

Klimawandel in Sachsen - wir passen uns an!



Inhalt

Vorwort.....	5
Klimaentwicklung in Sachsen – Stand und Ausblick.....	6
Anpassung an den Klimawandel – Betroffenheiten und Maßnahmen.....	20
Landwirtschaft.....	26
Landwirtschaft und Klimawandel.....	28
Auswirkungen des Klimawandels.....	29
Anpassung an den Klimawandel.....	35
Boden.....	44
Boden und Klimawandel.....	46
Auswirkungen des Klimawandels.....	46
Anpassung an den Klimawandel.....	55
Wald und Forstwirtschaft.....	56
Wald, Forstwirtschaft und Klimawandel.....	58
Auswirkungen des Klimawandels.....	60
Anpassung an den Klimawandel.....	70
Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft.....	80
Wasserhaushalt und Klimawandel.....	82
Auswirkungen des Klimawandels.....	82
Anpassung an den Klimawandel.....	87
Biologische Vielfalt und Naturschutz.....	100
Biologische Vielfalt und Klimawandel.....	102
Auswirkungen des Klimawandels.....	103
Anpassung an den Klimawandel.....	111
Raumordnung.....	114
Raumordnung und Klimawandel.....	116
Auswirkungen des Klimawandels.....	118
Fazit.....	123
Klimafolgenmonitoring Sachsen.....	124
Ausblick.....	130
Glossar, Tabellen-, Abbildungs- und Literaturverzeichnis.....	134

Vorwort



Der Klimawandel ist eine globale Herausforderung, seine Auswirkungen zeigen sich jedoch in ihrer Ausprägung und ihrem Ausmaß vor allem regional und lokal. Auch Sachsen ist vom Klimawandel betroffen. Steigende Jahresmitteltemperaturen, häufigere Wetterextreme wie Starkregen und ausgeprägte Trockenperioden sowie eine zunehmend angespannte klimatische Wasserbilanz führen uns vor Augen, dass sich auch Sachsen mit dem Klimawandel auseinandersetzen muss. Deshalb müssen wir uns darauf einstellen, die Klimaentwicklung zu beobachten, die Folgen zu bewerten und rechtzeitig die richtigen Anpassungsmaßnahmen einzuleiten.

Der Klimawandel trifft nicht alle sächsischen Regionen in gleichem Maße und gleicher Intensität. Neben der Topografie prägt auch der von West nach Ost zunehmende kontinentale Klimateinfluss Unterschiede aus. Regionale Besonderheiten wie Bodenverhältnisse, Baumartenzusammensetzung, spezifische Arten und Lebensräume verschärfen, kompensieren oder mindern zusätzlich die Auswirkungen des Klimawandels und führen zu erheblichen Risiken, aber auch zu Chancen für Sachsen.

Der globale Klimawandel fordert uns jedoch nicht nur heraus, uns an die heute bereits unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anzupassen, sondern vor allem auch die Treibhausgasemissionen spürbar zu mindern und damit die Auswirkungen der Klimaveränderungen einzudämmen. Mit dem Energie- und Klimaprogramm verfolgt Sachsen deshalb die folgenden klimapolitischen Strategien:

- Klimaentwicklung beobachten und Klimawissen bereitstellen,
- Betroffenheiten ermitteln, Klimafolgen bewerten und Anpassungsstrategien entwickeln,
- Treibhausgasemissionen mindern.

Nur durch konsequentes und gezieltes Handeln werden wir den Risiken des Klimawandels in Sachsen wirksam begegnen. Sachsen setzt deshalb seine erfolgreiche Klimaschutzpolitik mit dem Energie- und Klimaprogramm 2012 fort, die 2001 mit dem ersten Sächsischen Klimaschutzprogramm begonnen und mit dem Aktionsplan Klima und Energie 2008 weiterentwickelt wurde.

In dieser Broschüre werden erstmals für Sachsen in einem umfassenden Überblick die jeweiligen Betroffenheiten der verschiedenen Umweltmedien und Landnutzungen vom Klimawandel dargestellt und erläutert. Darüber hinaus werden nicht nur bereits eingeleitete, umgesetzte bzw. sich in Planung befindliche Anpassungsmaßnahmen vorgestellt, sondern auch Handlungsoptionen für die Zukunft aufgezeigt.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Th. Schmidt'.

Thomas Schmidt
Sächsischer Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft

Klimaentwicklung in Sachsen – Stand und Ausblick



*Die schönen warmen Abende im Freien
werden häufiger - wer denkt schon daran,
dass damit auch heftigere Gewitter
einhergehen, mehr Tornados, intensivere
Sturzfluten, mehr Hitzetote?*

*Professor Hartmut Graßl,
Physiker und Meteorologe,
Mai 2015*

Autor: Dr. Johannes Franke, LfULG

Globaler Klimawandel



Laut 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates IPCC (2013/2014) besteht weltweit wissenschaftlicher Konsens, dass der Klimawandel stattfindet und mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 95 % durch den Menschen verursacht ist. „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, 2014). Im 5. Sachstandsbericht wird betont, dass die Belege für den Klimawandel und seine Ursachen noch umfassender und sicherer sind als im 4. Sachstandsbericht (IPCC, 2007). Der Klimawandel ist im gesamten Klimasystem – Atmosphäre, Ozeane, Kryosphäre – nachweisbar.

Regionale Auswirkungen des globalen Klimawandels in Sachsen

Die Entwicklung des sächsischen Klimas seit den 1960er Jahren zeigt eine hohe natürliche Variabilität. Diese wird aber zunehmend von mittleren Trends der Erwärmung überlagert, was komplexe Auswirkungen zur Folge hat.

Ursachen dafür sind Änderungen in der atmosphärischen Zirkulation als Folge des globalen Temperaturanstieges (s. Abb. 2). Vor diesem Hintergrund haben die sog. Omega-Wetterlagen eine besondere Bedeutung, da sie sich

nur langsam verschieben (Blocking-Situation) und dadurch über längere Zeiträume unser Wetter bestimmen. Im Sommer bewirkt die Omega-Lage im Bereich des Hochdruckgebietes eine ausgeprägt trockene und warme Witterung bis hin zu Hitzewellen und Dürren, im Winter dagegen sehr kalte Temperaturen bis hin zu Kältewellen. Im Bereich der beiden, das Hochdruckgebiet flankierenden Tiefdruckgebiete führt die Omega-Lage zu ergiebigen Niederschlägen und Unwettern im Sommer wie im Winter.

Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, dass der Klimawandel mit dem Risiko einer Zunahme witterungsbedingter Extreme in Sachsen einhergeht, die aber nur mit besonderen Verfahren erkennbar werden. Zur Untersuchung dieser Extreme werden von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) Indizes empfohlen, die teilweise auch auf dem Perzentil-Ansatz basieren. Eine aktuelle Starkregenanalyse für den Freistaat verwendet deshalb auch das 90- und 95-Perzentil (R90p, R95p). Diese Größen beschreiben den in die Untersuchungen einbezogenen Datenumfang, d. h. hier die größten 10 % bzw. 5 % der vorhandenen Messwerte.

In den letzten 134 Jahren (1881-2014) zeigt die Jahresmitteltemperatur in Sachsen eine nicht-lineare Entwicklung mit unterschiedlich stark ausgeprägten Schwankungen von Jahr zu Jahr - und einer Zunahme seit ca. 4 Jahrzehnten (s. Abb. 1). In diesem Zeitraum war jede Dekade wärmer als die vorherige und in den letzten beiden Dekaden trat eine auffällige Häufung der wärmsten Jahre in Sachsen auf (s. Abb. 1, 2). Die aktuelle Klimaprojektion für Sachsen (WEREX-V-Ensemble, 2011) zeigt, dass von einer Fortsetzung dieser Temperaturentwicklung ausgegangen werden kann. Die Dekade 2001-2010 war sowohl global wie auch für Deutschland und für Sachsen die wärmste seit 1881, wobei eine weitgehend ähnliche Entwicklung aus Abbildung 2 sichtbar wird. Das Jahr 2015 ist auf dem Weg, das wärmste Jahr

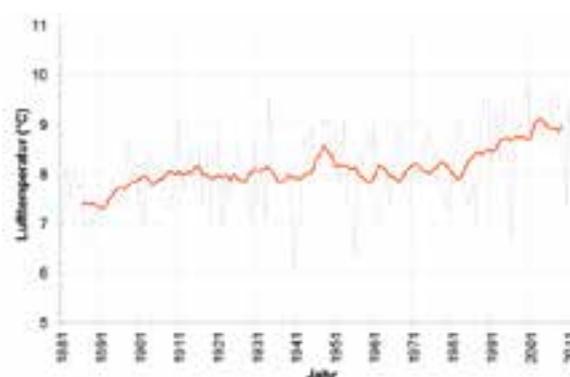


Abbildung 1: Jahresmitteltemperatur (°C) in Sachsen 1881-2014, Hinweis: Das 11-jährig gleitende Mittel (fett) filtert den mittleren Sonnenfleckenzyklus (natürliche Klimavariabilität). Somit wird die langfristige Entwicklung besser erkennbar, da unabhängiger von Einzeljahren. Daten: DWD

seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen zu werden. Für die Jahresmitteltemperatur in Sachsen wurde eine Zunahme von 0,6°C in der Klimanormalperiode 1981-2010 gegenüber 1961-1990 und eine kontinuierliche Erwärmung über die Dekaden von 1961 bis 2010 festgestellt, mit einer Erhöhung von rd. 1°C zwischen der ersten und letzten

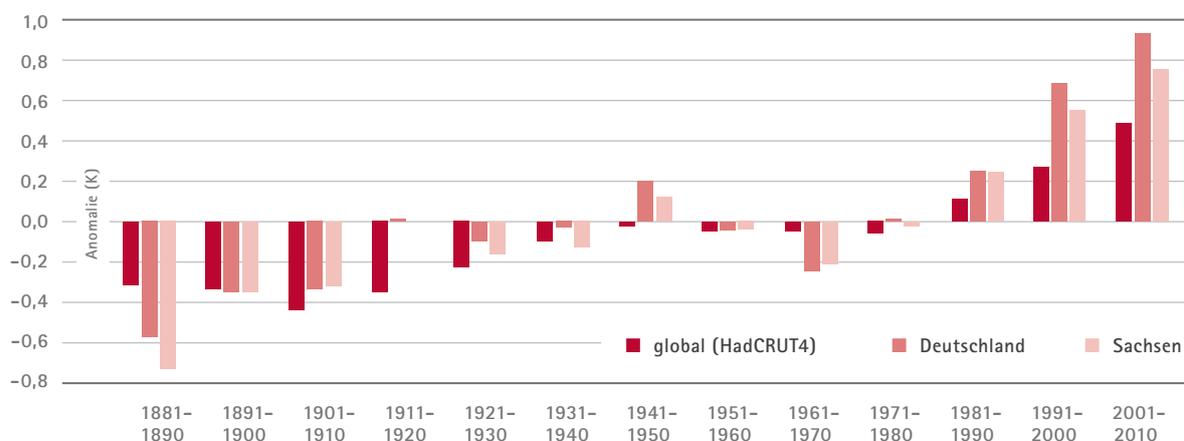


Abbildung 2: Abweichungen der Jahresmitteltemperatur (in K) gegenüber 1961 – 1990 für die Dekaden 1881 bis 2010 in Sachsen, Deutschland und global, Daten: DWD, Hadley Centre

Dekade (Tabelle 1, Abb. 3, 10). Infolge dieses Erwärmungstrends ist beispielsweise auch die Anzahl der Sommertage (Tage mit einer Maximaltemperatur über 25°C) im Jahr, insbesondere außerhalb der Mittelgebirge, erheblich angestiegen, was zu einer erhöhten Hitzebelastung führt (Tabelle 1, Abb. 4, 11). Mit dem erhöhten Temperaturniveau gehen auch weitgehend flächendeckend Zunahmen der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen in der Klimanormalperiode 1981-2010 gegenüber 1961-1990 einher (s. Abb. 5). Im Vergleich der Klimanormalperioden hat

auch die Sonnenscheindauer zugenommen, wobei die Entwicklung über die Dekaden auch die Verbesserung der Luftqualität infolge eines verminderten Aerosolgehaltes zeigt (s. Tab. 1).

Beim Niederschlag wurden in Sachsen seit 1961 abnehmende Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode I (April bis Juni) und zunehmende Summen in der Vegetationsperiode II (Juli bis September) gemessen (Tabelle 1, Abb. 6, 7, 12, 13). Diese gehen mit einer Verringerung bzw. Erhöhung

Tabelle 1: Flächenmittel für Klimaelemente und -größen und deren Änderungen gegenüber der Referenzperiode 1961-1990 in Sachsen (Hinweis: Änderungen sind grau hinterlegt und scheinbare Inkonsistenzen beruhen auf Rundungsungenauigkeiten)

Klimaelement/ -größe	Klimanormalperiode				Dekade			
	1961-1990	1981-2010	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	
Jahr (Januar-Dezember):								
Lufttemperatur	(°C)	8,1	8,7	7,9	8,1	8,4	8,7	8,9
	(K)		+0,6	-0,2	0	+0,3	+0,6	+0,8
Sommertage (Tmax > 25 °C)		28	35	30	25	30	35	40
	(%)		+25	+6	-11	+6	+25	+43
Relative Sonnenscheindauer ¹	(%)	32	34	33	31	32	34	35
	(%)		+2	+1	-1	0	+2	+3
Vegetationsperiode I (April-Juni):								
Niederschlag	(mm)	215	190	235	215	200	200	180
	(%)		-12	+9	0	-7	-7	-16
Potenzielle Verdunstung	(mm)	245	255	250	240	245	260	265
	(%)		+4	+2	-2	0	+6	+8
Klimatische Wasserbilanz	(mm)	-30	-65	-15	-25	-45	-60	-85
	(mm)		-35	+15	+5	-15	-30	-55
Vegetationsperiode II (Juli-September):								
Niederschlag	(mm)	215	240	215	220	215	240	270
	(%)		+12	0	+2	0	+12	+26
Potenzielle Verdunstung	(mm)	250	260	255	245	255	265	265
	(%)		+4	+2	-2	+2	+6	+6
Klimatische Wasserbilanz	(mm)	-35	-20	-40	-25	-40	-25	+5
	(mm)		+15	-5	+10	-5	+10	+40

¹ relative Sonnenscheindauer: Anteil gemessener an maximal möglicher Sonnenscheindauer

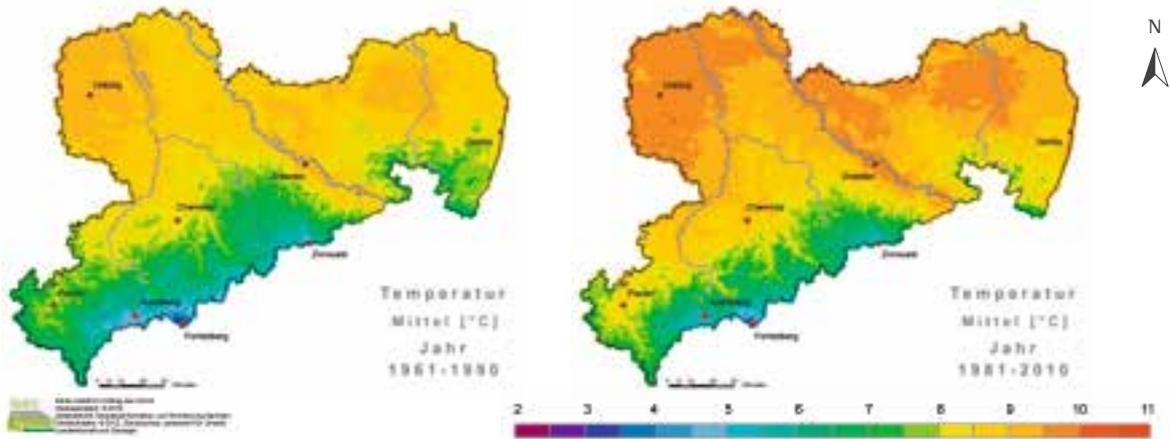


Abbildung 3: Jahresmittel der Lufttemperatur (°C) in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 8,1 °C), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 8,7 °C, d.h. +0,6 K)

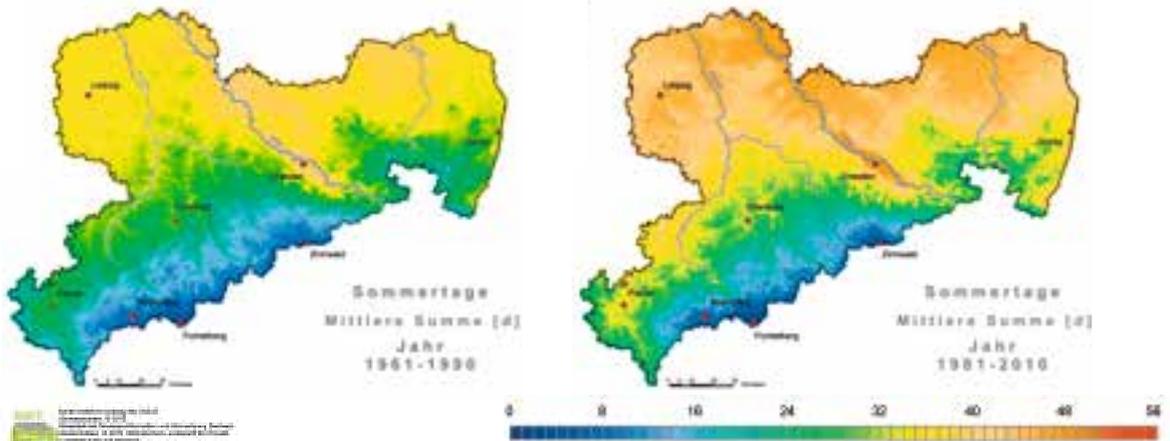


Abbildung 4: Mittlere Anzahl von Sommertagen (Tmax > 25 °C) im Jahr in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 28 Tage), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 35 Tage, d.h. +25 %)

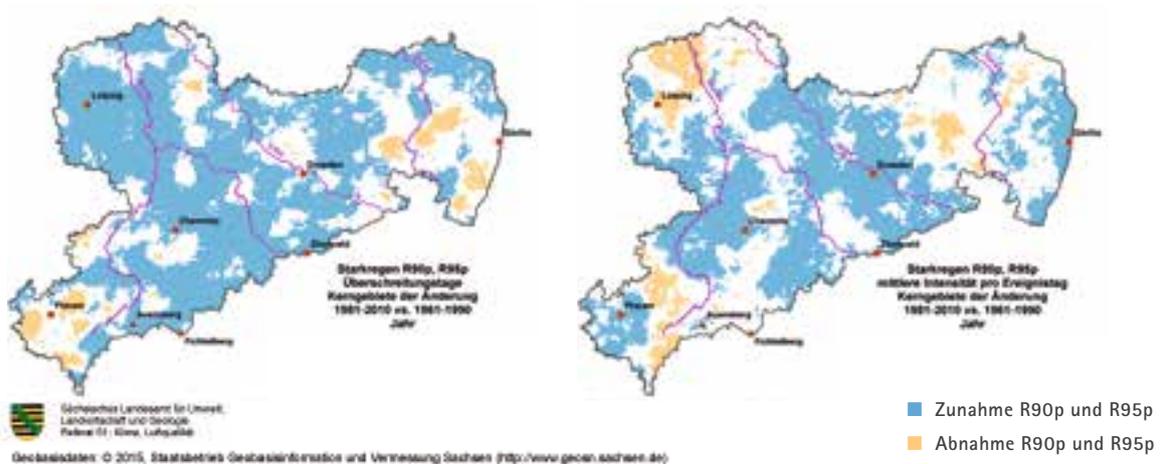


Abbildung 5: Kerngebiete der Änderungen für Starkregeneignisse (R90p und R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Anzahl der Überschreitungstage (Verhältnis Zu-/Abnahme 12:1), rechts: mittlere Intensität pro Ereignis (Verhältnis Zu-/Abnahme 6:1)

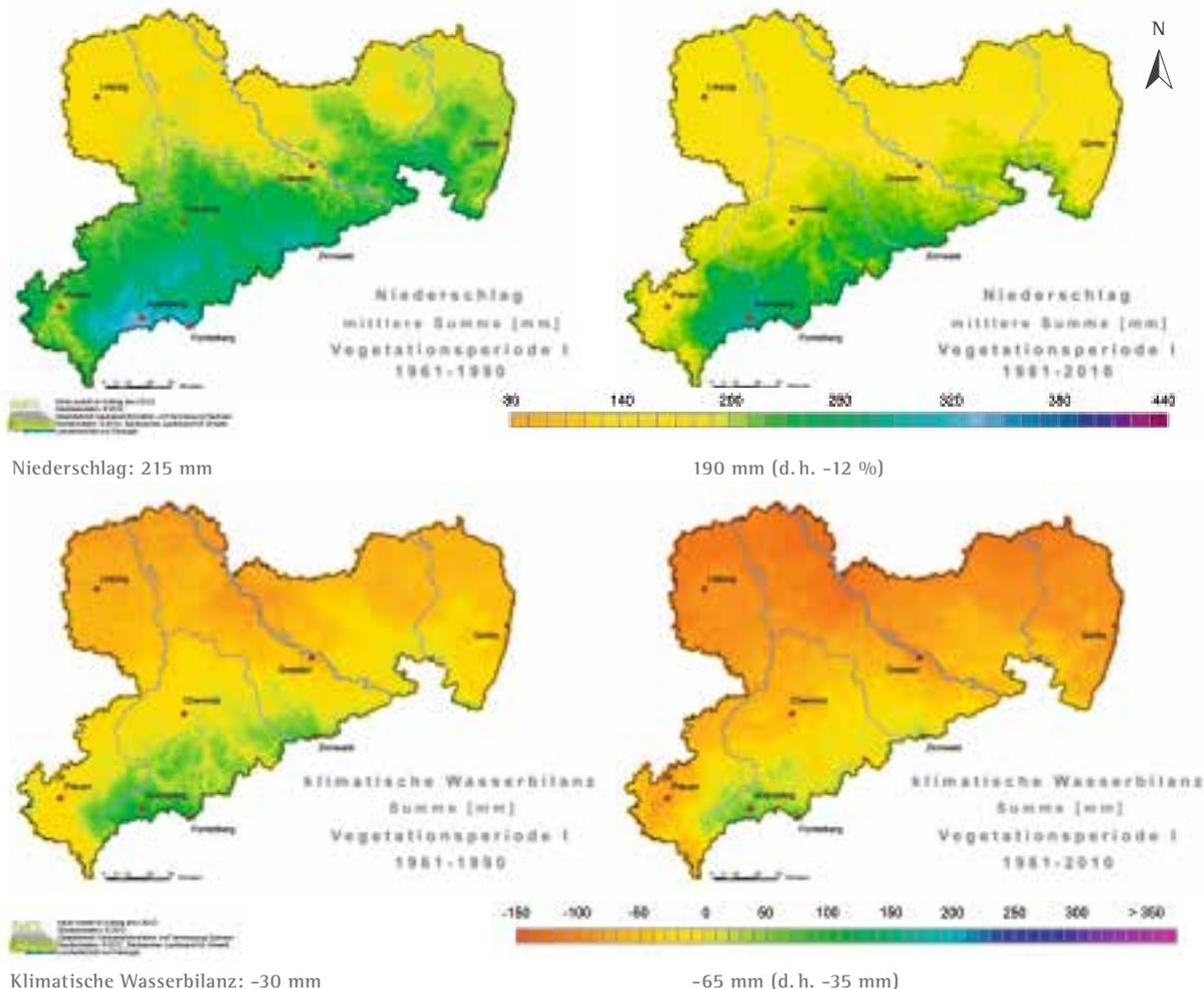


Abbildung 6: Niederschlag (korrigiert) und klimatische Wasserbilanz (mm) in Sachsen, Vegetationsperiode I, links: 1961-1990, rechts: 1981-2010, (Angaben sind Flächenmittel)

der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkregenereignissen einher (s. Abb. 8). In der Vegetationsperiode I weist die sich kontinuierlich verstärkende negative klimatische Wasserbilanz (Verschlechterung des potenziellen Wasserdargebotes) auf ein erhöhtes Trockenheitsrisiko hin (s. Abb. 6, 14). Ursachen hierfür sind die bereits erwähnten Niederschlagsabnahmen in Kombination mit einer in Folge der Erwärmung zunehmenden potenziellen Verdunstung (Tabelle 1). Die Verbesserung der klimatischen Wasserbilanz (in der Dekade 2001-2010 sogar positiv) in der Vegetationsperiode II ergibt sich aus der vergleichsweise hohen Zunahme der Niederschlagssummen gegenüber der potenziellen Verdunstung (Tabelle 1, Abb. 7, 15). Vor dem Hintergrund einer generell erhöhten Temperatur 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. Das bedeutet zugleich aber auch, dass trockenere Abschnitte zunehmend von Starkregenereignissen unterbrochen werden.

