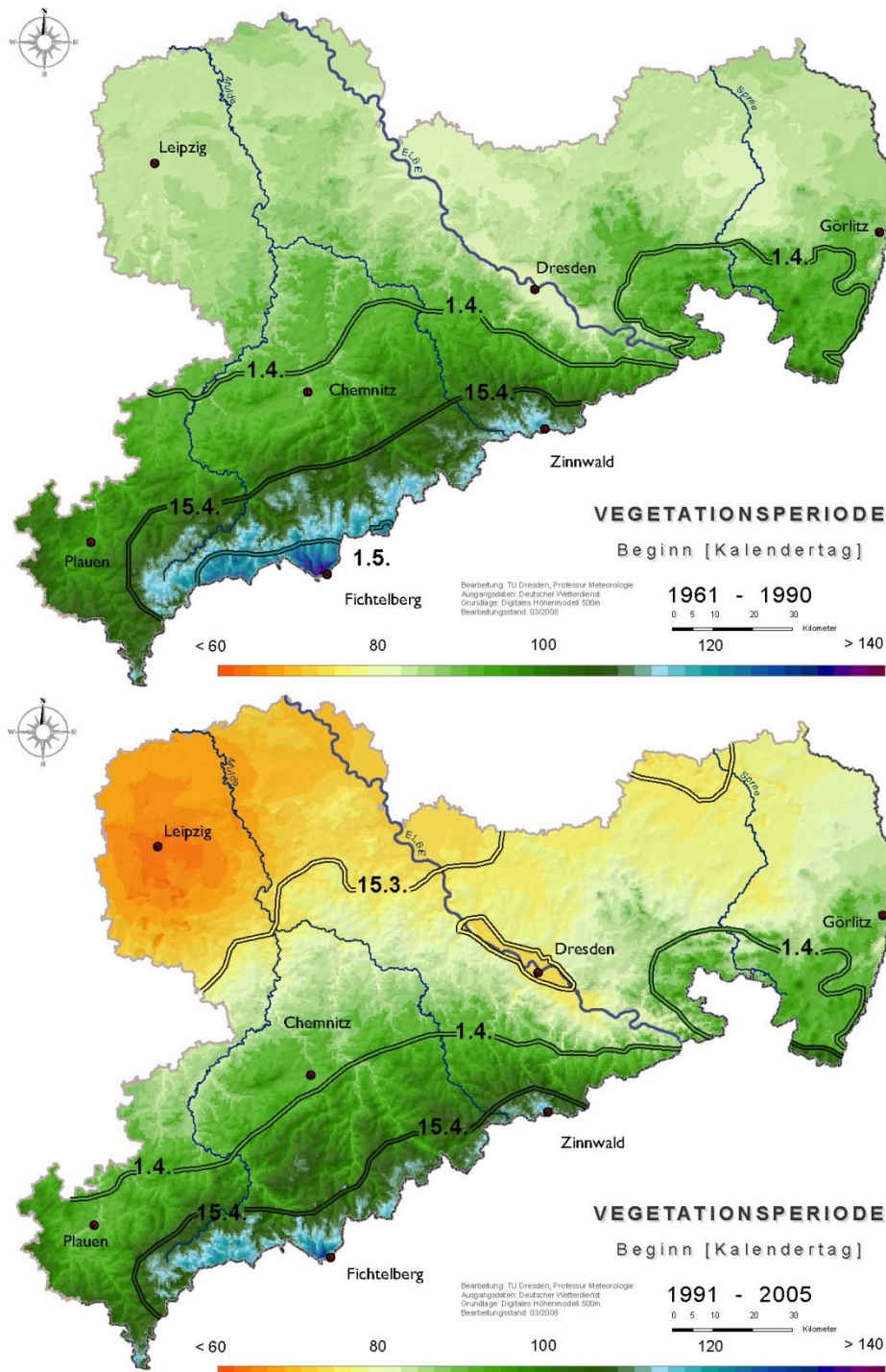


Abbildung 6: Früherer Eintritt der Vegetationsperiode 1991-2005 im Vergleich zu 1961-1990 (SMUL 2008)

Als Indikator für die mittel- und langfristige Auswirkung der Temperaturentwicklung auf Tier- oder Pflanzengemeinschaften wurde im Rahmen eines FuE-Vorhabens des LfULG

(www.umwelt.sachsen.de/umwelt/natur/32730.htm) der Community Temperature Index (CTI) eingeführt, der Verschiebungen in den Populationsgrößen von Arten in einer Artengemeinschaft als Antwort auf Klimaveränderungen widerspiegelt.