Sollte sich die beobachtete Entwicklung fortsetzen muss vor allem im Sommer mit zunehmender Hitze, zunehmenden Trockenperioden und sowohl häufigeren als auch intensiveren Starkregen gerechnet werden. Dabei werden vermehrt längere trockenere Witterungsabschnitte von Starkregenereignissen unterbrochen. Falls die bislang festgestellte Trockenheit in der Vegetationsperiode I anhält, ist z. B. mit Problemen beim Wachstum von Getreide und Mais zu rechnen, gleichzeitig wird der Bewässerungsbe-

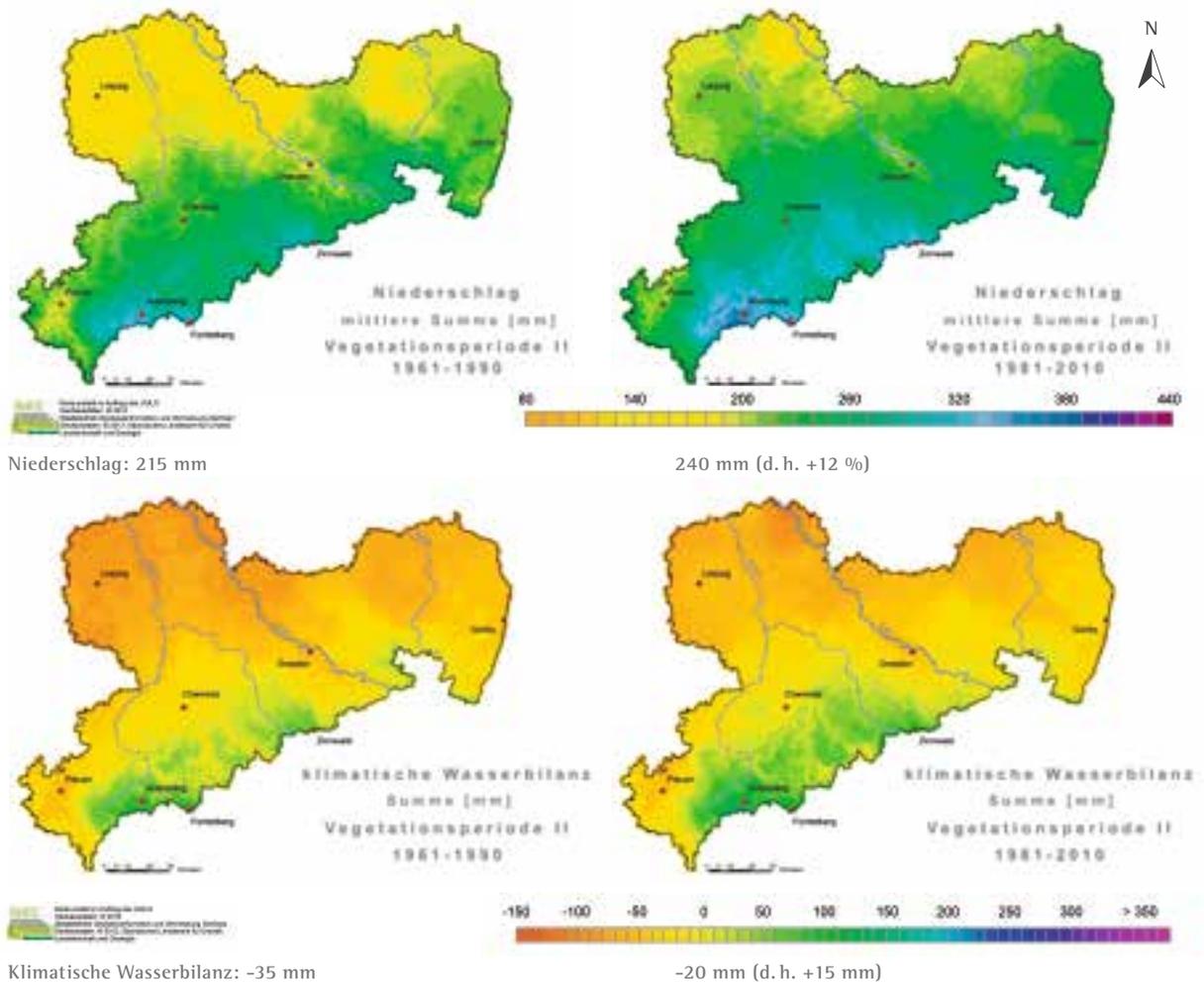


Abbildung 7: Niederschlag (korrigiert) und klimatische Wasserbilanz (mm) in Sachsen, Vegetationsperiode II, links: 1961-1990, rechts: 1981-2010, (Angaben sind Flächenmittel)

darf für Gemüse steigen. Wenn dagegen die Vegetationsperiode II weiter zunehmende Regenmengen mit zunehmendem Starkregenanteil aufweist, muss z. B. der Erosionsschutz verstärkt werden. Die Entwicklung des Hochwasserrisikos ist dagegen schwer abzuschätzen. Mit einer lokalen Zunahme sollte aber gerechnet werden. Ob bzw. welche Folgen die gleichzeitige Zunahme der trockenen Witterungsabschnitte auch in der Vegetationsperiode II haben kann, wird zu beobachten sein.

Die Eignung von Verfahren für die Erfassung und Charakterisierung von witterungsbedingter Trockenheit ist davon abhängig, ob z. B. die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft oder andere Handlungsfelder betrachtet werden, da sie in unterschiedlichen Zeiträumen auf die Trockenheit reagieren. Die Reaktion auf ein Wasserdefizit erfolgt sehr

komplex und räumlich sehr unterschiedlich, da hier die Wechselwirkungen von Boden, Landnutzung und Hydrologie in Abhängigkeit der menschlichen Einflussnahme maßgebend sind. Bei einer Abfolge trockenerer Witterungsabschnitte während der Vegetationsperiode, die von einzelnen Starkregen unterbrochen werden, hängen Defizit und Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers von der Niederschlagsmenge und -intensität sowie den Vorfeuchte- und Bodenverhältnissen ab. Vor diesem Hintergrund sind für die Ausarbeitung von Empfehlungen detaillierte und fachübergreifende Untersuchungen in der konkreten Region eine notwendige Voraussetzung.

Für den Winter wurde bezüglich Temperatur, Niederschlag und klimatischer Wasserbilanz eine ausgeprägte dekadische

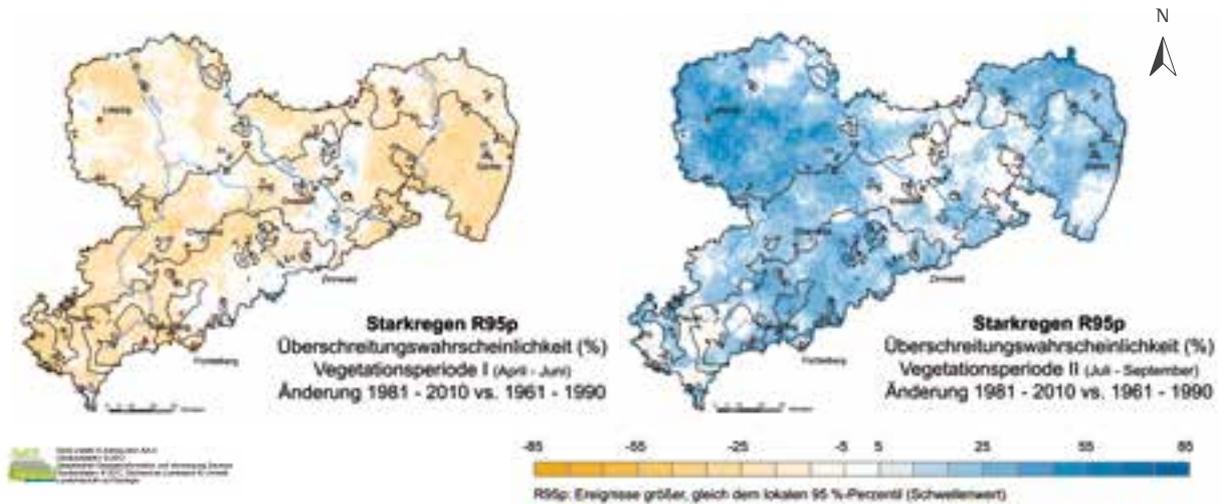


Abbildung 8: Änderung der Auftretenswahrscheinlichkeit ÜWKT (%) von Starkregenereignissen (R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Vegetationsperiode I (Flächenmittel: -15 %), rechts: Vegetationsperiode II (Flächenmittel: +18 %); Isolinien: Menge (mm) pro Tag für R95p, 1961-1990

Variabilität in Sachsen festgestellt. Eine Ursache dafür ist, dass Sachsen hinsichtlich des globalen Klimawandels in einer Übergangszone zwischen atlantischem und kontinentalem Klima liegt. Bedingt durch den überproportionalen Anstieg der Temperatur in der Arktis wird der Temperaturunterschied zu den gemäßigten Breiten Mitteleuropas abgeschwächt. Somit können z. B. winterliche kontinentale

Hochdruckgebiete häufiger wirksam werden, deren genaue Lage dann den tatsächlichen Verlauf unserer Winter bestimmt. In Sachsen könnten im langjährigen Trend auch die Wintertemperaturen zwar weiter zunehmen, tendenziell nimmt allerdings die Variabilität der Winter zu. So können sich milde, regenreiche bzw. regenarme Winter mit kalten und zeitweise schneereichen Wintern abwechseln.

Regionale Klimaprojektionen

Regionale Klimamodelle liefern Informationen über die räumliche und zeitliche Differenzierung des globalen Klimawandels bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Für Sachsen liegt seit 2011 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 (aus dem 4. IPCC-Bericht) und Modellspezifikationen.

Unter der Annahme des moderaten Emissionsszenarios A1B wird eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 3,0 bis 3,5 Grad bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in Sachsen er-

wartet. 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 nur noch schwer einhaltbar. Bei den Niederschlägen werden 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 betroffen sein könnten. Für ausgewählte WMO-Indizes wurden die Bandbreiten im WEREX-V-Ensemble analysiert. Im Mittel werden ein deutlicher Anstieg der Minimum- und Maximumtemperaturen sowie ein Rückgang von Kälte- und eine Zunahme von

Wärmeperioden für Sachsen in der Zukunft erwartet. Dabei wird die Bandbreite der Projektionsergebnisse mit zunehmendem Abstand von der Gegenwart größer. Für den Zeitraum 1971-2000 wurden Simulationen (sog. Kontrollläufe C20) mit Messungen verglichen, wobei eine gute Übereinstimmung für auf das Jahr bezogene Parameter festgestellt wurde. Indizes für den (Stark-)Niederschlag (z. B. R95p) werden im Vergleichszeitraum von den C20-Kontrollläufen des WEREX-V-Ensembles unterschätzt. Je nach Station werden uneinheitliche Entwicklungen in die Zukunft projiziert, was in einer vergleichsweise großen Bandbreite zum Ausdruck kommt.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass alle Klimaprojektionen mit Unsicherheiten behaftet sind. Aus der Verwendung von Modell-Ensembles resultieren Bandbreiten, durch die Unsicherheitsbereiche beschrieben werden. Sie erschweren konkrete Klimafolgenbetrachtungen und sind vor allem eine Folge der Unvorhersehbarkeit der künftigen sozioökonomischen Entwicklung und der Abbildung klimarelevanter Prozesse in Modellen, bspw. der Freisetzung von Methan und Kohlendioxid durch Auftauen des Permafrostbodens. Dieser Prozess z. B. führt zu einem Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre und folglich zu einem globalen Temperaturanstieg. Derartige Prozesse sind mit kritischen Schwellen, den sog. Kipp-Punkten (*engl. tipping points*) im Klimasystem verbunden. Das

Klimasystem reagiert bei bestimmten Größenordnungen des Temperaturanstiegs, d. h. bei den Kipp-Punkten, mit starken Veränderungen im System. Zu diesen Veränderungen gehören: abrupte Klimaänderungen, unumkehrbare Prozesse und langfristige, starke Klimaänderungen. Es besteht die Gefahr, dass derartige Klimaänderungen die Anpassungsmöglichkeiten der Ökosysteme wie auch der menschlichen Gesellschaft überfordern oder sogar unmöglich machen.



Annaberg mit Blick auf Buchholz

Klima- und Klimaänderungsräume

Zur Verbesserung der Übersicht und zur Erleichterung von Entscheidungen über Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel kann die Ausweisung sog. Klima- bzw. Klimaänderungsräume dienen. Die Ausweisung erfolgt nach Kronenberg et al. (2015) über die Ähnlichkeit von Merkmalskombinationen, wobei die Merkmale (z. B. Temperatur, Niederschlag, klimatische Wasserbilanz u. a.) durch ihre Ausprägung (statisch) und/ oder ihre zeitliche Entwicklung (dynamisch) gekennzeichnet sein können. Demnach weist eine Kombination statischer Merkmale Klimaräume und eine Kombination dynamischer Merkmale Klimaänderungsräume aus. Zur Veranschaulichung wurden vier Klimaräume für Sachsen ausgewiesen, wobei als Merkmal die Ausprägung

von Temperatur, Niederschlag und klimatischer Wasserbilanz im Zeitraum 1961-2010 exemplarisch verwendet wurde. Die Klimaräume verdeutlichen den maßgebenden orografischen Einfluss auf das sächsische Klima und zeigen eine gute Übereinstimmung zu den von Mannsfeld und Syrbe (2008) ausgewiesenen Klimaregionen (s. Abb. 9).

Das Verfahren nach Kronenberg et al. (2015) besitzt ein breites Einsatzfeld in der Klimafolgenforschung, da statische und/ oder dynamische Merkmale aus unterschiedlichen Fachbereichen objektiv zu Merkmals- bzw. Merkmalsänderungsräumen in Beziehung gesetzt werden können. Somit ist ein verbesserter Umgang mit fachübergreifenden

Themenkomplexen wie bspw. der Trockenheit gegeben. In diesem Fall können klimatische (Temperatur, Niederschlag, klimatische Wasserbilanz, Trockenindizes u. a.), hydrologische (Abfluss u. a.) und forstliche (Waldbrandindex u. a.) Merkmale sowie Bodenmerkmale (Bodenart, Bodenfeuchte) Verwendung finden.

weiterführende Informationen

Klimadiagnose

- SMUL (Hrsg.): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Dresden, 2008
- LfULG (Hrsg.): Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen. Schriftenreihe Heft 3/2015
- LfULG (Hrsg.): Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit. Schriftenreihe Heft 7/2015

Klimaprojektion

- LfULG (Hrsg.): Bandbreiten von Klimaprojektionen für Sachsen. Schriftenreihe Heft 13/2015

- LfULG (Hrsg.): Analyse und Bewertung des WEREX-V-Ensembles hinsichtlich der Abbildung witterungsbedingter Extreme in Sachsen. in Bearbeitung

Klima- und Klimaänderungsräume

- Kronenberg R, Franke J, Bernhofer Ch, Körner P (2015): DETECTION OF POTENTIAL AREAS OF CHANGING CLIMATIC CONDITIONS AT A REGIONAL SCALE UNTIL 2100 FOR SAXONY, GERMANY. Meteorology Hydrology and Water Management - Research and Operational Application (MHWM), accepted
- Mannsfeld K und Syrbe RU (2008): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Bd. 257, Leipzig: Deutsche Akademie für Landeskunde

Links:

- www.klima.sachsen.de
- www.rekis.org (Materialien unter »Freistaat Sachsen | Klimaentwicklung«)

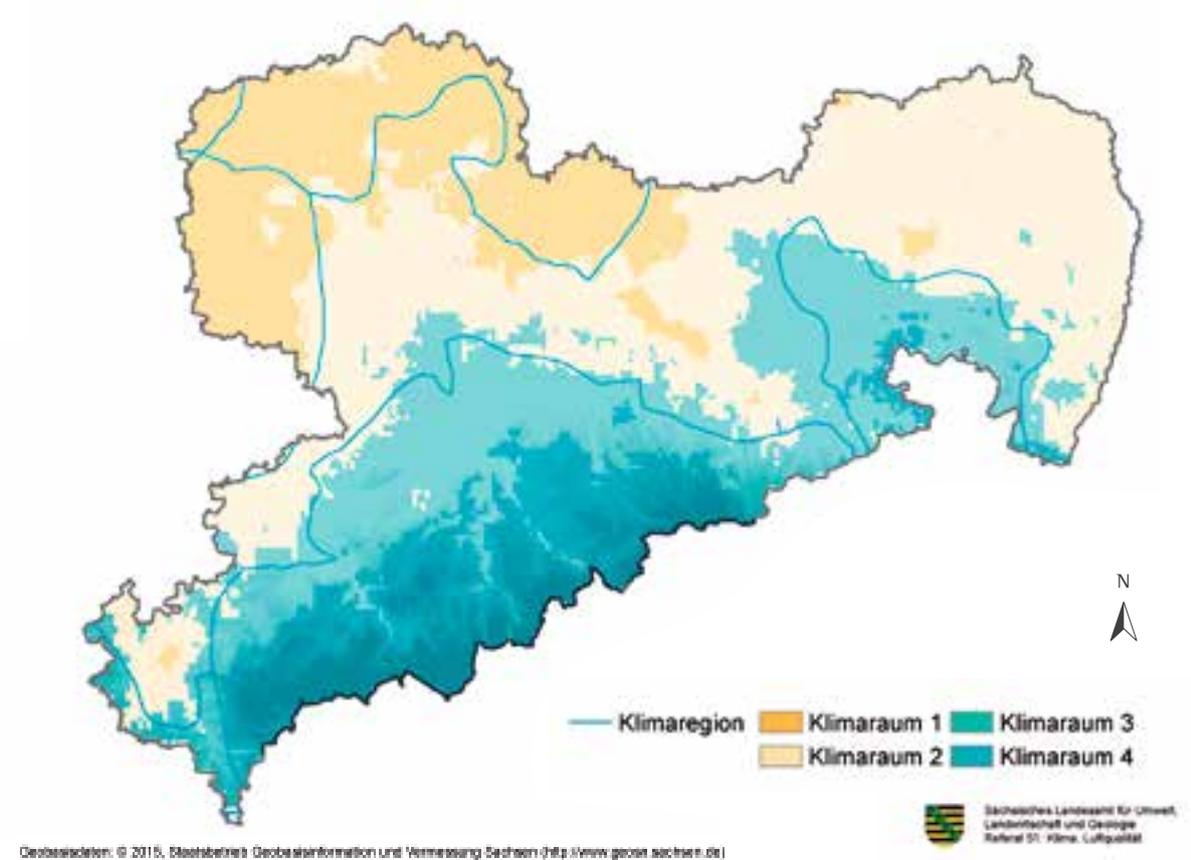


Abbildung 9: Klimaräume (n. Kronenberg et al., 2015) und Klimaregionen (n. Mannsfeld und Syrbe, 2008) in Sachsen (aus Kronenberg et al., 2015, geändert)