Der Community Temperature Index (CTI) berechnet sich als arithmetisches Mittel der nach ihrer Häufigkeit gewichteten Species Temperature Indices (STI) einer Artengemeinschaft in einer Zeiteinheit. Hierbei stellen die STI-Werte das arithmetische Mittel aus den Mitteltemperaturen eines gerasterten Verbreitungsareals innerhalb einer Referenzperiode dar, wofür zumindest europaweite Verbreitungskarten vorliegen müssen. STI-Werte existieren bislang nur für Vögel, Tagfalter und Libellen, sind aber grundsätzlich für jede Art(engruppe) mit entsprechender Kenntnis ihrer Verbreitung berechenbar.

Steigt der CTI mit der Zeitachse an, wie das bei Libellen (Abbildung 7) und Tagfaltern für Sachsen nachgewiesen wurde, dann hat sich das Verhältnis der Arten (bzw. ihrer Individuenzahlen/Datensätze) dahingehend verändert, dass Arten mit höheren STI-Werten anteilig zugenommen haben. Das bedeutet, dass Arten (bzw. ihre Individuenzahlen/ Datensätze) anteilmäßig zunehmen, die hinsichtlich ihres Verbreitungsbildes (auch) in wärmeren Regionen vorkommen, während Arten kühlerer Regionen zurückgehen. Eine signifikante Korrelation zwischen CTI und Jahresmitteltemperatur bringt zum Ausdruck, dass der CTI und damit die Zusammensetzung der Artengemeinschaft der klimasensitiven Artengruppe von der Temperatur abhängig ist.

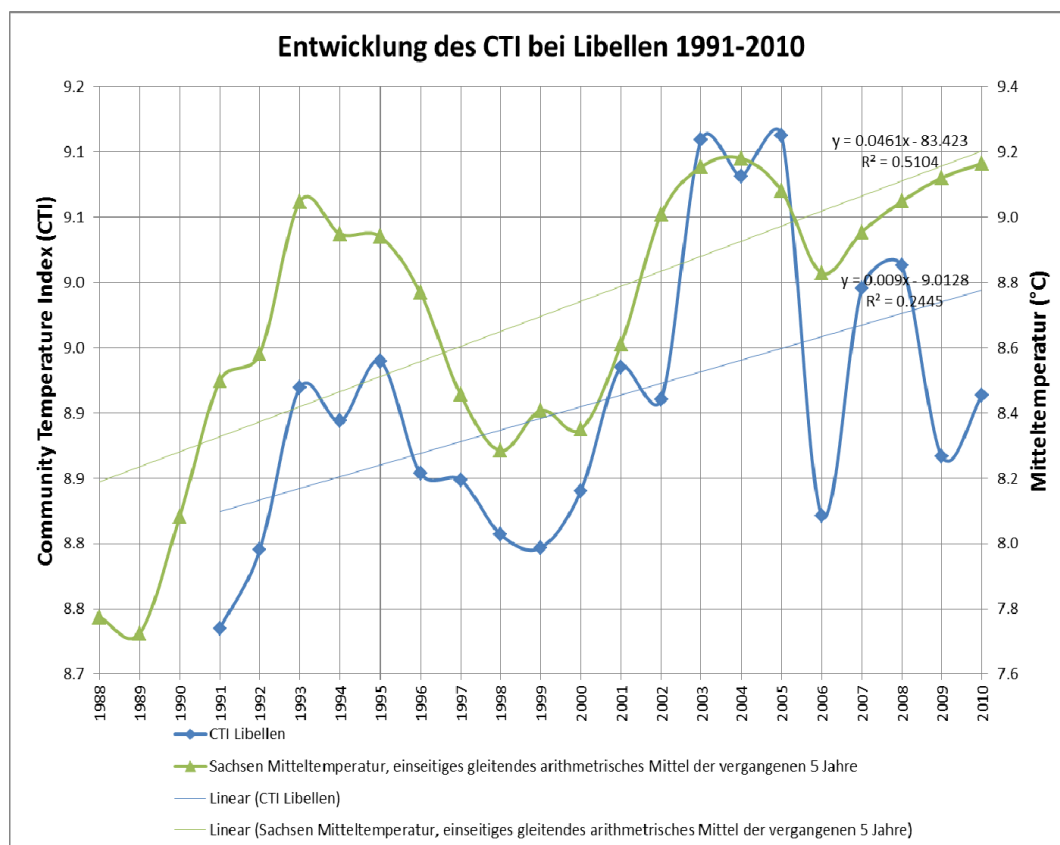


Abbildung 7: Entwicklung des Common Temperature Index (CTI) bei Libellen in Sachsen von 1991 bis 2010 im Vergleich zur Entwicklung der Jahresmitteltemperatur (WIEMERS ET AL. 2013:33, leicht verändert)