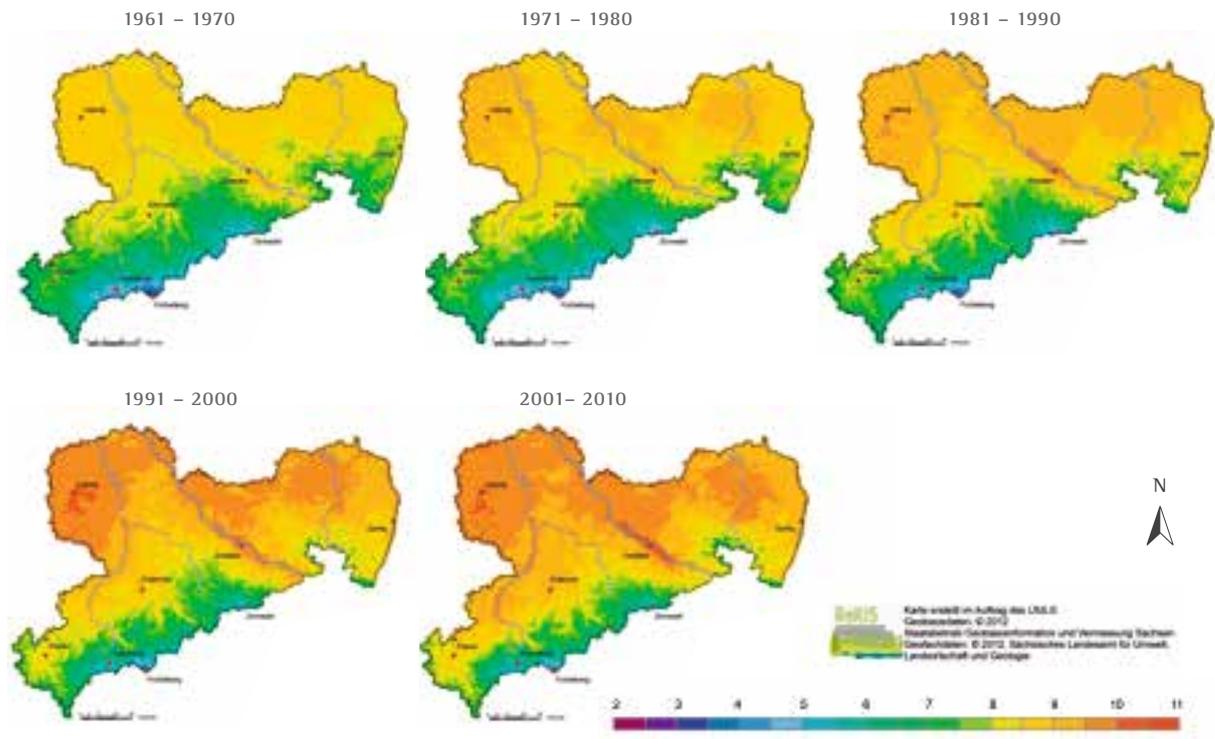


Abbildung 10: Jahresmittel der Lufttemperatur (°C) in Sachsen, Dekaden 1961–2010

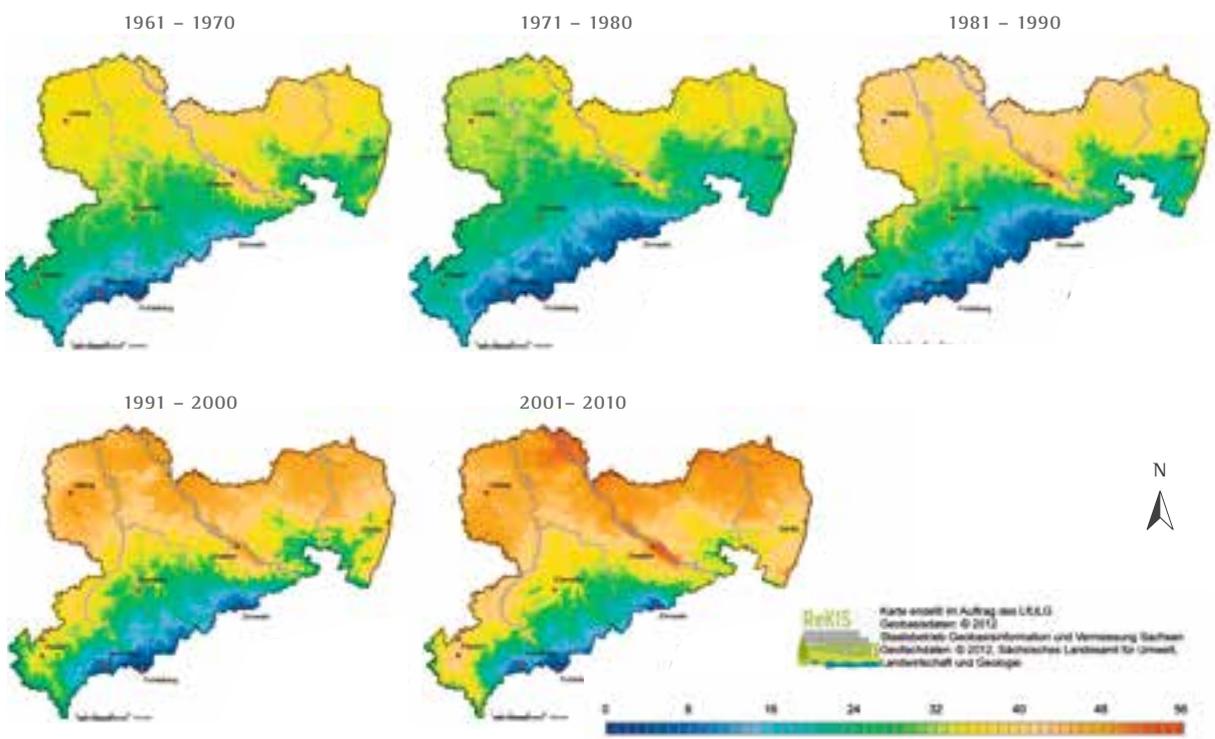


Abbildung 11: Mittlere Anzahl von Sommertagen (TX > 25 °C) im Jahr, Dekaden 1961–2010

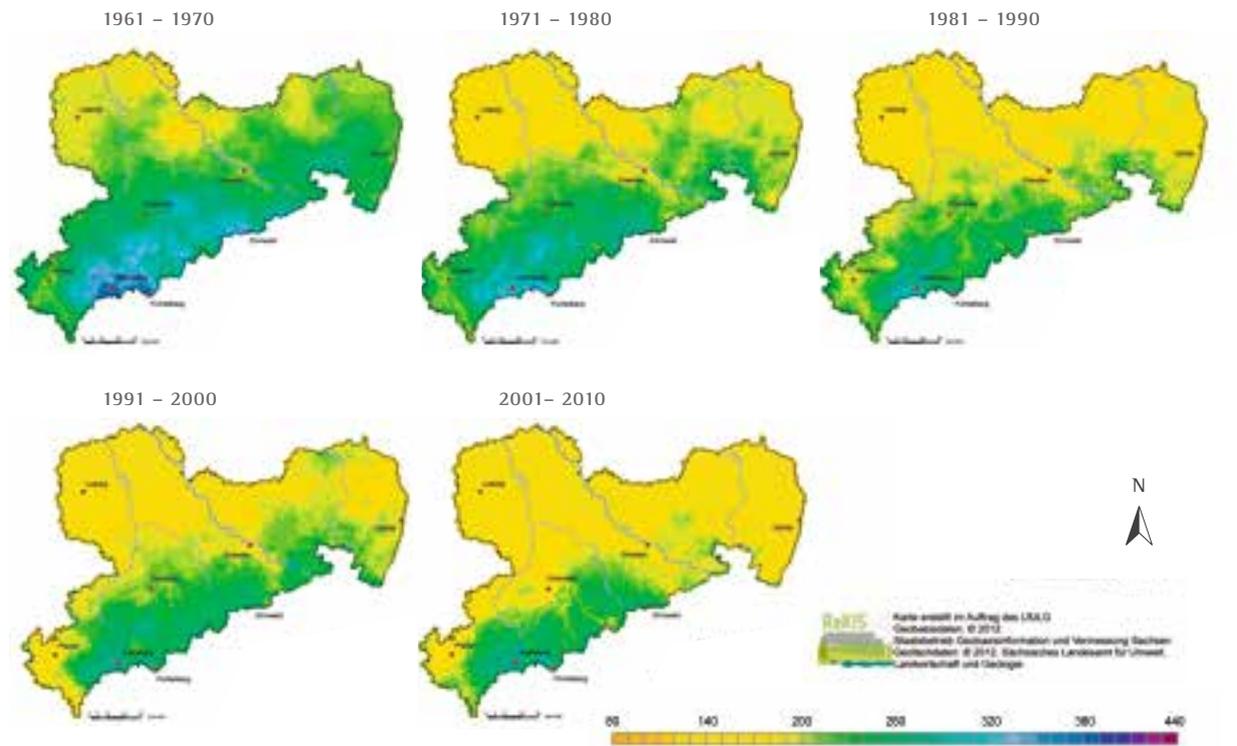


Abbildung 12: Mittlere korrigierte Niederschlagssumme (mm) in der Vegetationsperiode I, Dekaden 1961-2010

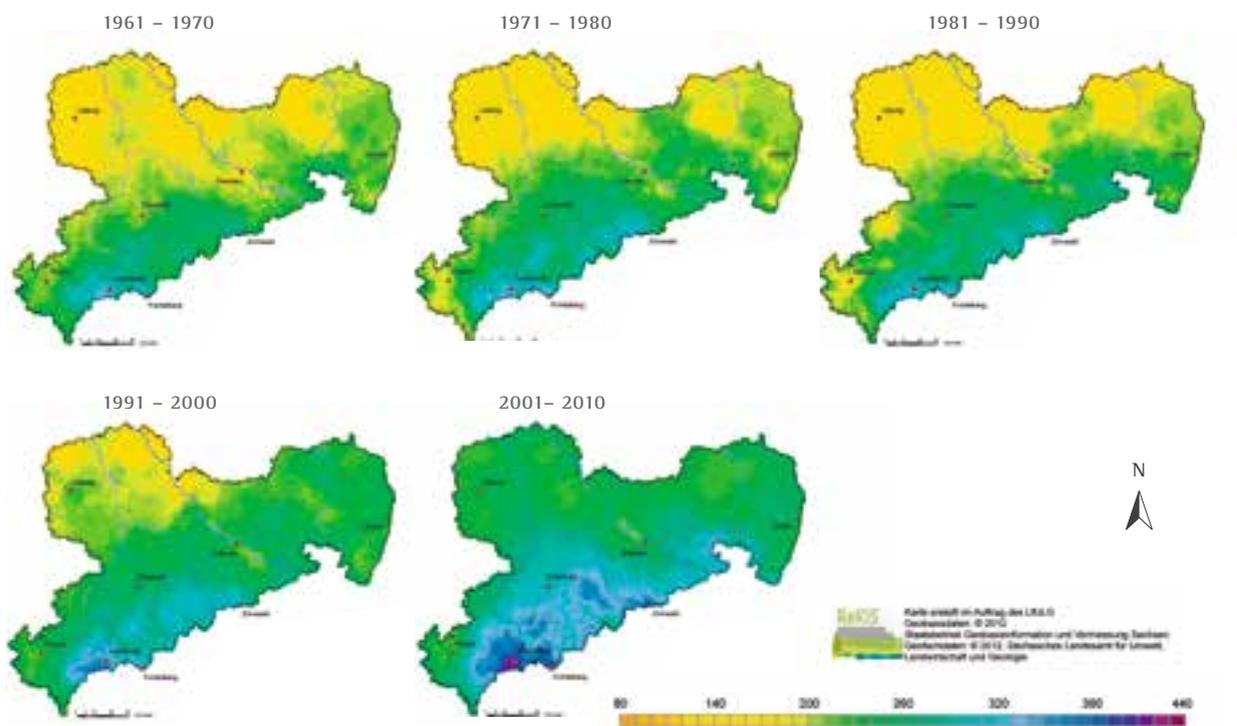


Abbildung 13: Mittlere korrigierte Niederschlagssumme (mm) in der Vegetationsperiode II, Dekaden 1961-2010

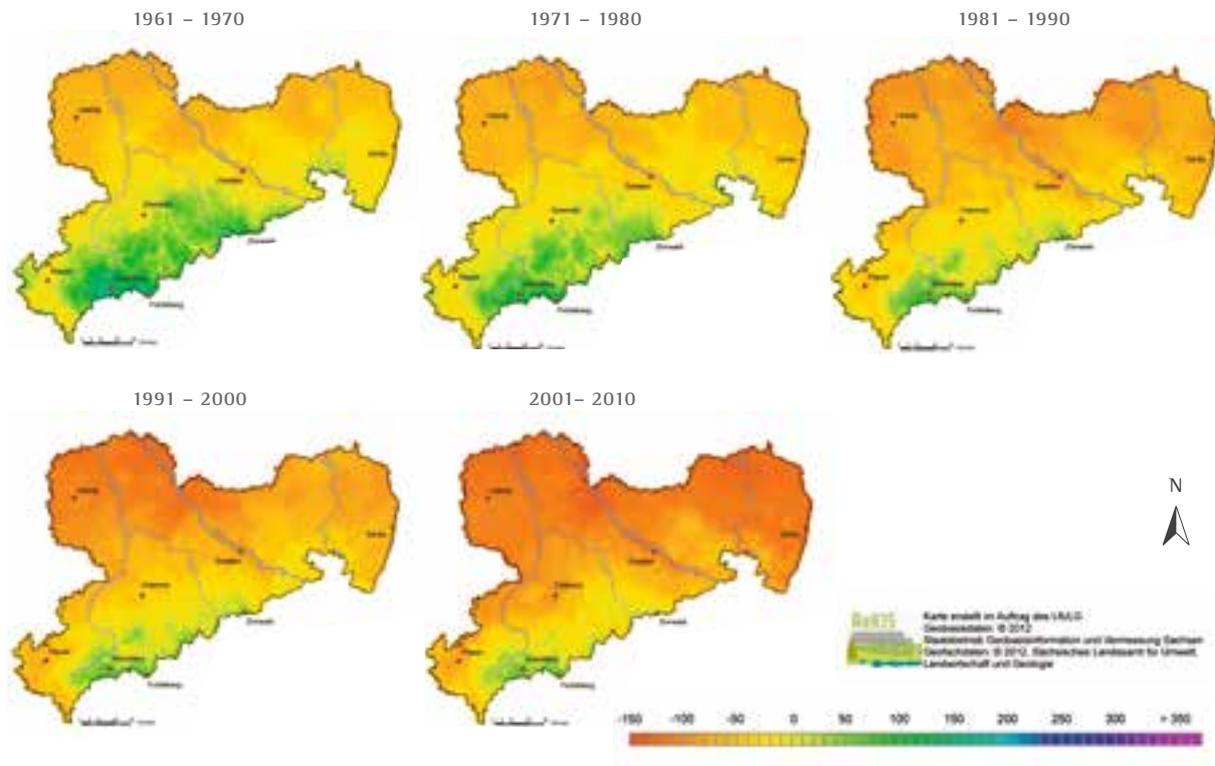


Abbildung 14: Mittlere klimatische Wasserbilanz (mm) in der Vegetationsperiode I, Dekaden 1961–2010

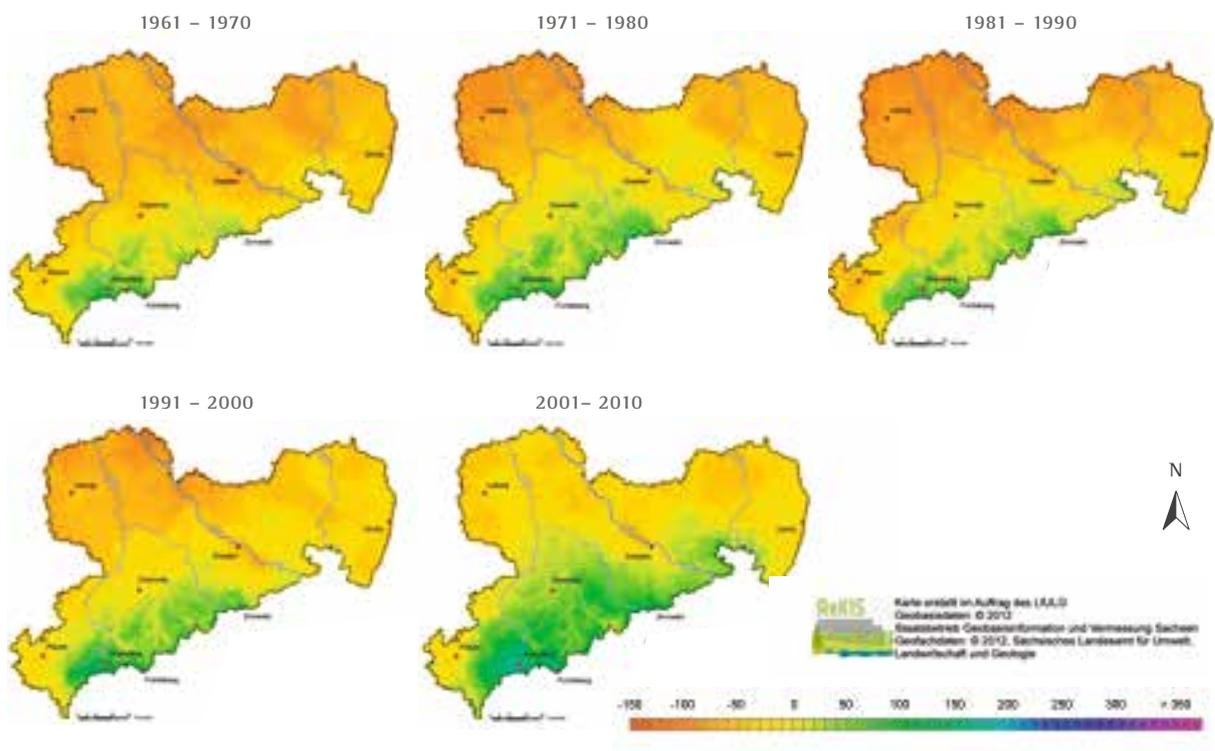


Abbildung 15: Mittlere klimatische Wasserbilanz (mm) in der Vegetationsperiode II, Dekaden 1961–2010

Anpassung an den Klimawandel – Betroffenheiten und Maßnahmen



Der Klimawandel ist ein globales Problem mit schwerwiegenden Umwelt-Aspekten und ernsten sozialen, wirtschaftlichen, distributiven und politischen Dimensionen; er stellt eine der wichtigsten aktuellen Herausforderungen an die Menschheit dar.

*Papst Franziskus,
Enzyklika LAUDATO SI',
Über die Sorge für das gemeinsame Haus,
Juni 2015*

Autor: Andreas Völlings, LfULG



Niedrigwasser der Elbe in Dresden im Jahr 2006

Der durch den Menschen verursachte Klimawandel findet statt. Und er führt zu einer Vielzahl von Auswirkungen auf die Umwelt, den Menschen und die Gesellschaft. Die resultierenden Klimafolgen – seien sie positiv oder negativ – existieren in allen Regionen der Erde, jedoch in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Die Verwundbarkeit (Vulnerabilität) wird dabei nicht allein durch die langfristige Änderung des Klimas, seiner Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Wind u. a.) und extremer Witterungsereignisse beeinflusst. Vielmehr bilden vorhandene natürliche und gesellschaftliche Systeme wie z. B. der Wasserhaushalt, die Landwirtschaft oder die Bevölkerung mit ihren Strukturen und Möglichkeiten einen wichtigen Rahmen für die beobachteten Auswirkungen des Klimawandels.

Veränderungen des Klimas gab es in der Erdgeschichte immer, allerdings stellt die Geschwindigkeit der Änderung seit Beginn der Industrialisierung eine besondere Herausforderung dar. Diese rasche Veränderung des Klimas birgt Risiken, denn Umwelt und Gesellschaft sind kaum in der Lage, sich aus eigener Kraft und in gleicher Geschwindigkeit an das veränderte Klima anzupassen. Deshalb ist es notwendig, durch eine vorsorgende Anpassungspolitik rechtzeitig robuste Maßnahmen einzuleiten, um künftige Risiken zu vermeiden oder zumindest zu vermindern und die Kosten dafür zu begrenzen. Bereits der beobachtete Klimawandel der letzten 50 Jahre gibt einen Einblick in die Vielfalt der für Sachsen relevanten Risiken.

Tabelle 2: Übersicht zu Risiken und Chancen des Klimawandels in Sachsen

	Mittelgebirge	Becken und Hügelland	Tiefland
Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft			
<ul style="list-style-type: none"> - periodisch stärker sinkende Grundwasserstände aufgrund höherer Variabilität der Niederschlagsmengen, verlängerter Vegetationsperiode und steigender Verdunstungsraten (v.a. in trockenen heißen Sommern); im Sommer höhere Defizite in der klimatischen Wasserbilanz - Verschlechterung der Wasserqualität in Grund- und Oberflächenwasser bei lang anhaltenden Trockenperioden (Konzentrierung der Stoffeinträge sowie Erhöhung der Temperatur) mit Auswirkungen auf Stoffumsatz und Biologie. - verminderte Abflüsse durch kumulative Niederschlagsdefizite (v. a. im Sommer) bei erhöhter Verdunstung; potentiell häufigeres Austrocknen von kleineren Fließgewässern bzw. auch dauerhafte Verringerung von Wasserflächen bei kleineren Standgewässern und Nassstandorten; - negative Beeinflussung des ökologischen Zustandes von Gewässern (Gefahr von Algenblüten im Sommer; geringere Verdünnungsverhältnisse, Gefahr der Versauerung von Tagebaurestseen - Reduzierung von Zuflüssen in Talsperrensysteme, verbunden mit abnehmender Wasserqualität 			
Räumliche Betroffenheit	+	+ +	+ + +
<ul style="list-style-type: none"> - Verschlechterung des ökologischen Zustandes durch verstärkte Nährstoffeinträge bei Starkniederschlägen und Hochwasserereignissen; Verminderung der Wahrscheinlichkeit für Schneeschmelz- bzw. Eis-Hochwasser 			
Räumliche Betroffenheit	+ + +	+ +	+
<ul style="list-style-type: none"> - regional mögliche Erhöhung der Nutzungskonkurrenzen bei Trink- und Brauchwasser (Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Gewerbe, Tourismus, Haushalte) bei potentiell gleichzeitiger Abnahme des Wasserdargebotes (v.a. im Sommer) - Veränderungen der Anforderungen an die Wasserentsorgung durch höhere Niederschlagsvariabilität (Überflutungen durch Starkniederschläge; Ablagerungen in Trockenperioden) 			
Räumliche Betroffenheit	+ +	+ + +	+ + +
Boden			
<ul style="list-style-type: none"> - verstärktes Austrocknen von Böden im (Früh-)Sommer durch erhöhte Verdunstung und verminderte Niederschläge (damit Abnahme des pflanzenverfügbaren Wassers); vermindertes Eindringen von Niederschlag durch zunehmenden Starkregenanteil (höherer Oberflächenabfluss) - Zunahme der Wasser- und Winderosion, z. B. durch eine Erhöhung des Starkregenanteils oder zunehmende Trockenheit der Bodenoberfläche (stärkere Windanfälligkeit) - Änderungen im Bodenwasser- und -wärmehaushalt mit Auswirkungen auf die Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik (stark abhängig von Bodennutzung, Bodenbewirtschaftung, Humusgehalt und Bodengefüge) 			
Räumliche Betroffenheit	+ +	+ + +	+ + +
Biologische Vielfalt und Naturschutz			
<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung der Artenzusammensetzung, Etablierung neuartiger Lebensgemeinschaften, Verdrängung heimischer Arten durch Neophyten und Neozoen aufgrund klimatischer Änderungen und als Folge von Extremereignissen; ggf. Abnahme der Diversität von Lebensgemeinschaften und Biotopen sowie mögliche Verluste standörtlicher, biogeographischer und landschaftsprägender Eigenarten - höhere Wahrscheinlichkeit von Wassermangel in Feuchtbiotopen; gleichzeitig auch temperaturbedingt höhere Produktivität von Ökosystemen bei intaktem Wasserhaushalt - Veränderung der phänologischen Phasen; Förderung wärmeliebender sowie Trockenheit ertragender Arten; Verlust von Arten die an kühle und feuchte Standorte angepasst sind; Veränderung der Artenzusammensetzung durch zu geringe Ausbreitungsgeschwindigkeit bei schnell fortschreitendem Klimawandel - geänderte Verbreitungsmuster zahlreicher Arten; Fischsterben durch zu hohe Gewässertemperaturen und zu geringe Sauerstoffkonzentrationen 			
Räumliche Betroffenheit	+ + +	+ + +	+ + +
+	gering	++ mittel	+++ stark

	Mittelgebirge	Becken und Hügelland	Tiefland
Landwirtschaft			
	<ul style="list-style-type: none"> - Verlängerung der Wachstumsphase und potentiell höhere Erträge im Pflanzenbau bei optimaler Wasserversorgung; - bei starker Erwärmung Humusabbau - Änderung des Spektrum an pflanzlichen Unkräutern und tierischen Schaderregern (Zunahme wärmeliebender Insekten) 		
Räumliche Betroffenheit	+ + +	+ +	+
	- hohe jährliche Ertragsvariabilität durch Extremereignisse (Hagel, Spätfröste, Trockenheiten bzw. Dürreperioden, Überschwemmungen)		
Räumliche Betroffenheit	+ + +	+ + +	+ + +
	<ul style="list-style-type: none"> - Änderung und Zunahme des Spektrums pilzlicher Schaderreger - Veränderung des Spektrums pflanzlicher Krankheiten (z.B. mit wärmeliebenden Insekten als Vektoren) 		
Räumliche Betroffenheit	+	+ +	+ + +
	<ul style="list-style-type: none"> - Zunahme von Hitzestress und Änderung des Krankheitsspektrums in der Tierproduktion - mögliche Verringerung der Wassermenge und damit der Wasserqualität in der Aquakultur 		
Räumliche Betroffenheit	+	+	+
	- Produktion höherwertiger Weine möglich		
Räumliche Betroffenheit		+	
Wald und Forstwirtschaft			
	<ul style="list-style-type: none"> - Bedeutungsgewinn wärmerer und trockenerer Standorte (veränderte forstliche Klimaareale) und zunehmendes Auftreten lichter Waldformationen; - verstärktes Wachstum der Baumarten in den höheren Gebirgslagen, aber Verschlechterung der Wuchsbedingungen in niedrigeren Höhenlagen (inkl. höherer Anfälligkeit gegenüber Krankheiten oder Schädlingen) - Verringerung der flächenbezogenen Holzvorräte und möglichen Holznutzungen - erhöhte Reproduktionsraten wärmeliebender Insekten und Wahrscheinlichkeit der Einwanderung neuer Schadorganismen mit Auswirkungen auf Baumartenzusammensetzung und Waldstruktur - erhöhtes Waldbrand- und Sturmbruchrisiko 		
Räumliche Betroffenheit	+ +	+ + +	+ + +
Siedlungsraum			
	<ul style="list-style-type: none"> - generelle Veränderung der Attraktivität touristischer Regionen durch Verlängerung der Sommersaison und mögl. Verkürzung der Wintersaison; Verschlechterung der Badequalität im Sommer; zunehmender Hitzestress in Städten - veränderte thermische Beanspruchung von Gebäuden und Anlagen sowie Zunahme der Risiken durch Extremereignisse; veränderter Energiebedarf (abnehmender Heiz- und steigender Kühlungsbedarf); Verschlechterung der Innenraumklimas durch sommerliche Wärmebelastungen - Änderungen der Rahmenbedingungen für fossile und erneuerbare Energien (z.B. Wasserverfügbarkeit, Globalstrahlung u.a.) - Veränderung der Risiken für Verkehrsinfrastrukturen (ggf. weniger Winterdienste aber mehr Extremereignisse; Verschiebung von Unterhaltskosten); zunehmende Behinderung der Elbschifffahrt 		
Räumliche Betroffenheit	+ +	+ +	+ +
+	gering	++ mittel	+++ stark

Sofern die Risiken des Klimawandels nicht akzeptiert werden, versucht die Gesellschaft, durch geeignete Anpassungsmaßnahmen, diese Risiken zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. Dies erfolgt entweder durch die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit (z. B. in der Landwirtschaft durch Nutzung geeigneter Pflanzensorten) und andererseits durch die Reduzierung der Sensibilität (z. B. im Naturschutz durch konsequente Umsetzung der Biotopvernetzung).

Es muss nicht betont werden, dass hierbei die Klimaanpassung eng mit dem Thema Klimaschutz verknüpft ist. Schon der im Jahr 2006 veröffentlichte STERN-Report zeigt auf, dass die ökonomischen Schäden des Klimawandels weiter ansteigen, wenn nicht die globalen Treibhausgasemissionen rasch reduziert werden. Vermiedene Treibhausgasemissionen reduzieren entscheidend und dauerhaft die Folgen des Klimawandels und damit den Aufwand zur Kompensation der Klimafolgen. Die Anpassung an den Klimawandel ist lediglich die Antwort auf bereits unvermeidbare Klimafolgen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel ist fundiertes Wissen zur regionalen Klima-

entwicklung, zu den möglichen Klimafolgen sowie zu Wirkungen geeigneter Anpassungsmaßnahmen. Bei der hohen Vielfalt an Risiken durch den Klimawandel, der hohen Komplexität von Umwelt und Gesellschaft und den jeweiligen ökonomischen und gesellschaftlichen Möglichkeiten werden Strategien und Maßnahmen der Klimaanpassung sehr flexibel und vielschichtig formuliert.

Deutschland hat mit der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) eine integrative Strategie für die Anpassung an den Klimawandel entwickelt. Diese bildet einen übergeordneten Rahmen für Ziele und Maßnahmen in insgesamt 16 benannten Bereichen, in den sich dann konkrete Maßnahmen einordnen. Sachsen besitzt mit dem Aktionsplan Klima und Energie seit 2008 einen »Fahrplan« für konkrete Maßnahmen der Klimaanpassung, der mit dem Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012 (EKP) aktualisiert wurde. Diesen begleiten bislang eine Reihe sektoraler Strategien, um frühzeitig intensiver und sorgfältiger auf spezifische regionale und fachliche Besonderheiten eingehen zu können. Gearbeitet wird jedoch auch in Sachsen an integrativen Grundlagen für die Darstellung der Betroffenheit durch den Klimawandel.



Elbehochwasser 2013 in Dresden-Laubegast

Landwirtschaft



Die Landwirtschaft ist vom Klimawandel vor allem durch die erwartete Zunahme von Extremereignissen betroffen.

3

*Autoren: Dr. Ulrich Henk, SMUL; Dr. Walter Schmidt, LfULG;
Dr. Michael Kraatz, LfULG; Ellen Müller, LfULG*

Landwirtschaft und Klimawandel



Trockene Felder bei Crostwitz

Die sächsische Landwirtschaft ist vom Klimawandel vor allem durch die erwartete Zunahme von Extremereignissen betroffen. Dadurch können Ertrags- und Qualitätsschwankungen sowie Agrarumweltprobleme zunehmen, wenn nicht wirksame Gegenmaßnahmen umgesetzt werden.

Der Klimawandel wird sich regional unterschiedlich auswirken. Trockenheitsbedingte Ertragsverluste sind am stärksten in Nord- und Ostsachsen zu erwarten. Ertragssteigerungen sind hingegen am ehesten in den Vor- und Mittelgebirgslagen möglich. Gemüse, Kartoffeln und Sonderkulturen werden künftig ohne Bewässerung weitgehend nicht mehr rentabel anzubauen sein.

Es bestehen vielfältige Möglichkeiten, mit denen sich die sächsischen Landwirte an den Klimawandel anpassen können. Dabei gilt es sowohl die Chancen zu nutzen, die sich aus dem Klimawandel ergeben können, als auch entstehende Risiken zu mindern. Viele Maßnahmen sind bereits heute praktisch anwendbar, wirksam, kurz- bis mittelfristig umsetzbar und relativ kostengünstig und weisen eine hohe Zielkongruenz zum Umweltschutz, insbesondere zum Boden- und Gewässerschutz auf.

Der Freistaat Sachsen unterstützt den Anpassungsprozess vor allem durch Erhalt bzw. Schaffung günstiger Rahmenbedingungen, angewandte Forschung und gezielte Fördermaßnahmen, durch Wissens- und Erfahrungstransfer sowie durch Schulungsmaßnahmen. Im Folgenden werden die Auswirkungen des Klimawandels und die Anpassungsmöglichkeiten für den Pflanzenbau aufgezeigt.

Darüber hinaus ist künftig mit weiterem Anpassungsbedarf zu rechnen. So können in der Tierhaltung künftig vor allem Anpassungen im Bereich der Stall- und Tierhaltungsanlagen erforderlich werden, um Stressbelastungen der Tiere durch witterungsbedingte Extreme (Hitze, Staub, Ozon etc.) zu vermindern. Außerdem können zunehmende Ertrags-, Qualitäts- und Preisschwankungen bei Futtermitteln Anpassungen im Bereich der Futtermittelkonservierung und der Futtermittelwirtschaft erforderlich machen. Bei abnehmenden Sommerniederschlägen und zunehmender Erwärmung kommt der Anwendung wassersparender Bewirtschaftungsformen eine steigende Bedeutung in der Teichwirtschaft bis hin zum mehrjährigen Umtrieb zu.

Auswirkungen des Klimawandels

Ertragsentwicklung und -stabilität

Künftig muss in Folge zunehmender Wetter- und Witterungsextreme (Hitze/Dürre, Starkregen, Hagel, Stürme etc.) mit höheren Ertrags-, Qualitäts- und Ernterisiken sowie einer insgesamt verminderten Ertragsstabilität gerechnet werden. Bislang beobachtete Trends und die erwartete weitere Erwärmung der Atmosphäre lassen eine solche Entwicklung befürchten, die zum Hauptproblem der sächsischen Landwirtschaft werden könnte.

Ertragsauswertungen für Winterweizen, -gerste, -roggen, -raps und Silomais in Sachsen im Zeitraum von 1955 bis 2014 zeigen, dass die Erträge aller Fruchtarten deutlich gestiegen sind (s. Abb. 16).

Allerdings schwächte sich der Ertragsanstieg seit etwa 1995 bei Winterweizen und Wintergerste ab, bei Winterroggen

und Silomais sanken sogar die Erträge. Lediglich bei Winterraps entsprach die Ertragsentwicklung dem langjährigen Trend.

Insbesondere in den letzten Jahren treten stärkere Ertragschwankungen auf. Ursachen hierfür werden u. a. im Auftreten von Witterungsextremen, engeren Fruchtfolgen und dem Anbau von Weizen auf schwächeren Standorten gesehen.

Im langjährigen Mittel werden bis 2050 relativ geringe Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge erwartet. Dies ergibt sich aus Ertragsprojektionen, die für Sachsen mit dem Ertragsmodell YIELDSTAT auf der Grundlage regionaler Klimaprojektionen (WEREX IV; Globalmodell ECHAM5) für fünf Fruchtarten durchgeführt wurden.



Ausgetrocknetes Flussbett der Schwarzen Elster in Neuwiese

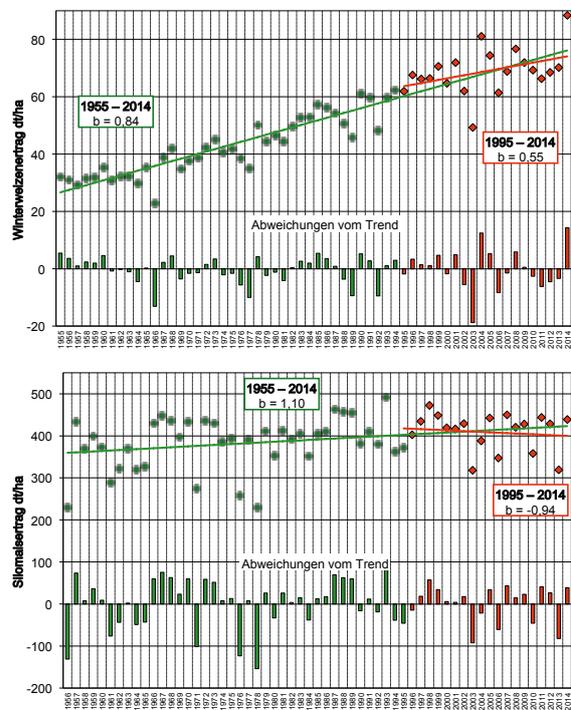


Abbildung 16: Entwicklung der Erträge [dt/ha] von Winterweizen (oben) und Silomais (unten) sowie Abweichungen vom Trend in Sachsen für die Zeiträume 1955 – 2014

Die klimatischen Veränderungen in Sachsen haben regional unterschiedliche Auswirkungen auf die künftige Ertragsentwicklung und -stabilität, wobei das Wasserspeichervermögen der Böden immer stärker zum entscheidenden ertragsbestimmenden Faktor wird (s. Abb. 17).

- Die stärksten Auswirkungen sind in Nord- und Ostsachsen zu erwarten. Aufgrund der sandigen Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität können künftig zunehmende Trockenphasen zu stärkeren Ertragseinbußen führen, vor allem bei stärker wasserbedürftigen Kulturen und bei Sommerkulturen.
- Auf den tiefgründigen Böden des mittelsächsischen Lößgebietes sind hingegen auch künftig vergleichsweise geringe Veränderungen der Erträge zu erwarten.
- In den Mittelgebirgen und im Mittelgebirgsvorland sind Ertragszunahmen vor allem bei Winterungen und Fruchtarten mit höheren Wärmeansprüchen möglich, jedoch nur bei weiterhin guter Wasserversorgung, wovon künftig nicht sicher ausgegangen werden kann.

Das LfULG hat in Zusammenarbeit mit der Agrarmeteorologie Leipzig des Deutschen Wetterdienstes für Sachsen das aktuelle Ertragsausfallrisiko aufgrund von Trockenheit und das künftige Ertragsausfallrisiko aufgrund von Klimaprojektionen abgeschätzt. In diese Abschätzung sind vor allem das Wasserspeichervermögen der Böden, die klimatische Wasserbilanz der Monate April bis Juni und die Niederschläge innerhalb der Vegetationszeit sowie Ertragsdaten einbezogen worden. Erstmals wurde damit ein Indikator zur Beurteilung der Anfälligkeit sächsischer Agrarstandorte für Ertragsausfälle durch Wasserdefizite entwickelt. Aus dem Vergleich der Abbildungen 18 und 19 wird deutlich, dass bereits 2021 bis 2030 gegenüber dem Iststand mit einer Ausdehnung der Gebiete mit hohem und sehr hohem Ertragsausfallrisiko zu rechnen ist. Dabei kann v. a. das Risiko auf Standorten mit geringem Wasserspeichervermögen höher werden. Dies betrifft die Standorte auf sandigen Substraten im Norden, aber auch flachgründige Verwitterungsstandorte im Süden. Die räumliche Projektion des Ertragsausfallrisikos ist jedoch mit hohen Unsicherheiten verbunden.

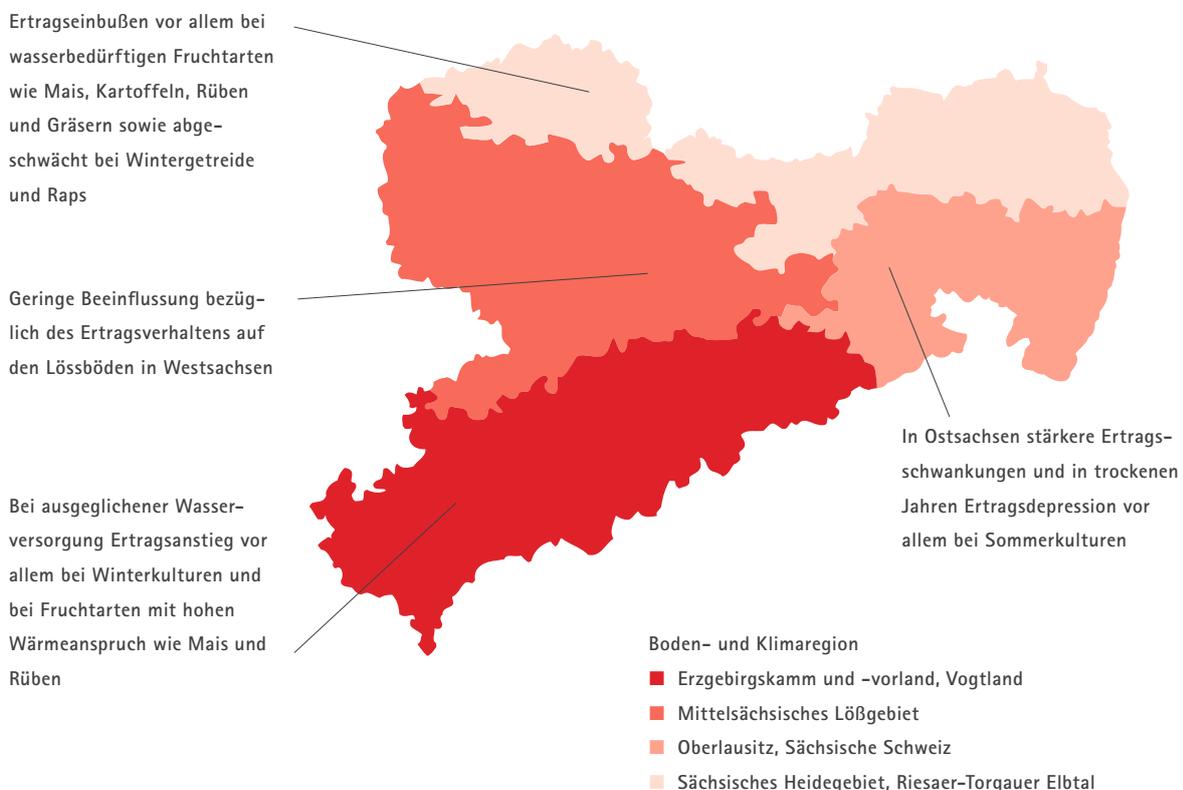


Abbildung 17: Regional differenzierte Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge in Sachsen

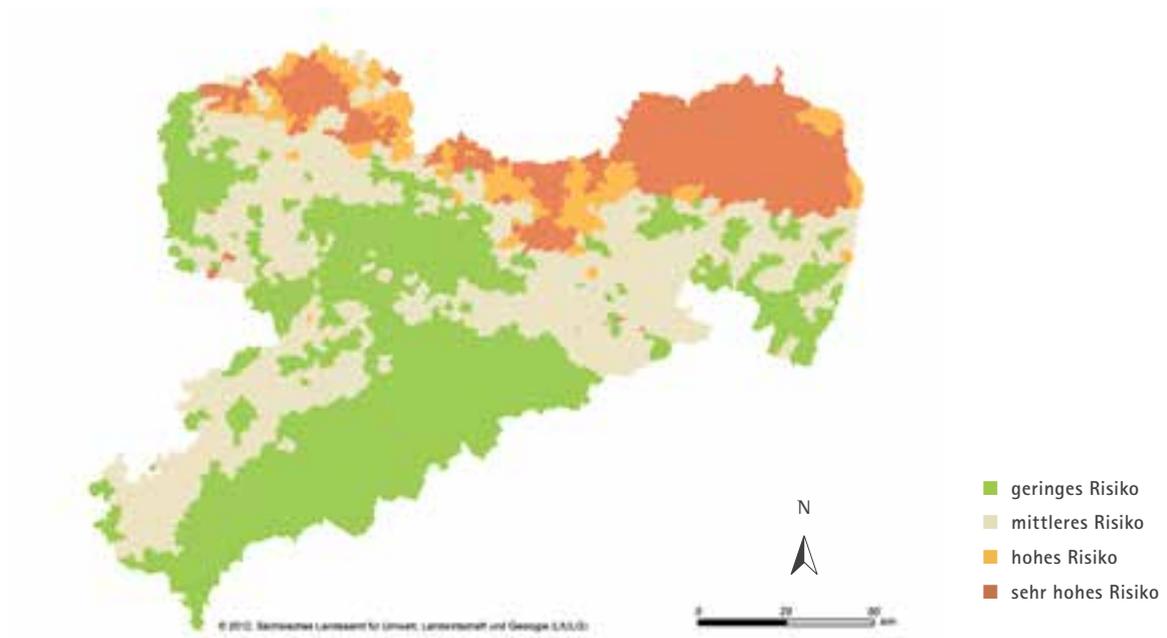


Abbildung 18: Ertragsausfallrisiko in Sachsen (heute)