In den folgenden Kernthesen sind grundsätzliche Auswirkungen des Klimawandels auf Biodiversität und Naturschutz zusammengestellt. Weitere Ausführungen sind dem Kapitel „Erfassung und Bewertung – Biologische Vielfalt (Arten- und Biotopschutz)“ zu entnehmen.

- Biodiversitätsveränderungen infolge des Klimawandels werden in Zukunft auch in Sachsen an Bedeutung gewinnen.
- Ökosysteme und Arten sind bereits jetzt schon vielfältigen Beeinträchtigungen ausgesetzt, insbesondere durch die Art und Weise der Landnutzung. Klimawandel als zusätzlicher Wirkfaktor kann demgegenüber einerseits von geringerer Relevanz sein, andererseits aber auch die letztlich entscheidende Beeinträchtigung darstellen.
- Neben den direkten Effekten des Klimawandels werden Ökosysteme und Arten künftig mit Effekten durch eine veränderte Landnutzung zum Schutz des Klimas (Energiegewinnung aus Biomasse, Wind- und Wasserkraft) beziehungsweise in Anpassung an den Klimawandel (zum Beispiel Beregnung bei Sonderkulturen in der Landwirtschaft) konfrontiert. Dadurch können zusätzliche Konkurrenzen und Gefährdungen für die biologische Vielfalt entstehen.
- Viele Arten und Lebensraumtypen werden Veränderungen ihrer Häufigkeiten und Areale aufgrund von Klimaveränderungen erfahren. Diese Veränderungen können sowohl zu Abnahme bis hin zu regionalem Aussterben als auch zu Zunahme oder Neueinwanderung führen.
- Der Klimawandel wird direkte physiologische Wirkungen und indirekte ökologische Wirkungen entfalten. Diese werden sich beispielsweise in vermehrtem oder verringertem Wachstum, früheren phänologischen Terminen und veränderter Konkurrenzfähigkeit widerspiegeln. Durch sich verschiebende Phänologien werden sich bestehende Nahrungsnetze desynchronisieren/entkoppeln.
- Als langfristig besonders gefährdet durch den Klimawandel gelten Arten und Biotope, deren Habitate beziehungsweise Standorte verschwinden oder starken Veränderungen beziehungsweise Fragmentierungen unterliegen. Das ist beispielsweise für solche Arten und Biotope zu erwarten, die an kühle und feuchte Bedingungen angepasst sind (zum Beispiel Moore, hochmontan-subalpine Florenelemente). Bei wärmeliebenden und an Trockenheit angepassten Arten ist dagegen eher eine Ausbreitung nach Norden und in höhere Lagen der Gebirge wahrscheinlich (wenn geeignete Lebensräume vorhanden sind beziehungsweise entstehen) und teilweise schon zu beobachten (zum Beispiel bestimmte Libellen- und Heuschreckenarten).
- Die Geschwindigkeit des Klimawandels übersteigt für eine Vielzahl von Arten und Biotopen deren Ausbreitungs- beziehungsweise Anpassungsfähigkeit.
- Durch die unterschiedlichen Reaktionsgeschwindigkeiten beziehungsweise Ausbreitungsfähigkeiten kommt es wahrscheinlich zu einer räumlichen und zeitlichen Entmischung bisher bestehender Artengemeinschaften und damit zur Herausbildung neuartiger Lebensgemeinschaften. Hierzu werden auch Arten beitragen, die gegenwärtig in Deutschland noch nicht einheimisch sind, deren Areale sich aber als Folge der Klimaveränderung verschieben. Besondere Beachtung erfordern Neobiota, die bewusst oder unabsichtlich vom Menschen eingeführt/eingeschleppt wurden beziehungsweise zukünftig werden. Mit ihnen können Gefahren, aber auch Chancen verbunden sein. Gerade das Auftreten „jüngerer Neobiota“ ist häufig kritisch zu beurteilen.
- Je nach Lage der einzelnen Regionen, der dort projizierten Klimaveränderungen und der vorhandenen Artenpools sind die Auswirkungen des Klimawandels unterschiedlich einzuschätzen. Vieles ist im Hinblick auf die Folgewirkungen für die Biodiversität noch nicht genau bekannt. Deshalb sollten die Auswirkungen des Klimawandels auf Arten, Biotope und Lebensgemeinschaften zukünftig verstärkt untersucht (zum Beispiel im Rahmen eines entsprechenden Monitorings) und hinsichtlich ihrer Bedeutung abgeschätzt werden.