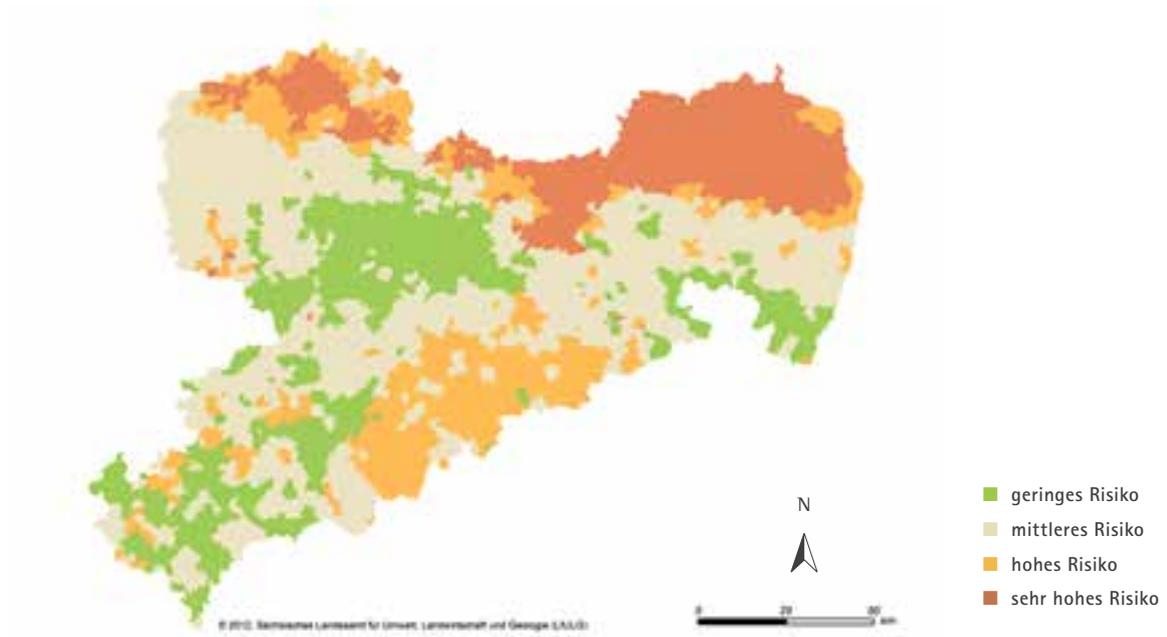


Abbildung 19: Ertragsausfallrisiko in Sachsen (2021 - 2030)

Die Dauer der Vegetationsperiode ist ein Indiz für die klimatische Veränderung. Sie beeinflusst unmittelbar die Wachstumsphasen der Pflanzen. Ein Vergleich der durchschnittlichen Vegetationszeiten der neun Wettergebiete Sachsens in der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 mit dem Zeitraum 1991 – 2014 ergab, dass die Vegetationsdauer im Durchschnitt um sechs Tage zugenommen hat. Die Vegetationsperiode beginnt durchschnittlich acht Tage früher und endet zwei Tage früher.

In der Region Nordwestsachsen hat sich die Vegetationsperiode sogar um zehn Tage verlängert.

Bisher benachteiligte Höhenlagen bieten zunehmend günstige klimatische Rahmenbedingungen für den Anbau bislang nicht geeigneter Arten. Allerdings beinhaltet der frühere Beginn der Vegetationszeit aufgrund steigender Variabilität die Gefahr von Ertragseinbußen durch Spätfröste.

Bodenfruchtbarkeit und Agrarumweltschutz

Eine weitere Erwärmung sowie häufigere und intensivere Extremereignisse können dazu führen, dass die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt wird und Agrarumweltprobleme künftig zunehmen werden, wenn nicht wirksame Gegenmaßnahmen durchgeführt werden. Die Erreichung wichtiger Umweltziele, z. B. der EU-Wasserrahmenrichtlinie, kann dadurch gefährdet werden.

Humus

Durch das LfULG wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf den organisch gebundenen Kohlenstoff im Boden (Corg) für drei Standorte im Zeitraum 2000 - 2050 mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren und unter Zugrundelegung verschiedener Szenarien des Klimawandels abgeschätzt. Bei nur moderater Klimaänderung bleiben danach die Humusgehalte weitgehend unverändert. In dem pessimistischen Szenario kann es hingegen in den bislang feuchtkühlen Vor- und Mittelgebirgslagen bei der angenommenen starken Klimaänderung zu einem erheblichen Humusabbau kommen. Damit können eine Reihe nachteiliger



Bodenerosion

ger Auswirkungen verbunden sein, wie z. B. steigende Erosionsanfälligkeit, geringeres Wasserspeichervermögen und die Freisetzung gewässer- bzw. klimarelevanter Stoffe wie Nitrat, Kohlendioxid, Lachgas.

In den sächsischen Lößgebieten sowie in den nördlichen Sandgebieten wird hingegen auch unter pessimistischen Annahmen zum Klimawandel nur ein vergleichsweise geringer Humusabbau erwartet.

Nitrat

Aufgrund des Klimawandels ist sachsenweit mit einer Verschärfung des Nitratproblems zu rechnen, wenn nicht wirksame Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden. In den Vor- und Mittelgebirgslagen kann ein verstärkter Humusabbau zu höheren Nitratausträgen mit dem Sickerwasser führen. Vor allem auf den leichten Böden in Nord- und Ostsachsen besteht zunehmend die Gefahr, dass der gedüngte Stickstoff in Folge von Trockenperioden schlechter von den Pflanzen ausgenutzt wird und die verbleibenden höheren Nitratmengen dann mit Winterniederschlägen oder Starkregen ausgewaschen werden. Auf den Lößstandorten können verminderte Sickerwassermengen bei gleichbleibender Menge verlagerten Stickstoffs zu höheren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser führen (Konzentrationseffekt).

Bodenerosion

Auch das künftige Risiko von Bodenerosion, Oberflächenabflüssen und Hochwasser wird höher eingeschätzt. Trockenperioden könnten die Winderosionsgefahr insbesondere auf den Sandböden in Nordsachsen verstärken. Weiterhin ist damit zu rechnen, dass es durch Starkregen künftig zu mehr Oberflächenabflüssen und Wassererosion kommt. So zeigen Auswertungen des LfULG, dass sich im Zeitraum 1981 bis 2010 die Häufigkeit von Starkregen bereits um 8% und die mittlere Starkregenintensität um 10% gegenüber dem Zeitraum 1961 bis 1990 erhöht haben. Insgesamt weisen gut 60% der sächsischen Ackerfläche aufgrund der natürlichen standörtlichen Bedingungen (Niederschläge, Hangneigung, Bodenart) eine hohe bis sehr hohe potenzielle Wassererosionsgefährdung auf. Davon betroffen sind vor allem die hügeligen Lößgebiete und die Vor- und Mittelgebirgslagen.

Ausbreitung von Schaderregern



Starker Kartoffelkäferbefall



Maisbestand: Trockenheitsstress und nachfolgender Krankheitsbefall mit Maisbeulenbrand

Die klimatischen Veränderungen werden sich auch auf die Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten, Unkräutern und Schädlingen in landwirtschaftlichen Kulturen auswirken. Der Grad der Auswirkungen ist dabei in starkem Maße von Standort, Anbaustruktur, Bewirtschaftungsart und Züchtung abhängig. Steigende Temperaturen in Verbindung mit sinkenden Niederschlägen in den entscheidenden Vegetationsabschnitten werden das Spektrum an Krankheitserregern und deren Bedeutung verändern.

Entscheidend für den Krankheitsausbruch sind u. a. auch Umweltfaktoren. So können z. B. Hitze- oder Kältestress, heftige Regenfälle, Schadstoffe, UV-Strahlung und mangelhafte Ernährung der Pflanzenbestände den Krankheitsausbruch begünstigen.

Im Trend nehmen heute bereits Wärme liebende Krankheiten zu, denen kurze Feuchte- oder Tauphasen zur Ausbreitung

ausreichen. Dies belegen auch die langjährigen im Pflanzenschutz durchgeführten Erhebungen in Sachsen im Rahmen der Schaderregerüberwachung.

So ist in Kartoffeln in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme der *Alternaria*-Dürrfleckenkrankheit feststellbar. Die Auswertungen zeigen bereits auch tendenziell eine Zunahme von Brand- und Rostpilzen.

Daneben wird ein abnehmender Trend bei Pilzinfektionen beobachtet, die für ihre Entwicklung Niederschläge und längere Feuchtephasen sowie eher mäßig warme Bedingungen benötigen, z. B. bei der *Rhynchosporium*-Blattfleckenkrankheit der Gerste (*Rhynchosporium secalis*) und der Krautfäule an Kartoffeln (*Phytophthora infestans*).

Erfahrungen aus den zunehmend milderen Wintern belegen auch einen raschen und heftigeren Ausbruch von einzelnen Krankheiten im Frühjahr wie beispielsweise von Echtem Mehltau (*Erysiphe graminis*), Zwergrost (*Puccinia hordei*), Gelb- und Braunrost (*Puccinia striiformis*, *Puccinia recondita*). Weiterhin sind insbesondere nach einem milden Winter häufig Viruskrankheiten zu beobachten, die durch Blattläuse oder Zikaden übertragen werden. Ein jüngstes Beispiel ist die durch Blattläuse übertragene Gerstengelverzweigung, deren Symptome in Sachsen im Frühjahr 2015 massiv nicht nur in der Wintergerste, sondern auch in Winterweizen sowie in Winterroggen und Triticale auftraten.

Steigende Temperaturen bedingen auch eine deutliche Zunahme der Unkrautarten aus wärmeren Klimazonen, die in Sachsen seit einigen Jahren insbesondere in Mais beobachtet wird. Die Einschleppung erfolgt größtenteils durch Importe z. B. von Saat- und Pflanzgut oder Tierfutter. Ein hohes Vermehrungspotenzial, eine lange Lebensdauer der Samen im Boden, ein kurzer Entwicklungszyklus von der Keimung bis zur Samenreife und ein schnelles Wachstum sind für fast alle dieser neuen Arten charakteristisch. Noch kommen die neuen Arten bisher relativ selten auf den Ackerflächen vor. Die Tendenz der Ausbreitung Wärme liebender Arten lässt sich in Sachsen aber bereits heute am Beispiel von Samtpappel (*Abutilon theophrasti*), Weißer Stechapfel (*Datura stramonium*) oder Giftbeere (*Nicandra physalodes*) erkennen. Ein anderer Zuwanderer ist die aus Nordamerika eingeschleppte Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). Die Ambrosie ist ein Wärmekeimer, deren Pollen Allergien auslösen, die zu Symptomen wie beim Heuschnupfen führen können.

Bedingt durch künftig erwartete stärkere Witterungsschwankungen und zunehmende Wetterextreme wird auch mit einer Zunahme des Schädlingsbefalls gerechnet. In Sachsen wird in den letzten Jahren im Rahmen der Monitorings zur Befallssituation ein stärkeres Auftreten von tierischen Schädlingen wie z. B. des Kartoffelkäfers oder der Getreideblattläuse registriert. Schädlinge wie die Zikaden als Virusvektoren oder der Maiszünsler (s. Abb. 20) haben erst in den letzten Jahren in unseren Regionen auf sich aufmerksam gemacht bzw. im Auftreten zugenommen.

Insgesamt wird eine zunehmende Überwinterung von Schädlingen erwartet. Dies kann im darauffolgenden Frühjahr zu explosionsartigen Vermehrungen führen. Zusätzlich führt der Klimawandel auch zu Wirkungsveränderungen bei den Pflanzenschutzmitteln. So wirken bei hohen Temperaturen und Trockenheit Blattherbizide schlechter wegen der Ausbildung einer starken Wachsschicht der Zielpflanzen und Bodenherbizide schlechter wegen verminderter Wirkstoffaufnahme.

Eine regionale Differenzierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Unkräuter, Pflanzenkrankheiten und Schadinsekten in Sachsen lässt sich nur sehr grob vornehmen. Insgesamt werden die beschriebenen Auswirkungen vor allem die sächsischen Heide- und Teichlandschaften mit vorwiegend sehr leichten Böden, die Oberlausitz und Regionen Ostsachsens, aber auch teilweise die Sächsischen Lößgebiete betreffen. Die Vorgebirgslagen bzw. die kühleren und feuchten Verwitterungsstandorte im Süden Sachsens werden dagegen weniger betroffen sein.

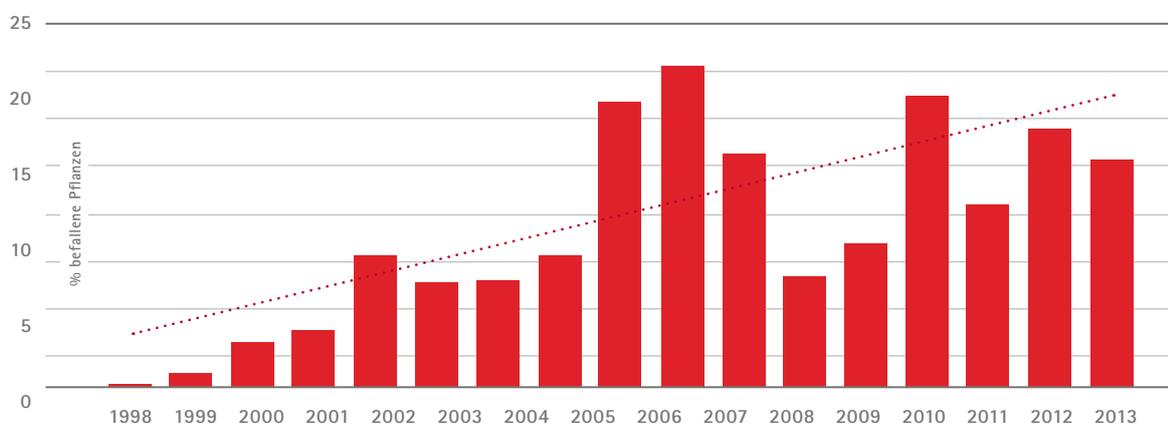


Abbildung 20: Maiszünsler-Auftreten in Sachsen 1997 bis 2013 (im Rahmen der Schaderregerüberwachung, Boniturtermin Mitte September)

Anpassung an den Klimawandel



Feldversuche mit Sorghumhirse und Mais

Die dargestellte Betroffenheit der sächsischen Landwirtschaft von den Auswirkungen des Klimawandels war für das SMUL Anlass, die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel zu entwickeln und im Jahr 2009 zu veröffentlichen. Sie verfolgt die folgenden Zielstellungen:

- Ermittlung der Auswirkungen des Klimawandels auf die sächsische Landwirtschaft auf der Grundlage regionaler Klimadiagnosen und -projektionen sowie modellgestützter Ertragssimulationen,
- Darstellung und Bewertung von Anpassungsmöglichkeiten für die sächsische Landwirtschaft,
- Empfehlungen von Instrumenten und Maßnahmen des Freistaates Sachsen und speziell der sächsischen Agrarverwaltung zur künftigen Unterstützung des Anpassungsprozesses.

Das erarbeitete Strategiepapier dient dazu, der sächsischen Landwirtschaft für ihren erforderlichen Anpassungspro-

zess Anregungen zu geben, Handlungsschwerpunkte aufzuzeigen und Unterstützung durch den Freistaat Sachsen anzubieten. Die Strategie richtet sich daher vorrangig an die Landwirtschaft, darüber hinaus jedoch auch an den vorgelagerten Bereich (Landtechnik, chemische Industrie, Pflanzen- und Tierzüchter etc.), den nachgelagerten Bereich (Handel, Verarbeitung, Banken, Versicherungen etc.), die Agrar- und Umweltforschung, die Wasserwirtschaft, den Boden- und Naturschutz, die Landes- und Regionalplanung, Gemeinden und Landkreise und letztendlich die Kommunal- und Landespolitik.

Die dargestellte abnehmende Ertragsstabilität durch zunehmende Wetter- und Witterungsextreme erfordert von den Landwirten ein umfassendes Risikomanagement. Neben Maßnahmen der Diversifizierung, der Liquiditätssicherung (z. B. Rücklagenbildung), der Risikoteilung (z. B. langfristige Verträge, Terminkontrakte) und ggf. von Versicherungslösungen sollten vorrangig Maßnahmen zur betrieblichen

Vermeidung und Verminderung von Risiken angewendet werden, wie z. B. der Anbau trockenoleranter Sorten und wassersparende Bodenbearbeitungsverfahren. Insgesamt liegen die größten Herausforderungen in der Pflanzenproduktion künftig in der Anpassung an zunehmende Trockenperioden in der Vegetationsperiode sowie häufigere und intensivere Starkregenereignisse. Erforderlich ist deshalb ein umfassendes Wassermanagement, um einerseits Erträge und Produktqualitäten zu sichern und andererseits den Umweltschutz und den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit zu berücksichtigen. Hier besteht eine Vielzahl an Anpassungsoptionen und eine hohe Zielkongruenz zwischen den Erfordernissen der landwirtschaftlichen Ertragssicherung und denen des Umweltschutzes. Maßnahmen, die die Wassernutzungseffizienz von Pflanzenbeständen erhöhen und die Nährstoffausnutzung verbessern, tragen grundsätzlich auch zur Verminderung von Nährstoffemissionen in die Umwelt bei.

Die folgenden Anpassungsmaßnahmen des Pflanzenbaus an den Klimawandel werden empfohlen und - zumindest teilweise - bereits in Sachsen umgesetzt. Sie sind geeignet, wirtschaftliche Erträge zu sichern und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten:

Sortenwahl, Fruchtfolge, Bestandsführung

Aus heutiger Sicht wird es keine gravierende Veränderung in der Anbaustruktur der Hauptkulturen geben. Die meisten wichtigen Fruchtarten weisen genügend Anpassungsspielraum an den Klimawandel auf, um grundsätzlich anbauwürdig zu bleiben.

Notwendig ist jedoch eine breitere Risikostreuung hinsichtlich Kulturarten, Sorten und Sortentypen, um das Verlustrisiko zu vermindern. Dabei kommt dem Anbau standortangepasster, trockenoleranter und Hitze verträglicher Sorten mit angepasstem Abreifverhalten eine zunehmende Bedeutung zu. Die Landessortenversuche und daraus abgeleitete Empfehlungen des LfULG unterstützen die Landwirte hier bei ihren Entscheidungen

Bei der Grünlandbewirtschaftung und im Ackerfutterbau kann dem Klimawandel vor allem durch die Auswahl standortangepasster und trockenheitsverträglicher Arten (z. B. Knautgras, Glatthafer, Wiesenlieschgras, Wiesenschwingel, Wiesenschweidel, Rohrschwingel, tiefwurzelnde Leguminosen) sowie Artenmischungen begegnet werden.

Eine Nutzung der verlängerten Vegetationszeit erfolgt durch Anpassung von Aussaatmengen und -zeiten. Bei zunehmendem Trockenstress sind dünnere Bestände mit kräftigen Einzelpflanzen anzustreben (verringerte Aussaatstärken, Einzelkornsaat). Eine vielgestaltige Fruchtfolge reduziert grundsätzlich das Anbaurisiko durch extreme Wetterbedingungen sowie Ernteausfälle durch Krankheiten und Schädlinge. Mais- und Hirsearten als Wärme liebende Arten mit hoher Wassernutzungseffizienz können zur Ertragsstabilisierung beitragen.

Bodenbearbeitung, Bodenschutz

Die wirksamsten Maßnahmen eines nachhaltigen und vorsorgenden Erosionsschutzes sind die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat einschließlich der Streifenbearbeitung (s. Abb. 21 und 22). Diese Verfahren tragen auch Gewässer- und zum vorsorgenden Hochwasserschutz bei.

Durch die dauerhaft konservierende (nichtwendende, pfluglose) Bodenbearbeitung kann der Bodenabtrag um mehr als 70 % gegenüber dem Pflugeinsatz reduziert und bei Direktsaat nahezu vollständig verhindert werden. Die Streifenbearbeitung nimmt diesbezüglich eine Mittelstellung ein. Diese hohe Wirksamkeit kann jedoch nur bei dauerhafter Beibehaltung der Maßnahmenanwendung auf ein und derselben Fläche erreicht werden. Diese bodenschonenden Verfahren verbessern außerdem die Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen, in dem unproduktive Wasserverluste durch Oberflächenabflüsse und Verdunstung vermindert



Abbildung 21: Direktsaat

werden. Dazu tragen die bodenschützende Mulchauflage aus Pflanzenresten und die verbesserte Wasserinfiltration in den Boden durch stabilere Bodenaggregate und erhöhte Regenwurmmaktivität bei.

Der Anteil dauerhaft konservierend bestellter Ackerflächen an der Gesamtackerfläche Sachsens betrug 2014 35 %. Hierbei handelt es sich jedoch nur um die als Agrarumweltmaßnahme nach der Richtlinie AuW/2007 geförderte Ackerfläche. Zusammen mit der periodisch innerhalb der Fruchtfolge angewendeten pfluglosen Bodenbearbeitung werden über 50 %, in manchen Regionen sogar bis zu 100 % der Ackerfläche pfluglos bestellt.