- Ferner ist mit dem Auftreten neuer Schadorganismen und deren Folgewirkungen zu rechnen.
- Mit der Änderung der Biodiversität ist eine Änderung bestimmter Ökosystemdienstleistungen wahrscheinlich, wie zum Beispiel Wasserdargebot und Selbstreinigungsfunktion, genetische Vielfalt, Landschaftsbild, Landnutzung und Erholungswert.
- Bestimmte Ökosysteme, wie zum Beispiel Wälder, wachsende Moore, Grünländer, können eine bedeutende Funktion als Speicher und Senken von Kohlenstoff übernehmen. Ihre Erhaltung ist wesentlich zur Vermeidung zusätzlicher CO₂-Emissionen.
- Auch vor dem Hintergrund des Klimawandels kommt einer hohen Artenvielfalt zunehmende Bedeutung zu.

2.3.2 Klimawandel und Boden

Die steigende Wahrscheinlichkeit von Trockenheitsphasen kann Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt haben. Infolge der in den Modellen gezeigte Tendenz zur Temperaturerhöhung in Kombination mit abnehmenden Niederschlägen und sinkender klimatischer Wasserbilanz in der ersten Vegetationsperiode (April bis Juni) kann sich das pflanzenverfügbare Bodenwasser bei Böden mit niedrigerer nutzbarer Feldkapazität verringern. Dies kann Auswirkungen auf die Vegetation und den Anbau von Pflanzen haben. Bei einem veränderten Bodenwasserhaushalt können Rückkoppelungseffekte zur Funktion der Böden als Kohlenstoffspeicher auftreten, da deren Senkenfunktion unter anderem von der Bodenfeuchte bestimmt wird.

Die Modelle zeigen außerdem eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkregenereignissen. Den vorhandenen Beobachtungen zufolge nehmen die Regenmengen mit ansteigendem Starkregenanteil in der Vegetationsperiode II zu. Setzt sich dieser Trend fort, verschärft sich die Gefahr der Wassererosion empfindlicher Böden.

Die vielfältigen Aspekte der Klimafolgen für den Boden waren Gegenstand von Veranstaltungen, deren Inhalte unter www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/14948.htm eingesehen werden können.

2.3.3 Klimawandel und Wasser (Landschaftswasserhaushalt/Gewässer)

Zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Landschaftswasserhaushalt sowie Grund- und Oberflächen-gewässer liegen umfangreiche Forschungsergebnisse vor (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/7041.htm). Hierzu wird insbesondere auf das noch laufende Forschungsprojekt **KLiWES** (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8214.htm) verwiesen. KLiWES untersucht die Auswirkungen der prognostizierten **Klimaänderungen** auf den **Wasser-** und **Stoffhaushalt** in den **Einzugsgebieten** der **sächsischen Gewässer**. Die Ergebnisse von KLiWES werden im Wasserhaushaltsportal Sachsen eingestellt (www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de). Heft 32/2014 der Schriftenreihe des LfULG stellt Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt dar (SCHWARZE ET AL. 2014).

Abnehmende Niederschläge, längere Vegetationsperioden und steigende Verdunstungsraten führen nach Modellberechnungen insbesondere in Nordsachsen zu einer starken Reduktion der Abfluss- und Grundwasserkomponenten. Für manche Einzugsgebiete wurden hier negative Jahressaldi berechnet, die langfristig den Grundwasserspiegel sinken lassen. (vgl. SCHWARZE ET AL. 2014, BALDY ET AL. 2013) Lang anhaltende Trockenperioden können u.U. die Grundwasserqualität verschlechtern, da geogene und anthropogene Stoffe konzentrierter vorliegen. (ALBERT ET AL. 2014: FG 2 04)

Ein vermindertes Abflussdargebot kann Fließgewässer mit kleinem Einzugsgebiet häufiger austrocknen lassen. In Kombination mit häufigeren und intensiveren Starkniederschlägen können die eingetragenen Nährstoffe die Gewässergüte von Fließ- und Standgewässern verschlechtern. (vgl. ALBERT ET AL. 2014: FG 2 03f)

3 Siedlungsklima

Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit werden durch das Bioklima, also die Gesamtheit aller auf lebende Organismen wirkenden Faktoren des Klimas, mitbestimmt. Belastungen treten vor allem in austauscharmen Becken- und Tallagen mit häufigen Inversionsereignissen auf und werden in Ballungsgebieten durch Luftschadstoffe noch weiter verstärkt. Aus klimaökologischer Sicht wird zwischen Wirkungsräumen und Ausgleichsräumen unterschieden.

■ Wirkungsräume:

- Bebaute und versiegelte Räume mit Wärme- und Schadstoffbelastung aufgrund der Auswirkungen strahlungsreicher Hochdrucklagen mit hoher Lufttemperatur bei geringer Luftbewegung, mit nachfolgender Akkumulation von Immissionen.
- In Ballungsräumen mit reduziertem bis fehlendem (thermischen) Luftaustausch, v. a. in austauscharmen Tal- und Beckenlagen verstärken sich die Belastungseffekte.
- Hohe sommerliche Wärmebelastung, verbunden mit der Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen (Inversionslagen) ist vor allem für das dicht besiedelte südliche Elbtal zu verzeichnen. Wärmebelastungen und häufige Inversionslagen gelten auch für den Leipziger Raum, die Industriestädte im Erzgebirgsbecken, für das untere Erzgebirge und sein Vorland sowie für den Raum Zittau.
- Es besteht Sanierungsbedarf sowie Entwicklungsbedarf durch Anbindung an wirksame Ausgleichsräume.

■ Ausgleichsräume:

- Den Wirkungsräumen räumlich-funktional benachbarte bzw. zuordenbare, unbebaute Räume mit klimaökologischen und lufthygienischen Ausgleichsvermögen, vor allem durch die Kaltluft- und Frischluftproduktion und deren Abfluss.
- Ausgleichsräume zeichnen sich durch fehlende bzw. deutlich geringere Wärme- und Schadstoffbelastung aus. Es besteht Erhaltungs- bzw. Schutz- oder Entwicklungsbedarf.

3.1.1 Entstehungs- und Abflussgebiete für Kalt- und Frischluft im Freistaat Sachsen

Kaltluftsammelgebiete, Kaltluftstaus und Kaltluftflüsse sowie Ausgleichs- und Wirkräume in Sachsen sind in der Karte »Bioklimatisch und lufthygienisch wirksame Räume« dargestellt. Aus der Sicht des Natur- und Landschaftsschutzes sind insbesondere folgende bioklimatischen und lufthygienischen Ausgleichsräume Sachsens von Bedeutung (vgl. Karte „Bioklimatisch und lufthygienisch wirksame Räume“, www.umwelt.sachsen.de/umwelt/natur/26256.htm):

- Unbewaldete und weitgehend unbebaute Gebiete für die Entstehung und den Abfluss von Kaltluft (weiße Flächen; Pfeile bezeichnen Bereiche mit dominierendem, starken Kaltluftfluss)
- größere Waldgebiete als bioklimatische und lufthygienische Ausgleichsräume (grüne Signatur)

Aus bioklimatischer Sicht wichtige Gebiete für die Entstehung und den ungehinderten Abfluss von Kaltluft sind die unbewaldeten Freiflächen des Elstergebirges und des Erzgebirges. Die Abflüsse dieser Kaltluft verlaufen über die Talsysteme des Vogtlandes und der Nordabdachung des Erzgebirges, vor allem in den Tälern von Göltzsch, Weißer Elster, Zwickauer und Freiburger Mulde und ihren Nebenflüssen sowie in den Tälern der Elbezuflüsse Gottleuba, Müglitz und in den Weißeritztälern. Weitere Kaltluftflüsse gehen von unbewaldeten Freiflächen des Lausitzer Berglandes, der Großenhainer Pflege und der Lösshügelländer aus. Weitere regional bedeutsame Kaltluftbahnen verlaufen in den Tälern von Spree (für den Raum Bautzen) und Neiße (von Zittau bis Görlitz). Für die Dresdner Elbtalweitung sind die südlichen (linken) Seitentäler der Elbe für die Kalt- und Frischluftzufuhr in die Stadtlandschaft unverzichtbar.