Die konservierende Bodenbearbeitung muss bezüglich ihrer erosionsmindernden Wirkung optimiert werden. Dazu zählt ihre dauerhafte Anwendung bei gleichzeitiger Reduktion der bearbeitungsbedingten Eingriffsintensität bis hin zur Streifenbearbeitung und Direktsaat. Die Neuartigkeit der pfluglosen Anbauverfahren macht die Optimierung der acker- und pflanzenbaulichen Anbaustrategien und des Pflanzenschutzes sowie die Prüfung und Demonstration neuer Technik erforderlich.

Ergänzend zur konservierenden Bodenbearbeitung einschließlich bodengefügeverbessernder bzw. -erhaltender Maßnahmen (Kalkung, organische Düngung, Vermeidung/ ggf. Beseitigung schädlicher Bodenverdichtungen) sind vor allem auf stark erosionsgefährdeten Flächen weitere Maß-

nahmen erforderlich. Dazu zählen v. a.:

- Die Minimierung von Zeitspannen ohne schützende Bodenbedeckung durch eine angepasste Fruchtfolgegestaltung inkl. Zwischenfruchtanbau, Untersaaten und mehrjährigem Ackerfutterbau,
- Schlagunterteilung bzw. Hanggliederung durch Furchtartenwechsel und/oder Anlage von Grünstreifen quer zum Gefälle,
- möglichst dauerhafte Begrünung von erosionsgefährdeten Abflussbahnen (s. Abb. 23) sowie weiterer besonders gefährdeter Acker(teil)flächen,
- durch Flurbereinigungsverfahren, die auf den Erosionsschutz ausgerichtet sind: Bewirtschaftung quer zum Hang, Anlage quer zum Gefälle verlaufender Grün- und Gehölzstreifen, Anlage von Wegseitengräben mit ausreichend dimensionierten Durchlässen und ggf. Anlage von Rückhaltemulden und Verwallungen,
- Vermeidung von Fremdwasserzutritt auf Ackerflächen durch fachgerechte Wasserableitung vom Oberlieger.

Nährstoffmanagement einschließlich Humusproduktion

Auch bei zunehmenden Trockenphasen und Starkregen sollen eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung der Pflanzenbestände gesichert und Nährstoffeinträge in die Umwelt minimiert werden. Auf ausgetrocknetem Boden geht fester Dünger kaum in Lösung und ist somit schwer pflanzenverfügbar. Bei Starkregen besteht zudem die Gefahr der Abschwemmung. Wird der Dünger hingegen mehrere Zentimeter tief in die unmittelbare Nähe der Pflanzenwurzeln



Abbildung 22: Streifenbearbeitung



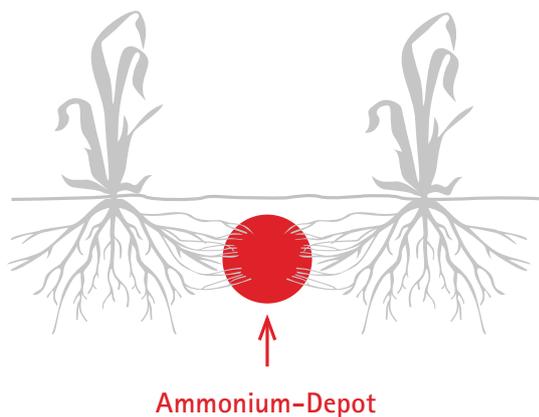
Abbildung 23: Dauerbegrünung einer erosionsgefährdeten Abflussbahn



Abbildung 24: Stickstoff-Injektionsdüngung



Abbildung 25: Streifenbearbeitung mit Gülle-Unterflurdüngung



abgelegt, ist die Abschwemmungsgefahr deutlich niedriger und die Nährstoffe können auch noch bei ausgetrockneter Bodenoberfläche von den Wurzeln aufgenommen werden. Die Injektionsdüngung sowie die Unterfuß- und Unterflurdüngung stellen mittlerweile weitgehend praktikable Applikationsverfahren dar, mit denen dies erreicht werden kann. Die Injektionsdüngung wird bereits auf mehreren Tausend Hektar in Sachsen angewendet. Mittels Sternrädern werden Depots ammoniumhaltiger Flüssigdünger in ca. 8 cm Bodentiefe neben die Pflanzenwurzeln, die diese Depots umwachsen, injiziert (s. Abb. 24). In Trockenjahren ergeben sich Ertragsvorteile gegenüber herkömmlichen Düngeverfahren, wie Untersuchungen auch in Sachsen zeigen.

Ein neuartiges Verfahren, das erst in geringem Umfang angewendet und weiter zu optimieren ist, stellt die sogenannte Streifenbearbeitung mit Unterflurdüngung dar, die auch bei der Ausbringung von Gülle und flüssigen Gärres-

ten einsetzbar ist. Der Boden wird hier nur im Bereich der späteren Aussaatreihe tief gelockert. Die übrigen Bereiche (> 50 %) bleiben unbearbeitet und mit Mulch bedeckt. In die gelockerte Saatreihe wird die Gülle ca. 15 bis 20 cm tief eingebracht (s. Abb. 25). Erste Untersuchungen zeigen eine hohe, Ausnutzung des Gülle-Stickstoffs. Aufgrund der tiefen Ablage ist auch in Trockenphasen eine hohe Nährstoffverwertung durch die Pflanzenbestände zu erwarten.

Beim Qualitätsweizenanbau kann der häufiger auftretenden Vorsommertrockenheit durch eine zeitliche Vorverlegung der Spät-Stickstoffdüngung und eine Zusammenfassung der 2. und 3. Stickstoffgabe unter Nutzung stabilisierter und damit weniger auswaschungsgefährdeter Stickstoffdünger begegnet werden.

Kalium- und Phosphormangel wirken sich unter Trockenbedingungen besonders stark ertragsmindernd aus und reduzieren dadurch die Stickstoffaufnahme. Daher sollte eine optimale Grundnährstoffversorgung der Böden sichergestellt werden. Hier bestehen in Sachsen weiterhin Defizite (siehe Sächsischer Agrarbericht).

Einer nachhaltigen Humusversorgung unserer Böden kommt bei zunehmenden Trockenphasen und Starkregen eine noch höhere Bedeutung zu. Humusabbau vermindert die Wasserhaltefähigkeit vor allem der Sandböden und beeinträchtigt das Bodengefüge und damit die Wasserinfiltration. Eine Humusübersversorgung kann wiederum zu erhöhten Stickstoffausträgen in die Umwelt führen. Untersuchungen des LfULG zeigen, dass unsere Böden überwiegend optimal mit Humus

versorgt sind. Gravierende Versorgungslücken bestehen derzeit nicht. Anhand geeigneter Humusbilanzierungsverfahren können die Landwirte Vorsorge betreiben und sowohl eine Humusunter- wie auch eine -übersorgung vermeiden. Dazu gehört auch die Beachtung von Biomasse-Abfuhrgrenzen bei der energetischen Biomassenutzung.

Bewässerung

Die Bewässerung stellt die wirksamste, jedoch auch die aufwendigste Maßnahme dar, um bei zunehmenden Trockenphasen den Feldaufgang, die Nährstoffaufnahme und damit die Ertragshöhe und Qualität der Ernteprodukte abzusichern. Dabei sollten nach der Bodenfeuchte gesteuerte Bewässerungsverfahren mit hoher Energie- und Wassernutzungseffizienz zum Einsatz kommen (s. Abb. 26 und 28). Dadurch kann auch ein Beitrag zum Gewässerschutz geleistet werden, in dem die Effizienz der Stickstoffdüngung verbessert und damit die Nitratauswaschung reduziert wird. Künftig ist ein wirtschaftlicher Anbau von Kartoffeln, Gemüse und einiger Sonderkulturen ohne Bewässerung kaum noch mög-

lich. Ist eine dieser Kulturen Bestandteil der Fruchtfolge, kann davon ausgegangen werden, dass eine Bewässerung der gesamten Fruchtfolge rentabel ist. Die Wirtschaftlichkeit einer Bewässerung hängt von vielen Faktoren ab (feste und variable Bewässerungskosten, bewässerungsbedingter Ertragszuwachs, Erzeugerpreise) und ist im konkreten Einzelfall zu prüfen. Nach Erhebungen des Statistischen Landesamtes war in Sachsen in 2009 eine Fläche von insgesamt 11.800 ha in 339 Betrieben bewässerbar. Es wurden jedoch nur 3.258 ha tatsächlich bewässert, wovon der größte Anteil auf Kartoffeln und Gemüse einschließlich Erdbeeren entfiel. In den nächsten Jahren ist mit einer Ausdehnung der bewässerten Flächen zu rechnen, wie eine Befragung des LfULG ergab. In Sachsen bestehen grundsätzlich erhebliche nachhaltig nutzbare Grundwasserdarangebote, die nicht für die öffentliche Wasserversorgung genutzt werden und weit über den potenziellen Bedarf für die Bewässerung in den nächsten Jahren hinausgehen. Für die konkrete Umsetzung ist jedoch das nachhaltig nutzbare Wasserdarangebot am konkreten Standort maßgebend.



Abbildung 26: Linearberegnungsmaschine als Beispiel für ein ressourcenschonendes Beregnungsverfahren

Pflanzenschutz

Zu den wichtigen im Bereich des Pflanzenschutzes gehörenden Anpassungsoptionen an den Klimawandel zählen vorrangig vorbeugende Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes wie z. B. der Anbau standortangepasster und widerstandsfähiger Sorten und eine vielfältige Fruchtfolge. Darüber hinaus bedarf es Veränderungen des Pflanzenschutzmittelspektrums, der Anwendungszeitpunkte und Bekämpfungsverfahren. Die Applikationstechnik muss weiterentwickelt werden. Neuentwicklungen bei der Düsen- oder Beiztechnik können die Wirkung der Pflanzenschutzmittel auch unter den veränderten Klimabedingungen verbessern. Mit der Anwendung geeigneter Zusatzstoffe für Pflanzenschutzmittel ist eine Verbesserung der Wirkung bei Trockenheit möglich. Die Auswahl und Kombination der Pflanzenschutzmittel ist noch mehr nach der Witterung auszurichten und insgesamt das Wirkstoffmanagement zu verbessern.

Die zur Aufgabenerfüllung im Pflanzenschutz bestehenden Beobachtungs- und Überwachungsmaßnahmen bzw. die laufenden Monitorings zur Befallserfassung von Krankheiten, wie derzeit in Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben, bieten eine gute Voraussetzung für die noch intensivere Nutzung bei der Erfassung von Veränderungen in der Struktur und dem Verhalten der Schadorganismenpopulation sowie der Artenvielfalt in der Unkrautflora.

Fachinformationen über Veränderungen im Spektrum und Auftreten von Krankheiten, Schädlingen oder Schadpflanzen liefern die wesentlichen Grundlagen für die Bekämpfungsentscheidungen des Landwirtes. Somit wächst auch für die Landwirte die Bedeutung der Beratungs- und Informationsmöglichkeiten (einschließlich aktueller Internetinformationssysteme, z. B. ISIP) auf regionaler Ebene. Insgesamt ist es dringend erforderlich, diese Anpassungsprozesse durch die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zu begleiten und zu unterstützen, z. B. in der angewandten Forschung und Beratung durch den amtlichen Pflanzenschutzdienst.

Entsprechend dem sich wandelnden Erregerpotenzial und veränderten Anwendungszeitpunkten sind der Einsatz und die Förderung von weiterentwickelten Methoden des integrierten und biologischen Pflanzenschutzes sowie von neu entwickelten speziellen Pflanzenschutz-Wirkstoffen zu empfehlen. Hierzu zählt auch der Einsatz von verbesserten, witterungsbasierten Schaderreger-Prognosemodellen.

Gartenbau / Weinbau

In einem kontinuierlichen Prozess entsprechend dem weiter fortschreitenden Klimawandel werden auch im Wein- und Gartenbau Anpassungsmaßnahmen in den Bereichen Sortenwahl, Anbauverfahren (Saat-/Pflanztermine, Pflanzendichte, Pflegemaßnahmen), Erosionsschutz, Humusversorgung, wassernutzungseffiziente Düngung, Pflanzenschutz sowie Bewässerung (vorrangig Gemüse) erprobt und umgesetzt. Dabei sind gerade in Wein- und Gartenbau künftig auch die Chancen einer weiteren Erwärmung und einer Verlängerung der Vegetationszeit durch Anpassungen des Sortenspektrums sowie des Artenspektrums (Gartenbau) zu nutzen. Änderungen des Artenspektrums sind im Gemüse- und Obstbau derzeit jedoch kaum und erst perspektivisch bei weiter fortschreitender Erwärmung zu erwarten. Eine besondere Herausforderung stellen Extremereignisse wie Hagel, Starkregen und Spätfröste dar. Hier kommt dem betrieblichen Risikomanagement einschließlich Versicherungslösungen (Hagel-/ Mehrgefahrenversicherung) Bedeutung zu. Im Wein- und Apfelanbau können Hagelschutznetze (s. Abb. 27) erheblich zur Schadensminderung beitragen, wobei eine ausreichende Lichteinstrahlung zu gewährleisten ist. Dies kann im Weinbau durch Seitenbespannung und im Apfelanbau durch flexibel zu öffnende und zu schließende Einreihenhagelschutznetze erreicht werden. Im Apfelanbau sind diese Schutzvorrichtungen bereits in der Praxis relevant.



Abbildung 27: Einreihenhagelschutznetz im Apfelanbau

Unterstützung des Anpassungsprozesses durch den Freistaat Sachsen



Abbildung 28: Tröpfchenbewässerung als Beispiel für ein ressourcenschonendes Bewässerungsverfahren



Abbildung 29: Qualitäts-Mischung für Grünland unter anderem mit Chicorée und blühender Esparsette

Der Freistaat Sachsen unterstützt den Anpassungsprozess vor allem mit folgenden Instrumenten:

- Erhalt günstiger Rahmenbedingungen,
- angewandte Forschung,
- Fördermaßnahmen,
- Wissens-/Erfahrungstransfer in die landwirtschaftliche Praxis.

Erhalt günstiger Rahmenbedingungen

- Erhalt der erforderlichen Kapazität und Infrastruktur für die angewandte Forschung auch zur Anpassung an den Klimawandel, u.a. Versuchsstationen, Gewächshäuser mit entsprechender Ausstattung sowie Laborkapazitäten,
- Erhalt des bisherigen Mess- und Erfassungssystems zum Klimafolgenmonitoring, u. a.:
 - Agrarmeteorologisches Messnetz,
 - Schaderregerüberwachung,
 - Dauerfeldversuche,
 - Lysimeterversuche zur Nährstoffverlagerung in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung,
 - Bodendauermonitoring.

Angewandte Forschung

Für eine Vielzahl von Anpassungsmöglichkeiten werden begleitende Projekte der angewandten Forschung durchgeführt, um praxistaugliche Lösungen für sächsische Standortbedingungen zu erarbeiten. Dabei kommt den auf mindestens 30 Jahre angelegten Klima-Dauerversuchen auf den Feldversuchsflächen in Baruth und Forchheim eine besondere Bedeutung zu.

Zu den wichtigsten Fragestellungen und Aspekten der angewandten Forschung zählen dabei u. a.:

- Die Sortenprüfung als Grundlage für standort- und damit auch klimaangepasste Sortenempfehlungen,
- die Prüfung bislang nicht oder kaum angebaute Kulturarten hinsichtlich Anbaueignung und Verfahrensoptimierung sowie von trockenheitstoleranteren Futterpflanzen- und Grünlandarten (v. a. Chicorée, Esparsette - s. Abb. 29) sowie Artenmischungen,
- der umfassende Fruchtfolge-Dauerversuch in Forchheim und Baruth bei variierter Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz sowie - nur in Baruth - Bewässerung,

- die Anpassung der Düngungsstrategie hinsichtlich Applikationstechnik, Düngerform (Depot- und stabilisierte Dünger) und der Düngebedarfsermittlung auch im Hinblick auf wärmere Winter und steigenden Umsatz von Humus und organischen Düngern,
- Untersuchungen zur weiteren Verfahrensoptimierung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung, Direktsaat und Streifenbearbeitung auch in Verbindung mit ergänzenden erosionsmindernden Begrünungs-, Flur- und Schlaggestaltungsmaßnahmen,
- Untersuchungen zu Hagelschutznetzen im Baumobstanbau,
- Ableitung modellgestützter Empfehlungen zur nachhaltigen Humusreproduktion unter Berücksichtigung nachwachsender Rohstoffe - Integration dieser Empfehlungen in das Düngebedarfsmodell BEFU bzw. das Folgemodell,
- Prüfung verschiedener Bewässerungstechniken im Kartoffelanbau (Projektabschluss) sowie Bewässerungsversuche im Apfel- und Gemüseanbau.

Fördermaßnahmen

Ein Großteil der vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen kann mit den vorhandenen Förderangeboten wirksam unterstützt werden. Das Spektrum reicht von flächenbezogenen Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz sowie einer effizienteren Wassernutzung über investive Maßnahmen für innovative Spezialtechnik, Beregnungsanlagen und Hagelschutznetze bis hin zu klimaangepassten Stallanlagen und Diversifizierungsmaßnahmen.

Tabelle 3: Fördermaßnahmen und ihre Wirkungen

Maßnahme	Wirkung
Flächenbezogene Maßnahmen nach Richtlinie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (RL AUK/2015)	
Anwendung der Streifen- und Direktsaat,	Minderung Oberflächenabfluss, Bodenerosion, Verbesserung Wasserverfügbarkeit für Pflanzen
Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten	Humusbildung, Minderung Oberflächenabfluss, Bodenerosion, Nitratauswaschung,
umweltschonende Produktionsverfahren des Ackerfutter- und Leguminosenbaus	Humusbildung, Minderung Oberflächenabfluss, Bodenerosion, Anbaumöglichkeit tiefwurzelnder trockenoleranter Arten (z. B. Luzerne)
Anlage von Grünstreifen, Brache- und Blühflächen	Minderung von Oberflächenabfluss, Bodenerosion u. a. durch gezielte Begrünung erosionsgefährdeter Abflussbahnen
Investive Maßnahmen nach Richtlinie Landwirtschaft, Innovation, Wissenstransfer (RL LIW/2014)	
Maschinen und Geräte zur Injektion und Direkteinbringung von Flüssigung auf Acker- und Grünland	Verbesserung der Düngewirkung und damit Nährstoffeffizienz von Gülle, Gärreste etc. auch unter Trockenbedingungen durch verlustarme Einbringung in den Boden (Injektion, Unterfuß- und Unterflurdüngung)
Errichtung von Tropfbewässerungsanlagen in Wein-, Obst- und Hopfenanlagen inkl. baulicher Investitionen zur Bereitstellung von Bewässerungswasser (Brunnen, Speicher, Leitungen etc.)	Ertrags- und Qualitätssicherung unter Trockenbedingungen, Verbesserung der N-Effizienz und Minderung von Nitratausträgen
ressourcenschonende Beregnungs-/Bewässerungsanlagen inkl. baulicher Investitionen zur Bereitstellung von Bewässerungswasser (Brunnen, Speicher, Leitungen etc.) beim Anbau von Feldgemüse, Kartoffeln sowie Heil- und Gewürzpflanzen, auch in Fruchtfolgen mit einer od. mehrerer dieser Kulturen	Ertrags- und Qualitätssicherung unter Trockenbedingungen, Verbesserung der N-Effizienz und Minderung von Nitratausträgen
Errichtung von Schutzvorrichtungen in Weinbau- und Baumobstanlagen (neue und bestehende) wie z. B. von Hagelschutznetzen	Hagelschutz
Investitionen in Gebäude und Anlagen einschließlich Technik der Innenwirtschaft der Nutztierhaltung	Förderung von Tierhaltungsanlagen mit angepassten Techniken/ Ausrüstungselementen gegen Hitze- und Staubbelastungen der Tiere wie Be-/Entlüftungstechnik, Klimatisierung, Wärme- und Staubschutzvorrichtungen etc.
innovative Spezialtechnik (fachliches Gutachten erforderlich)	Förderung innovativer Techniken, die zur Klimafolgenanpassung beitragen

Förderung nach Richtlinie Natürliches Erbe (RL NE/2014)	
Förderung von Biotopgestaltungsmaßnahmen, insbesondere die Anlage und Sanierung von Gehölzen des Offenlandes (Hecken, Feldgehölze)	Schutz vor Oberflächenabfluss und Wasserosion; Minderung der Windgeschwindigkeit, der Winderosion und der Verdunstung
Wissenstransfer nach Richtlinie Landwirtschaft, Innovation, Wissenstransfer (RL LIW/2014)	
Vorhaben des Wissenstransfers wie Workshops, Feldtage, Exkursionen u. a. zur Verbesserung der Wasserwirtschaft, der Anpassungsfähigkeit der Landbewirtschaftung an klimatische Veränderungen, zur Verhinderung von Bodenerosion und Verbesserung der Bodenbewirtschaftung	Vermittlung fachlicher Inhalte/Ergebnisse und praktische Erfahrungen zu den Anpassungsmaßnahmen
Europäische Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit (EIP)“	
Es wird gefördert: a) die Einrichtung und Tätigkeit von operationellen Gruppen aus Interessengruppen der Forschung/Technologie und der Land-/Ernährungs-/Forstwirtschaft zur Durchführung innovativer Projekte b) die Umsetzung innovativer Lösungen durch Pilotprojekte	Förderung innovativer Lösungen zur Anpassung an den Klimawandel durch Zusammenarbeit von Landwirten mit Forschungs-/Technologieeinrichtungen
Verordnung (EU) 1308/2013 Auf der Grundlage dieser Verordnung werden EU-Zuschüsse für Tropfbewässerungsanlagen sowie Ernteversicherungen (Frost, Hagel) im Wein- und Gartenbau gewährt. Diese Fördermöglichkeiten werden im Freistaat Sachsen angeboten.	

Wissens-/Erfahrungstransfer in die landwirtschaftliche Praxis

Der Förderung des Wissens- und Erfahrungstransfers kommt eine besondere Bedeutung bei der Unterstützung des Anpassungsprozesses der sächsischen Landwirtschaft zu. Neben landesweit angebotenen Fachinformationsveranstaltungen zum Klimawandel und möglichen Anpassungsmaßnahmen wurden vom LfULG 10 Arbeitskreise mit jeweils ca. 20 Landwirten mit der Zielsetzung eingerichtet, landwirtschaftliche Stoffausträge zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu vermindern und dabei die bestehenden umfangreichen Synergieeffekte zum Boden-, Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel zu nutzen. Vor dem Hintergrund zunehmender Wetter- und Witterungsextreme bedarf es wirksamer Anpassungsmaßnahmen im Pflanzenbau, um Fortschritte im Boden- und Gewässerschutz zu erreichen. In die Arbeitskreisarbeit sind u. a. die ein- und zweijährigen Fachschulen, die angewandte Forschung, der Verein „Konservierende Bodenbearbeitung / Direktsaat“, sowie die Öffentlichkeitsarbeit einbezogen. Hier wurde somit ein Netzwerk zum Wissens-/Erfahrungsaustausch aufgebaut. Mit den Arbeitskreisen wird den Landwirten die Möglichkeit gegeben, auf der Grundlage von Ergebnissen der angewandten Forschung und eines intensiven Erfahrungsaustauschs wirksame Maßnahmen zur Stoffaustragsminderung und zur Klimafolgenanpassung in ihren Betrieben zu erproben und umzusetzen

Ein wichtiges Instrument der Arbeitskreisarbeit stellt die Anlage, Begleitung und Auswertung von Demonstrationsvorhaben dar. U. a. zu den folgenden thematischen Schwerpunkten wurden umfangreiche Demonstrationen angelegt:

- Injektionsdüngung sowie Unterfußdüngung zu verschiedenen Ackerkulturen,
- Teilschlagspezifische N-Düngung inkl. Gülledüngung,
- effizienter Einsatz von Wirtschaftsdüngern (v. a. im Frühjahr) mit und ohne Nitrifikationshemmern,
- Streifenbearbeitung und Unterflurdüngung zu Raps und Mais,
- Zwischenfruchtanbau inkl. Untersaat zu Mais,
- Optimierung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung mit Integration der Streifenbearbeitung / Direktsaat,
- Variation der Aussaatstärke (Ziel: kräftige Einzelpflanzen mit tiefer Durchwurzelung und besserer Wasserausnutzung).

Die Ergebnisse und Erfahrungen aus den Arbeitskreisen werden in landesweit angebotenen Veranstaltungen sowie in die Aus- und Weiterbildung einbezogen und anderen Landwirten anschaulich vermittelt. Die Arbeitskreise sollen dadurch eine Impuls und Beispiel gebende Wirkung auf andere Landwirte entfalten.

Boden



*Böden sind wichtige Schnittstellen
und Reaktionsräume im Energie- und
Klimahaushalt.*

4

Autoren: Dr. Arnd Bräunig, LfULG; Dr. Natalja Barth, LfULG

Boden und Klimawandel

Zwischen Boden und Klima bestehen komplexe Wechselbeziehungen mit teilweise sich verstärkenden Rückkopplungseffekten. Einerseits sind die Böden unmittelbar von künftigen Klimaänderungen betroffen. Andererseits haben Eingriffe und klimabedingte Veränderungen der Bodeneigenschaften Auswirkungen auf das Klima.

Böden sind deshalb wichtige Schnittstellen und Reaktionsräume im Energie- und Klimahaushalt. Klimaänderungen können vor allem Änderungen beim Bodenwasserhaushalt, bei der Bodenerosion und beim Humushaushalt bewirken.

Auswirkungen des Klimawandels

Bodenerosion



Abbildung 30: Bodenerosion durch einen Starkregen im Mai

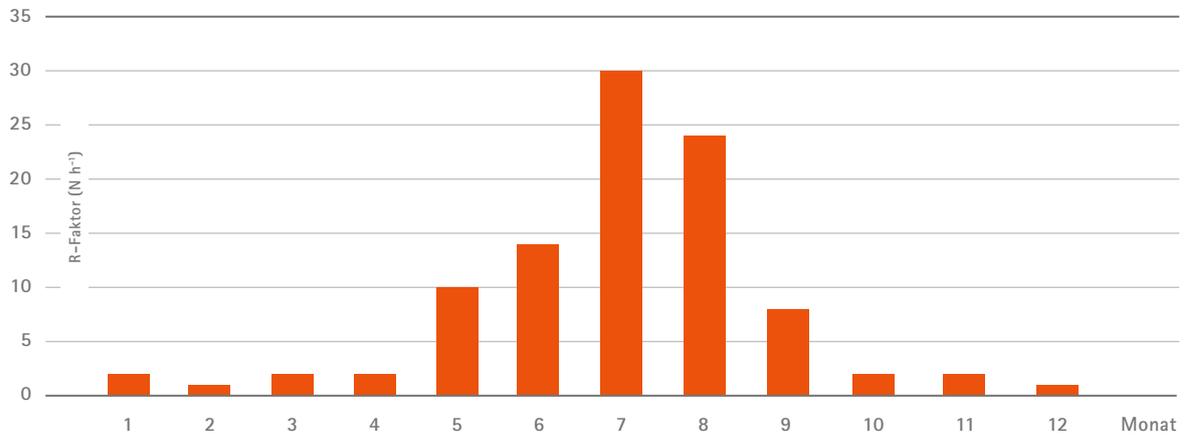


Abbildung 31: Langjährig mittlerer Jahresgang der erosiven Niederschläge (R-Faktor nach DIN 19708), Mittelwert aus Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes in Sachsen

In Sachsen sind aufgrund der Boden- und Reliefverhältnisse etwa 60 % der Ackerfläche hoch bis äußerst hoch erosionsgefährdet. Starkregenereignisse treten häufig von Mai bis September auf. Sie führen örtlich vor allem dann zu erheblichen Erosionsschäden (s. Abb. 30), wenn der Boden nicht durch eine Pflanzendecke geschützt ist. Besonders erosionsempfindlich sind die ackerbaulich genutzten Böden nach dem Pflügen und der anschließenden Saatbettbereitung. Diese Bodenverhältnisse liegen insbesondere im April und Mai bei den Sommerfrüchten (Mais, Rüben, Kartoffeln, Erbsen, Sommergetreide) und von August bis Oktober bei den Winterkulturen (Winterraps, Wintergetreide) vor.

Aus der Abbildung 31 wird ersichtlich, dass insbesondere in den Sommermonaten die Niederschläge eine hohe Erosionskraft haben. Rund 90 % der Starkregen finden in den Monaten Mai bis September statt. Dies sind insbesondere Gewitterniederschläge, die durch eine hohe Intensität und häufig große Regentropfen charakterisiert sind.

Durch die Aufprallkraft der Regentropfen verschlämmt die ungeschützte Bodenoberfläche (s. Abb. 32), wodurch das Niederschlagswasser kaum noch in den Boden versickern kann. Ein guter Indikator für die Erosivität der Niederschläge ist der R-Faktor (DIN 19708 Kapitel 4.2). Er wird aus zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsmessungen berechnet (Messreihen mit 10-Minuten-Niederschlagssummen). Auswertungen von langjährigen Messreihen zeigen, dass in Sachsen in den letzten 15 bis 20 Jahren der R-Faktor in



Abbildung 32: Verschlämzung einer ungeschützten Bodenoberfläche bei Niederschlag

der Tendenz zunimmt. Starkregenereignisse sind durch eine hohe jährliche Variabilität gekennzeichnet. Infolgedessen sind zuverlässige Trendaussagen erst nach langen Zeiträumen möglich. Aus Abbildung 33 ist gut die hohe jährliche Variabilität der Starkregen (R-Faktor) ersichtlich. Die rote Linie beschreibt den 10-jährig gleitenden Mittelwert. Er berechnet sich aus den jeweiligen zurückliegenden 10 Jahren. Folglich beginnt der Verlauf der roten Linie 1962 nach den ersten 10 Messjahren.

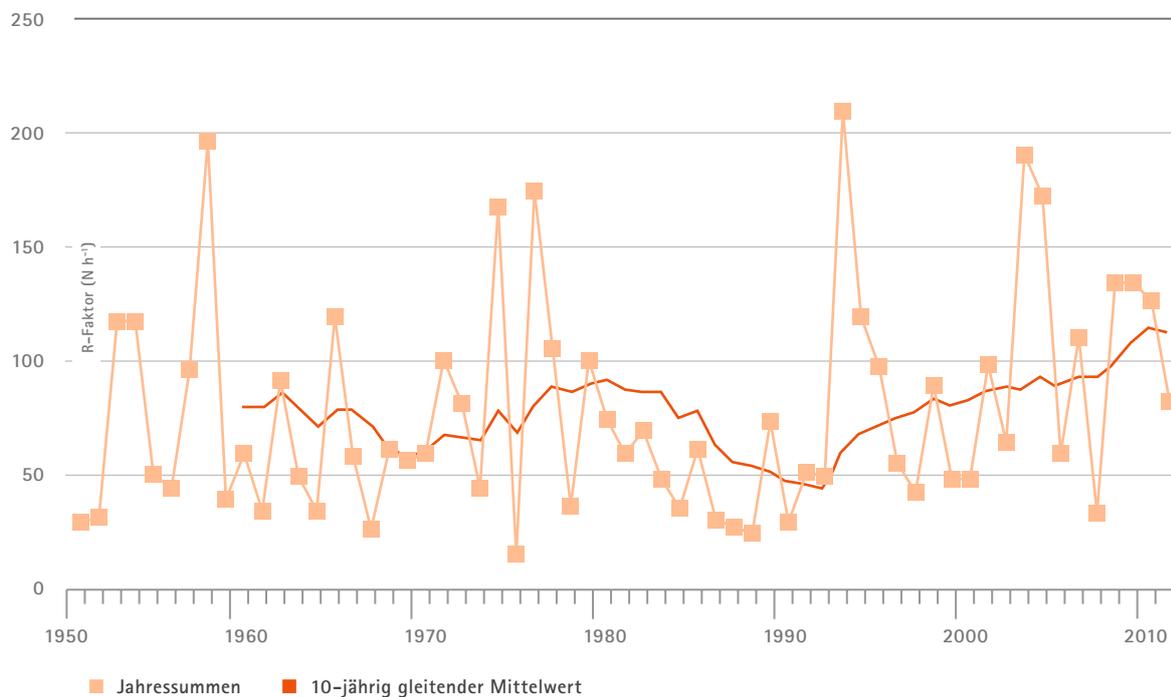


Abbildung 33: Verlauf der R-Faktoren von 1952 bis 2012, abgeleitet nach DIN 19708 für die DWD Station Chemnitz

Die Bewertung nach DIN 19708 (s. Abb. 34) zeigt, dass auf vielen Ackerflächen in Sachsen mit einer hohen potenziellen Erosionsgefährdung zu rechnen ist. In der Bodenerosionsgefährdungskarte (s. Abb. 35) fällt insbesondere die großräumige Gefährdung im Mittelsächsischen Lösshügelland auf.

Gegen Bodenerosion kann eine Vielzahl von Maßnahmen ergriffen werden. Diese sind bereits unter den aktuellen Klimabedingungen an vielen Standorten Sachsens erforderlich, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und Erosionsschäden außerhalb der Ackerfläche zu vermeiden.

Eine bodenschonende Bewirtschaftung sowie eine entsprechende vielgliedrige Fruchtfolge ist eine wichtige Grundlage für den Schutz vor Bodenerosion (s. auch Kap. Landwirtschaft).

In Ergänzung zu der dauerhaft nichtwendenden Bodenbearbeitung können die Teilung landwirtschaftlicher Flurstücke (Schläge) bzw. die Gliederung von langen Hängen durch verschiedene Fruchtarten im Hangverlauf verhindern, dass sich der gesamte Hang oder auch ein Wassereinzugsgebiet in einem einheitlichen, ungünstigen Bodenbedeckungszustand befindet (z. B. Saatbettzustand ohne Mulchbedeckung).

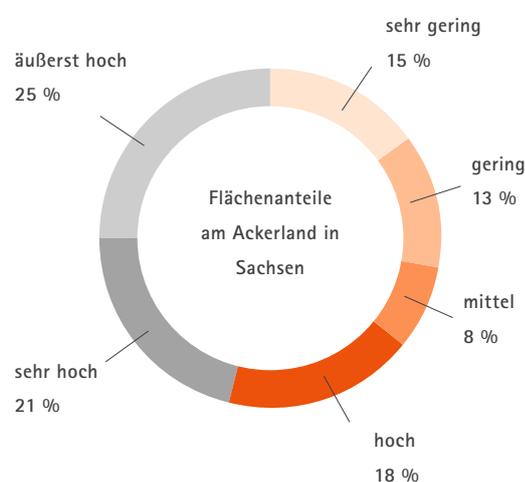


Abbildung 34: Potenzielle Bodenerosionsgefährdung nach DIN 19708

Bei einem Starkregen konzentriert sich das auf der Bodenoberfläche ablaufende Regenwasser in natürlich vorhandenen Abflussbahnen des Reliefs (Tiefenlinien). Das dort wild, also nicht in einem Gewässerbett abfließende Wasser kann bei einem ungeschützten Boden zu erheblichen Erosionsschäden führen (s. Abb. 36).

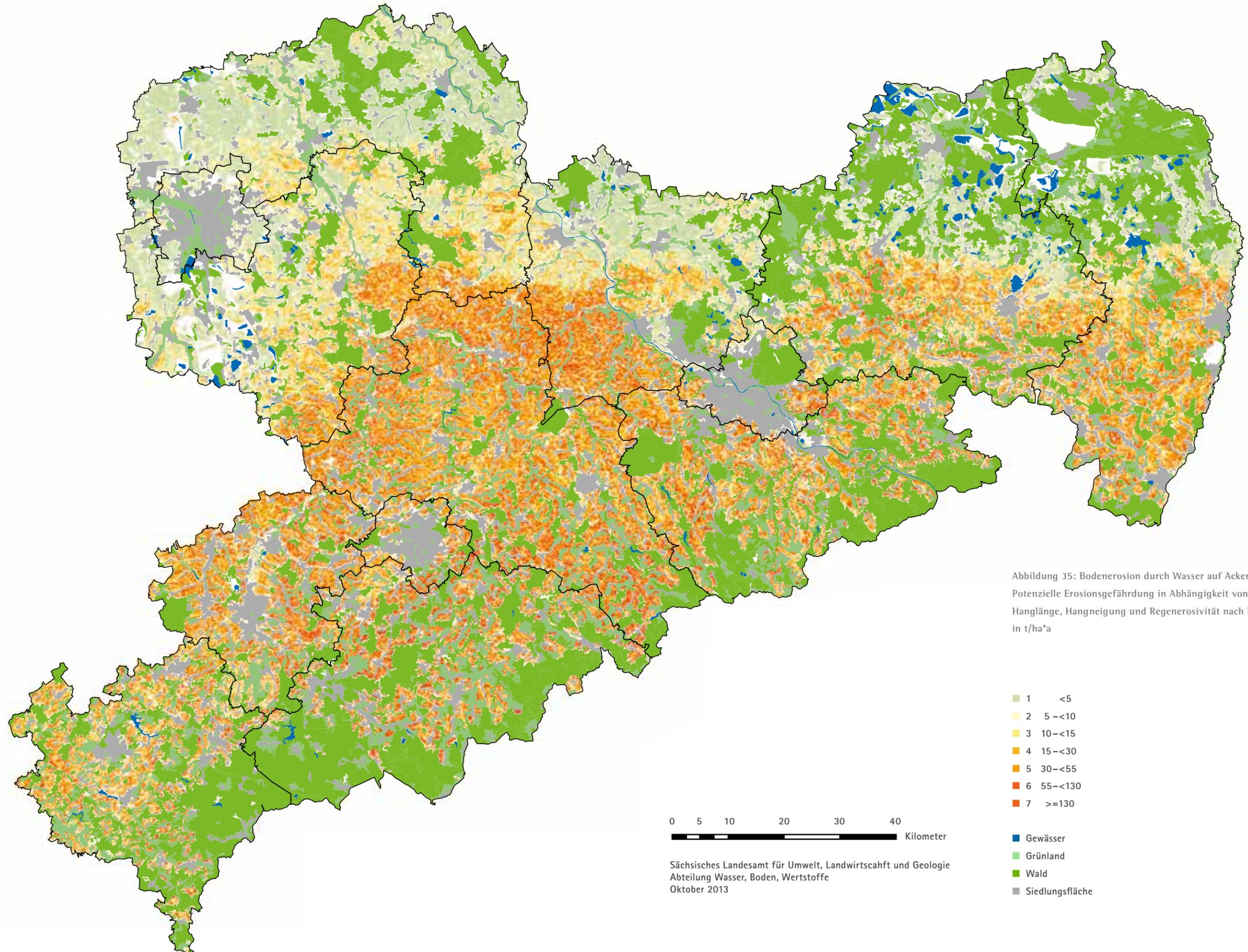


Abbildung 35: Bodenerosion durch Wasser auf Ackerland
Potenzielle Erosionsgefährdung in Abhängigkeit von Bodenart,
Hanglänge, Hangneigung und Regenerosivität nach DIN 19708
in t/ha*a

0 5 10 20 30 40
Kilometer

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe
Oktober 2013

- 1 <5
- 2 5 - <10
- 3 10 - <15
- 4 15 - <30
- 5 30 - <55
- 6 55 - <130
- 7 >=130
- Gewässer
- Grünland
- Wald
- Siedlungsfläche

Daher sind bei Starkregen Ackerflächen in reliefbedingten Abflussbahnen, insbesondere in Phasen geringer Pflanzenbedeckung, beträchtlich gefährdet. Unter Dauergrünland oder Wald sind diese Bereiche gewöhnlich gut vor Bodenerosion geschützt. Die Publikation des LfULG „Begrünung von erosionsgefährdeten Abflussbahnen“ gibt hierzu entsprechende Hinweise.

Bodenerosion durch Wind ist in Sachsen ein vergleichsweise geringes Problem. Eine hohe bis sehr hohe potenzielle Winderosionsgefährdung ist auf nur ca. 7 % der Ackerfläche verbreitet (standortabhängige Winderosionsgefährdung nach DIN 19706). Böden der nordsächsischen Sandregionen sind insbesondere dann gefährdet, wenn feinsandreiche Oberböden stark abtrocknen und über keine schützende Vegetationsdecke verfügen. Diese Situation kann insbesondere bei Frühjahrstrockenheit nach der Aussaat von Sommerfrüchten sowie im Herbst bei den Winterkulturen auftreten. Besondere Probleme der Winderosion können zudem in den offenen, noch nicht rekultivierten Tagebauen des Braunkohlebergbaus auftreten. Eine besondere Gefahrensituation kann für Autofahrer eintreten, wenn durch Winderosion die Sicht auf den Straßen erheblich eingeschränkt wird (s. Abb. 37).

Winderosion kann durch eine gute Bodenbedeckung verhindert werden, die im Ackerbau durch eine pfluglose Bodenbearbeitung mit Mulchsaat erreicht werden kann. Eine besondere Bedeutung haben auch Windschutzhecken, deren positive Wirkung ebenfalls nachgewiesen ist.

Bodenwasserhaushalt

Der Bodenwasserhaushalt nimmt eine Schlüsselstellung für viele Fragen des Bodenschutzes ein. Klimaänderungen können sich erheblich auf den Wasserhaushalt der Böden auswirken. Es ist davon auszugehen, dass sich die Klimaänderungen in Abhängigkeit von der Bodenform und den regionalen Klimabedingungen in Sachsen künftig unterschiedlich auswirken werden.

Durch höhere Lufttemperaturen und in der Tendenz geringere Niederschläge, die zunehmend als Starkregen fallen, nimmt die Bodenfeuchte ab. Böden mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität (pflanzenverfügbare Wasserrückhalt im Boden) können bei längeren Trockenphasen die Pflanzen nicht mehr ausreichend mit Wasser versorgen. Lössböden hingegen sind aufgrund der hohen nutzbaren Feldkapazität weniger von Trockenphasen betroffen. Auf diesen Böden wird jedoch unter den erwarteten Klimaänderungen die Sickerwasserspende (potenzielle Grundwasserneubildung) weiter zurückgehen.