3.1.2 Waldgebiete mit landesweit bedeutsamer Klimaschutz- und Immissionsschutzfunktion

Städte mit mehr als 40.000 Einwohnern weisen besonders in austauscharmen Tal- und Beckenlagen Stadtklimate mit intensiven Belastungen auf. Allen Wäldern innerhalb und im Umfeld dieser Stadtgebiete kommt deshalb aus landesweiter Sicht eine besondere Klima- und Immissionsschutzfunktion zu.

Im sächsischen Tiefland konzentrieren sich größere Waldgebiete in den Naturräumen *Düben-Dahlener Heide*, *Königsbrück-Ruhlander Heiden*, *Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft* und *Muskauer Heide*. Aus Klimaschutzsicht von landesweiter Bedeutung sind Waldgebiete am *Südwestrand der Dübener Heide* (nordöstlich Eilenburg) sowie im Bereich *Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet/Muskauer Heide* (um Hoyerswerda).

Für die Stadtlandschaft Leipzig ist der *Elster-Luppe-Auenwald* in seiner unmittelbaren Stadtlage besonders bedeutsam. Weitere Ausgleichsräume im Leipziger Land sind u. a. die Waldbestände im *Parthegebiet*. Für das Nordsächsische Platten- und Hügelland sind *Wernsdorfer Forst*, *Thümmlitzwald* und *Colditzer Forst* zu nennen, im Mulde-Lösshügelland sind vor allem *Nonnenwald*, *Rossauer Wald*, *Zellwald* sowie *Hangwälder in den Flusstälern* als Ausgleichsräume ausschlaggebend.

Unverzichtbare Ausgleichsräume für die durch Luftschadstoffe belastete Stadtlandschaft im Talkessel der Dresdner Elbtalweitung sind *Friedewald und Junge Heide* für den Raum Meißen-Coswig-Radebeul, *Hangwälder an Elbe und Triebisch* südlich Meißen, die bewaldeten *Weißeritztäler* für das Freitaler Becken und besonders die *Dresdner Heide* als Kaltluft- und Frischluftbildner in naher Lage zur Landeshauptstadt.

Im ostsächsischen Bereich der Lössgefilde sind *Restwälder um Bautzen und Görlitz* als Klimaschutzwälder ausgewiesen.

In der dicht besiedelten und bevölkerungsreichen Landschaft Erzgebirgsbecken befinden sich Waldflächen mit landesweiter Klima- und Immissionsschutzfunktion um die Stadtlandschaften Chemnitz und Zwickau sowie um die Städte Meerane, Glauchau und Limbach-Oberfrohna.

Das Bergland weist bedeutende Waldanteile im *Oberen Vogtland*, in den *mittleren und oberen Lagen des Erzgebirges* (mit Konzentration im Westerzgebirge), in der *Sächsischen Schweiz*, im *Oberlausitzer Bergland* und im *Zittauer Gebirge* auf. In Südwestsachsen sind aus Klima- und Immissionsschutzsicht insbesondere Restwaldflächen um die Städte Plauen, Reichenbach und Auerbach (Vogtland) sowie Waldflächen bei Aue und um Annaberg-Buchholz im *Westerzgebirge* von Bedeutung. Für die ostsächsische Stadt Zittau in austauscharmer Beckenlage wurden die bewaldeten nördlichen Flanken des Zittauer Gebirges als klimarelevant eingestuft.

Unter stark reduzierten Luftaustauschbedingungen bilden sich in weiten Bereichen des nordsächsischen Tieflandes, in ebenen Lagen des Lösshügellandes sowie in Talsohlen Kaltluftsammlgebiete heraus. Bei fehlender oder sehr geringer Hangneigung kann kein Kaltluftabfluss stattfinden. Wird die Kaltluft in Flusstälern durch abriegelnde Bebauung oder Bewaldung am weiteren Abfluss behindert, entstehen Kaltluftstaus. Größere Kaltluftstaus treten u. a. in Talabschnitten der Zwickauer Mulde, der Weißen Elster, der Göltzsch, der Zschopau, der Flöha sowie im Spreetal auf. In Kaltluftsammlgebieten und Bereichen mit Kaltluftstaus können sich bei austauscharmen Wetterlagen Luftschadstoffe besonders aus bodennahen Emissionsquellen anreichern.

Gebiete mit erhöhter Inversionshäufigkeit (d. h. mit mehr als 235 Inversionstagen/Jahr) sind die *Leipziger Tieflandsbucht*, das *Elbtal* in gesamter Länge, das tief gelegene Gebiet der Oberlausitz *um Hoyerswerda* sowie *Braunkohlentagebaue im Oberlausitzer Revier*. Geringe bodennahe Durchlüftung sind kennzeichnend für die *Stadtlandschaft und den Südraum Leipzig*, *Talkessel mit größeren Städten* (Chemnitz, Plauen, Zwickau, Aue, Glauchau, Crimmitschau, Meerane) sowie *Fluss-Talsohlen im Hügel- und Bergland* (Mulden, Zschopau, Chemnitz, Elbe und Nebenflüsse).

4 Schutzwürdigkeit

4.1 Klima allgemein

Wie aus den Beschreibungen zu den Funktionen des Klimas im Naturhaushalt sowie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Landschaft deutlich wird, ergeben sich aus den sich schnell vollziehenden Veränderungen unter den Bedingungen der aktuellen Landnutzung Gefährdungspotenziale für Biodiversität, Landschaftswasserhaushalt und Gewässer sowie die Nutzungsmöglichkeiten der Kulturlandschaft. Daher sind sowohl Maßnahmen des Klimaschutzes als auch der Klimaanpassung erforderlich. Dies gilt aus naturschutzfachlicher Sicht insbesondere für ausgleichend wirkende Ökosysteme wie Wälder und Gewässer und Ökosysteme mit herausgehobener Funktion als Speicher und Senken von Kohlenstoff wie insbesondere naturnahe Wälder, Moore und andere Feuchtgebiete sowie Grünland allgemein.

4.2 Siedlungsklima

Vor dem Hintergrund steigender Hitzetage haben Ausgleichsräume und ein funktionierender Luftaustausch für das Siedlungsklima eine hohe Bedeutung. Der steigenden Hitzebelastung, die besonders in stark versiegelten Gebieten der Stadtlandschaften auftreten kann, können in räumlicher Nähe angeordnete Gehölz- und Wasserflächen, die Oaseneffekte erzeugen, entgegenwirken.

Literaturverzeichnis

- ALBERT, E.; BOBETH A.; HAUSMANN, A.; KRAATZ, M.; KÜCHLER, W.; LATTASCHKE, G.; MAYR-BEDNARZ, B.; MELLENTIN, U.; MÜLLER, E.; VON RECHENBERG, I.; RIEHL, G.; VÖLLINGS, A. (2014): Kompendium Klima. Sachsen im Klimawandel.- herausgegeben vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,- Dresden.- <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/24253.htm>, Zugriff am 05.08.2014.
- BALDY, A.; SCHWARZE, R.; WINKLER, P.; HAUFFE, C. (2013): KLIWES – ERGEBNISSE FÜR DEN REZENTEN UND ZUKÜNFTIG ZU ERWARTENDEN WASSERHAUSHALT IN SACHSEN.- VORTRAG 3. WORKSHOP WES.- <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/04-05 - Baldy-Hauffe.pdf>
- BERNHOFER, CH.; MATSCHULLAT, J.; BOBETH, A. (HRSG.) (2011): Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. RHOMBOS-Verlag, Berlin, 112 Seiten.
- BERNHOFER, CH.; FRANKE, J.; KÖRNER, P.; DONIX, T. (2014): Bandbreiten regionaler Klimaprojektionen für Sachsen hinsichtlich relevanter Kenngrößen für die Klimafolgenabschätzung. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
- FRANKE, J. (2014): Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen – sung. - http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/TrendAnaSN_Zusammenfassung_Projektseite_final.pdf, Zugriff am 12.08.2014.
- IMBERY, F. & PLAGEMANN, S. (2011): Die neuen RCP-Szenarien für den 5. IPCC richt.- http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KUPK/Homepage/Klimawandel/Klimaszenarien_Zukunft/Emissionsszenarien/SzenarienRCP_PDF,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/SzenarienRCP_PDF.pdf, Zugriff am 08.08.2014.
- IPCC (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, (Hrsg.),- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA.- Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle,- Bern/Wien/Berlin, 2007.
- IPCC (2013a): Fünfter Sachstandsbericht des IPCC.- Teil 1 (Wissenschaftliche Grundlagen).- Zusammenfassung und Kernbotschaften.- Letzte Änderung am 8.10.2013 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/kernbotschaften_des_fuenften_sachstandsberichts_des_ipcc.pdf, Zugriff am 07.08.2014.
- IPCC (2013b): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2013: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 Seiten. Deutsche Übersetzung durch ProClim, Deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, Bern/Bonn/Wien, 2014,- http://www.de-ipcc.de/_media/IPCC_AR5_WG1_SPM_deutsch_WEB.pdf, Zugriff am 26.11.2014.
- KREIENKAMP, F.; SPEKAT, A.; ENKE, W. (2011): WEREX V - Bereitstellung eines Ensembles regionaler Klimaprojektionen. Endbericht zum FuE-Vorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

- KRIEGLER, E. (o.J.): Die neuen RCP-Szenarien für den kommenden 5. IPCC-Sachstandsbericht,- <http://www.klimanavigator.de/dossier/artikel/012038/index.php>, Zugriff am 12.08.2014.
- KÜCHLER, W. & MELLENTIN, U. (2011): Neuartige Witterungsextreme – Impulsvortrag zum Expertenworkshop zur Entwicklung von Extremereignissen am 15. und 16. 12. 2011 in Dresden. http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Mellentint_Impuls_151211.pdf, Zugriff am 05.08.2014.
- LFULG – SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (2015): Bandbreiten regionaler Klimaprojektionen für Sachsen. Schriftenreihe (i. Vorbg.).
- MOSS, R.; BABIKER, M.; BRINKMAN, S.; CALVO, E.; CARTER, T.; EDMONDS, J.; ELGIZOULI, I.; EMORI, S.; ERDA, L.; HIBBARD, K.; JONES, R.; KAINUMA, M.; KELLEHER, J.; LAMARQUE, J. F.; MANNING, M.; MATTHEWS, B.; MEEHL, J.; MEYER, L.; MITCHELL, J.; NAKICENOVIC, N.; O'NEILL, B.; PICHES, R.; RIAHI, K.; ROSE, S.; RUNCIL, P.; STOUFFER, R.; VAN VUUREN, D.; WEYANT, J.; WILBANKS, T.; VAN YPERSELE, J. P.; ZUREK, M. (2008): Towards New Scenarios for Analysis of Emissions-, Climate Change, Impacts, and Response Strategies.- Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp. <http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-report-scenarios.pdf>
- SCHWARZE, R.; HAUFFE, C.; BALDY, A.; WAGNER, M.; WINKLER, P. (2014): Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen.- Schriftenreihe des LFULG, Heft 32/2014, 112. S.- <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23236>
- SMUL – SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Eigenverlag, Dresden, 211 Seiten.
- VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J.-F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S.K. (2011): The representative concentration pathways: an overview,- in: Climatic Change (2011) 109:5–31, http://download.springer.com/static/pdf/740/art%253A10.1007%252Fs10584-011-0148-z.pdf?auth66=1407932491_1ce15dbaf13f78d1eb96a7ae5ac0d071&ext=.pdf, Zugriff am 11.08.2014.
- WIEMERS, M.; MUSCHE, M.; STRIESE, M.; KÜHN, I.; WINTER, M.; DENNER, M. (2013): Monitoring Klimawandel und Biodiversität – Konzeption.- Schriftenreihe des LFULG 25/2013.- <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/20294>
- WINTER, M.; MUSCHE, M.; STRIESE, M.; KÜHN, I. (2013): Monitoring Klimawandel und Biodiversität – Grundlagen.- Schriftenreihe des LFULG 24/2013.- <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/20293>

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autor:

Dr. Johannes Franke
Abteilung 5/Referat 51
Telefon: +49 351 2612-5116
Telefax: +49 351 2612-5099
E-Mail: andrea.hausmann@smul.sachsen.de

Dr. Rolf Tenholtern, Annette Decker
Referat 61 – Landschaftsökologie, Flächennaturschutz
Telefon: +49 3731 294-2101
Telefax: +49 3731 294-2099
E-Mail: Rolf.Tenholtern@smul.sachsen.de
Annette.Decker@smul.sachsen.de,
Abteilung6-LfULG@smul.sachsen.de

Redaktion:

Annette Decker
Referat 61 – Landschaftsökologie, Flächennaturschutz
Telefon: +49 3731 294-2101
Telefax: +49 3731 294-2099
E-Mail: Annette.Decker@smul.sachsen.de,
Abteilung6-LfULG@smul.sachsen.de

Titelbild:

Blick auf Beerheide im Vogtland, Andrea Hausmann

Redaktionsschluss:

19.12.2014

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/natur/22472.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.