Abbildung 36: Erosionsschäden durch Starkregen



Abbildung 37: Winderosion

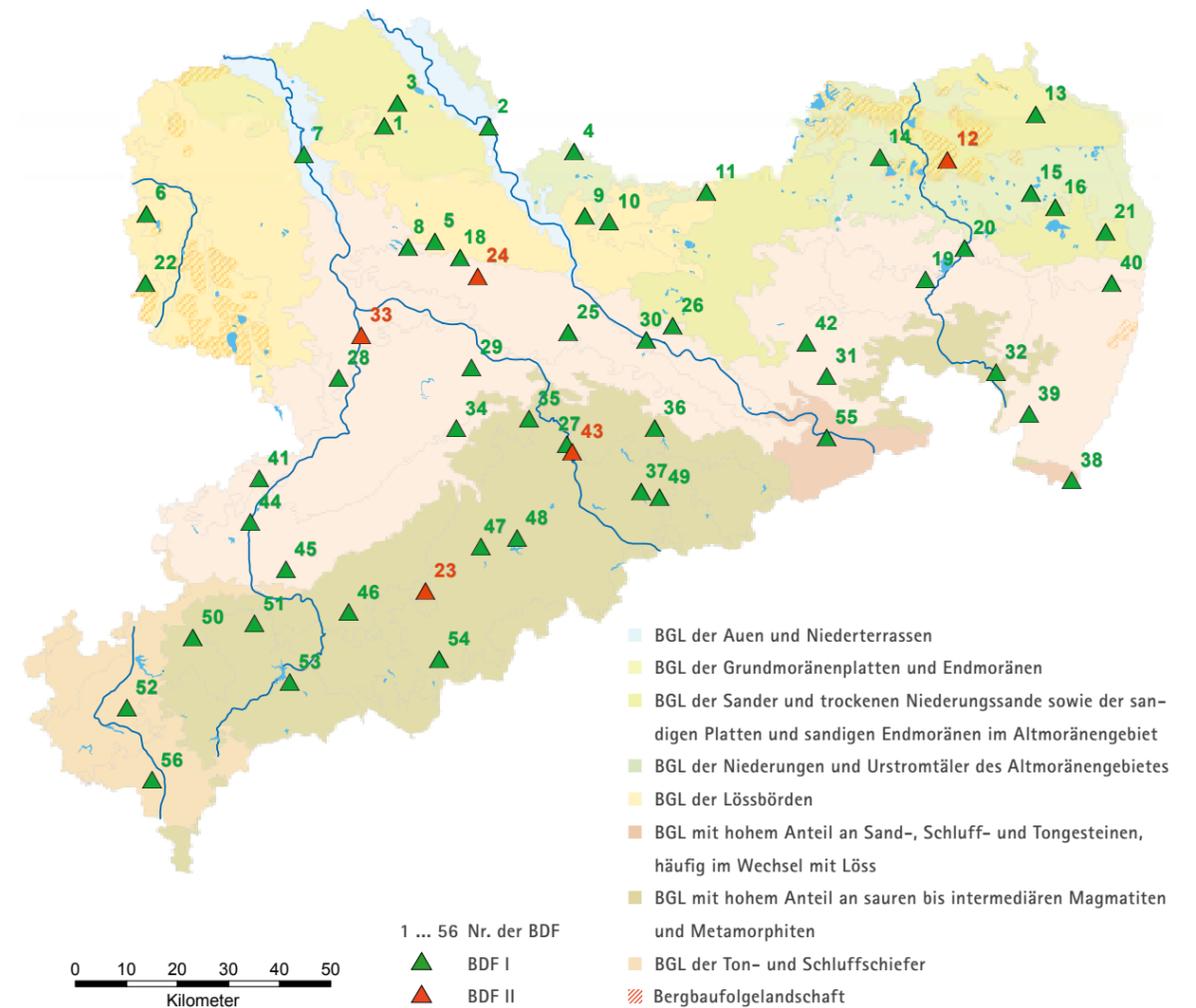


Abbildung 38: Lage der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in den Bodengroßlandschaften (BGL)

Da der Wasservorrat des Bodens sehr stark von den Klimatelementen wie z. B. Niederschlag und Temperatur beeinflusst wird, kann der Bodenwassergehalt gut als Klimaindikator verwendet werden. Die Auswertung der auf fünf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF II) (s. Abb. 38) kontinuierlich gemessenen bodenphysikalischen Parameter Bodenfeuchte und Bodentemperatur sowie der parallel gemessenen klimatischen Kenngrößen Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftfeuchte, Lufttemperatur und Niederschlagsmenge lassen wichtige Zusammenhänge zwischen Klimatelementen und Bodenfeuchte erkennen. Insbesondere der Permanente Welkepunkt (PWP, Grenzbereich für den Wassergehalt eines Bodens, bei dem die meisten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auch bei sonst

optimalen Standortbedingungen irreversibel zu welken beginnen) kann als kritischer Indikator für den Bodenwassergehalt genutzt werden.

Die jährliche Häufigkeit des Erreichens des PWP in Oberböden an sieben aufeinanderfolgenden Tagen weist starke regionale, bodenabhängige und jährliche Unterschiede auf. Der kritische Wassermangel trat bisher im Mittelsächsischen Lösshügelland, in der Aue der Zwickauer Mulde und im Nordosten Sachsens (Gebiet der Muskauer Heide) erst ab etwa Ende Juni auf, wenn bei vielen Kulturen die Keim- und Hauptentwicklungsphase bereits abgeschlossen ist. Auf den Böden der Bodengroßlandschaft (BGL) der Berg- und Hügelländer wurde innerhalb des Messzeitraums der PWP nicht erreicht.

Daher sind bei Starkregen Ackerflächen in reliefbedingten Abflussbahnen, insbesondere in Phasen geringer Pflanzenbedeckung, beträchtlich gefährdet. Unter Dauergrünland oder Wald sind diese Bereiche gewöhnlich gut vor Bodenerosion geschützt. Die Publikation des LfULG „Begrünung von erosionsgefährdeten Abflussbahnen“ gibt hierzu entsprechende Hinweise.

Bodenerosion durch Wind ist in Sachsen ein vergleichsweise geringes Problem. Eine hohe bis sehr hohe potenzielle Winderosionsgefährdung ist auf nur ca. 7 % der Ackerfläche verbreitet (standortabhängige Winderosionsgefährdung nach DIN 19706). Böden der nordsächsischen Sandregionen sind insbesondere dann gefährdet, wenn feinsandreiche Oberböden stark abtrocknen und über keine schützende Vegetationsdecke verfügen. Diese Situation kann insbesondere bei Frühjahrstrockenheit nach der Aussaat von Sommerfrüchten sowie im Herbst bei den Winterkulturen auftreten. Besondere Probleme der Winderosion können zudem in den offenen, noch nicht rekultivierten Tagebauen des Braunkohlebergbaus auftreten. Eine besondere Gefahrensituation kann für Autofahrer eintreten, wenn durch Winderosion die Sicht auf den Straßen erheblich eingeschränkt wird (s. Abb. 37).



Abbildung 36: Erosionsschäden durch Starkregen

Winderosion kann durch eine gute Bodenbedeckung verhindert werden, die im Ackerbau durch eine pfluglose Bodenbearbeitung mit Mulchsaat erreicht werden kann. Eine besondere Bedeutung haben auch Windschutzhecken, deren positive Wirkung ebenfalls nachgewiesen ist.

Bodenwasserhaushalt

Der Bodenwasserhaushalt nimmt eine Schlüsselstellung für viele Fragen des Bodenschutzes ein. Klimaänderungen können sich erheblich auf den Wasserhaushalt der Böden auswirken. Es ist davon auszugehen, dass sich die Klimaänderungen in Abhängigkeit von der Bodenform und den regionalen Klimabedingungen in Sachsen künftig unterschiedlich auswirken werden.

Durch höhere Lufttemperaturen und in der Tendenz geringere Niederschläge, die zunehmend als Starkregen fallen, nimmt die Bodenfeuchte ab. Böden mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität (pflanzenverfügbarer Wasserrückhalt im Boden) können bei längeren Trockenphasen die Pflanzen nicht mehr ausreichend mit Wasser versorgen. Lössböden hingegen sind aufgrund der hohen nutzbaren Feldkapazität weniger von Trockenphasen betroffen. Auf diesen Böden wird jedoch unter den erwarteten Klimaänderungen die Sickerwasserspende (potenzielle Grundwasserneubildung) weiter zurückgehen.



Abbildung 37: Winderosion

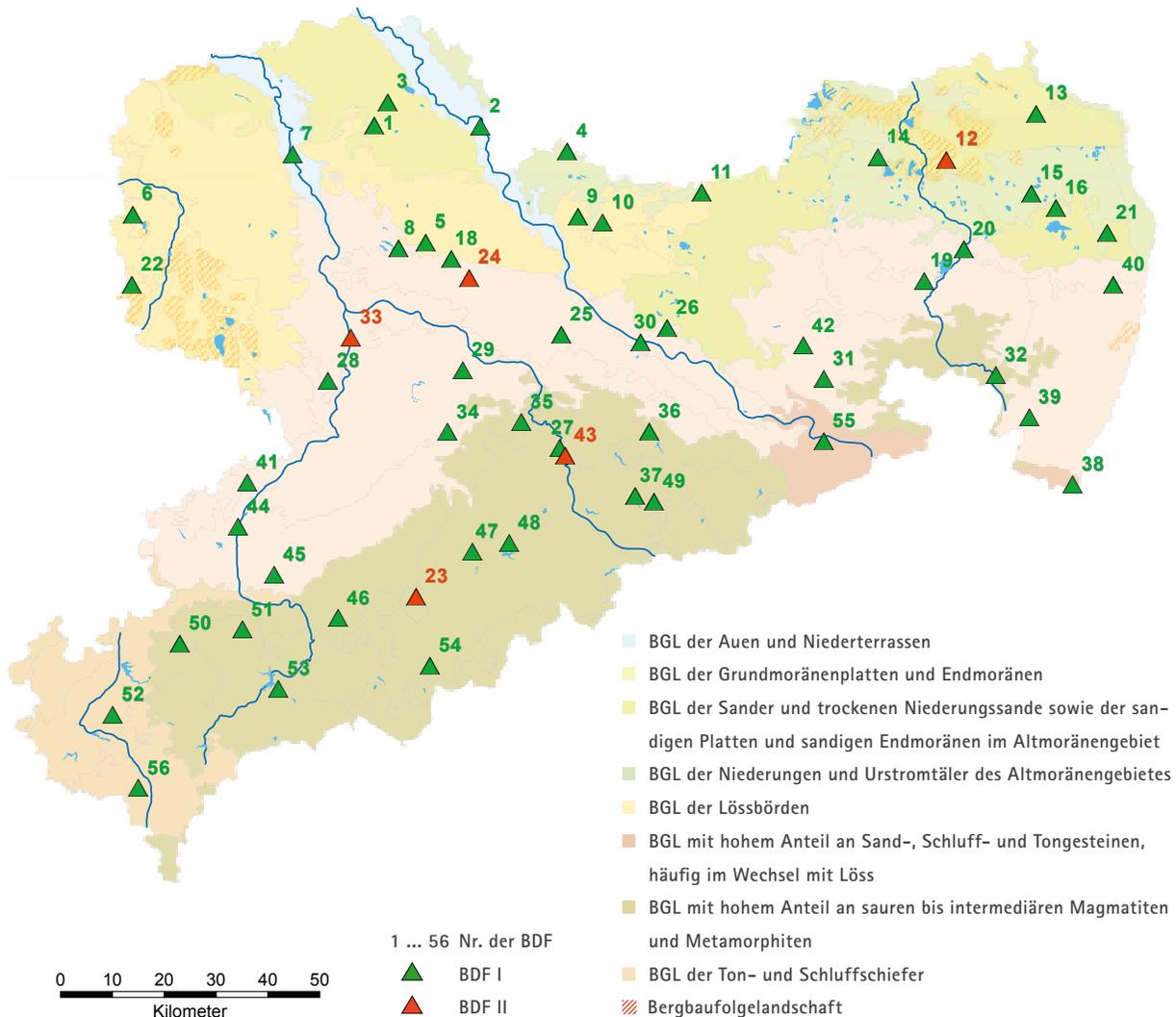


Abbildung 38: Lage der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in den Bodengroßlandschaften (BGL)

Da der Wasservorrat des Bodens sehr stark von den Klimatelementen wie z. B. Niederschlag und Temperatur beeinflusst wird, kann der Bodenwassergehalt gut als Klimaindikator verwendet werden. Die Auswertung der auf fünf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF II) (s. Abb. 38) kontinuierlich gemessenen bodenphysikalischen Parameter Bodenfeuchte und Bodentemperatur sowie der parallel gemessenen klimatischen Kenngrößen Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftfeuchte, Lufttemperatur und Niederschlagsmenge lassen wichtige Zusammenhänge zwischen Klimatelementen und Bodenfeuchte erkennen. Insbesondere der Permanente Welkepunkt (PWP, Grenzbereich für den Wassergehalt eines Bodens, bei dem die meisten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auch bei sonst

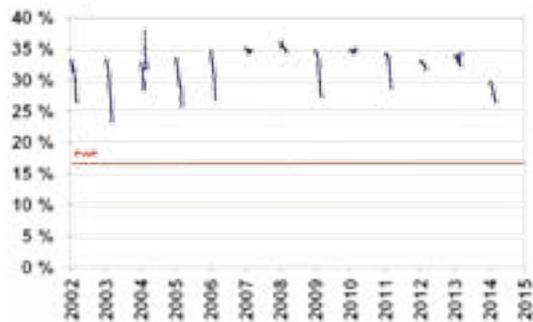
optimalen Standortbedingungen irreversibel zu welken beginnen) kann als kritischer Indikator für den Bodenwassergehalt genutzt werden.

Die jährliche Häufigkeit des Erreichens des PWP in Oberböden an sieben aufeinanderfolgenden Tagen weist starke regionale, bodenabhängige und jährliche Unterschiede auf. Der kritische Wassermangel trat bisher im Mittelsächsischen Lösshügelland, in der Aue der Zwickauer Mulde und im Nordosten Sachsens (Gebiet der Muskauer Heide) erst ab etwa Ende Juni auf, wenn bei vielen Kulturen die Keim- und Hauptentwicklungsphase bereits abgeschlossen ist. Auf den Böden der Bodengroßlandschaft (BGL) der Berg- und Hügelländer wurde innerhalb des Messzeitraums der PWP nicht erreicht.

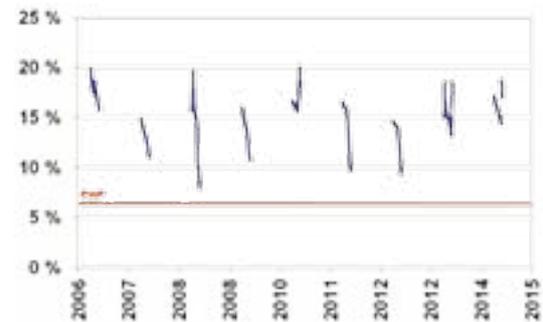
Insbesondere im Frühjahr (April und Mai) verringert sich der Bodenwasservorrat rapide (s. Abb. 39). Länger andauernde Trockenperioden würden diesen Effekt künftig weiter

verstärken und zu kritisch niedrigen Bodenwassergehalten großräumig in Sachsen mit Ausnahme der Böden der Berg- und Hügelländer führen.

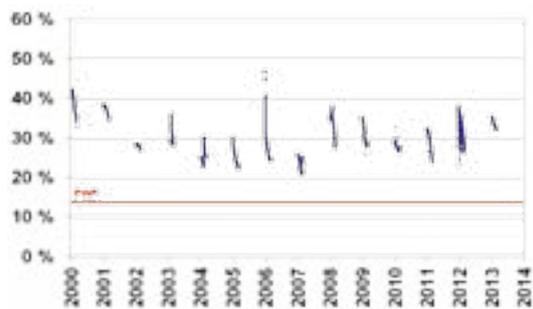
Mittelsächsisches Lösshügelland
mitteltoniger Schluff (Ut3) – Acker



Muskauer Heide, Bergbaufolgelandschaft
schwach schluffiger Sand (Su2) – Brache



Aue der Zwickauer Mulde
schwach schluffiger Sand (Su2) – Grünland



Böden der Berg- und Hügelländer
schluffig-lehmiger Sand (Slu) – Acker

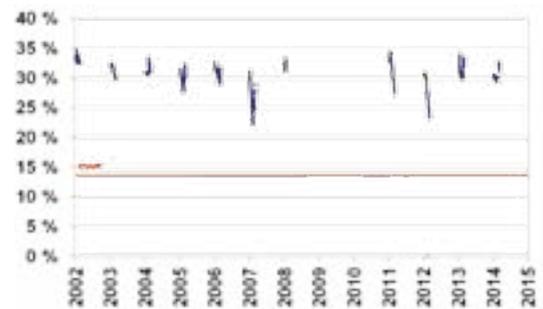


Abbildung 39: Bodenfeuchteverlauf in den oberen Horizonten der BDF II im Frühjahr in den Monaten April und Mai



Abbildung 40: Mulchsaat Mais

Darüber hinaus treten kritisch niedrige Bodenwassergehalte massiv in trockenen Jahren, z. B. im Jahr 2003 auf allen Böden auf.

Maßnahmen, die Bodenerosion vermeiden bzw. vermindern, sind auch geeignet, die erwarteten Klimaauswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt abzumildern, denn sie verbessern die Regenaufnahmefähigkeit und den Wasserrückhalt des Bodens (s. Abb. 40).

Bodentemperatur

Viele bodenchemische und physiologische Prozesse wie die Nährstoffaufnahme der Pflanzen hängen sehr wesentlich von der Bodentemperatur ab. Die Bodentemperatur ist vor allem von der Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung abhängig. Weitere Einflussfaktoren sind der Bodenaufbau, die Korngrößenzusammensetzung, der Humus- und Wassergehalt, das Gesamtporenvolumen und die Porengrößenverteilung sowie der Bedeckungsgrad des Bodens.

Der im Messzeitraum 1997-2015 höchste langjährige Temperaturmittelwert der oberen Bodenhorizonte beträgt 16,1°C. Dieser wurde im Nordosten Sachsens in der Bodenlandschaft Muskauer Heide registriert (Abb. 41 rechts, violette gestrichelte Linie). Er liegt um 2 °C über der langjährigen mittleren Temperatur in den oberen Bodenhorizonten der Berg- und Hügelländer (Abb. 41 rechts, braune gestrichelte Linie). Die Schwankungsbreiten im Gebiet der Muskauer Heide bewegen sich zwischen 15 °C und 17 °C, im Gebiet der Erzgebirgsnordabdachung sind die Amplituden höher und liegen zwischen 12 °C und 15,5 °C.

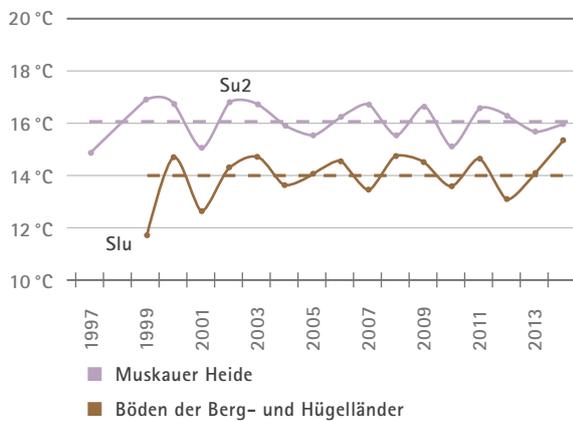
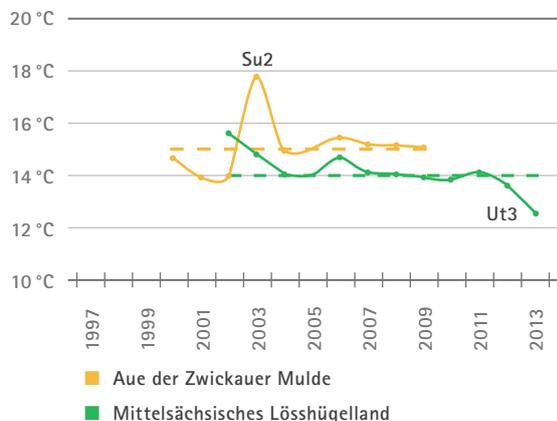


Abbildung 41: Jahresmittelwerte (durchgezogene Linien) und langjährige Mittelwerte (gestrichelte Linien) der Bodentemperatur in den oberen Bodenhorizonten bei den BDF II

Bodentemperaturen von über 20 °C über eine Dauer von 7 Tagen wurden in der Muskauer Heide fast jährlich (Abb. 42, violette Grafik) im Sommer (Juni bis Anfang September) er-

reicht, sind ansonsten aber selten und treten nur sporadisch auf. Zeitliche Tendenzen sind nicht erkennbar.

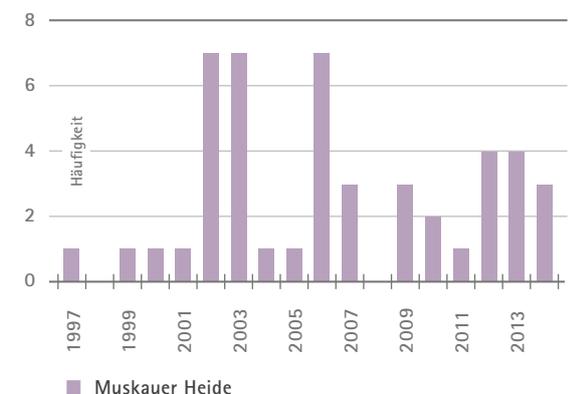
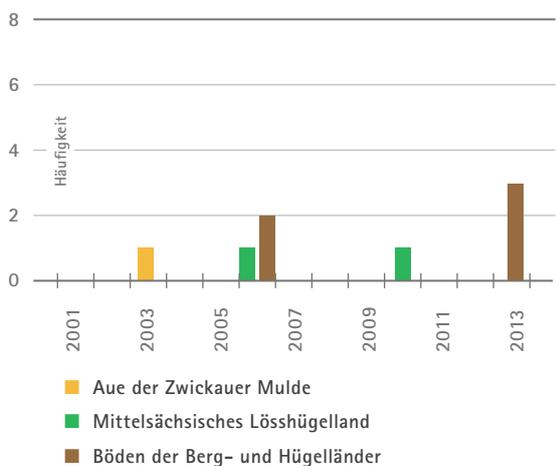


Abbildung 42: Häufigkeit des Auftretens von Bodentemperaturen >=20 °C an 7 aufeinanderfolgenden Tagen in den oberen Horizonten der BDF II

Organischer Kohlenstoff im Boden

In den Böden Sachsens* sind rund 152 Mio. Tonnen Kohlenstoff (255 Mio. Tonnen Humus) bis in 1 m Tiefe gespeichert. Dabei bevorraten die Waldböden auf 28 % der Fläche Sachsens rund 79 Mio. Tonnen Kohlenstoff. Acker- und Grünlandböden auf 39 % bzw. 10 % der Landesfläche weisen Vorräte von 57 Mio. Tonnen bzw. 16 Mio. Tonnen Kohlenstoff auf. Die maximalen Kohlenstoffvorräte können räumlich den zwei BGL Sachsens zugeordnet werden (s. Abb. 43): der BGL der Auen und Niederterrassen und der BGL der Berg- und Hügelländer. Der Kohlenstoffgehalt wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, z. B. von den Klimaelementen oder bodenkundlichen Faktoren, ist aber insbesondere stark

nutzungs- und bewirtschaftungsabhängig (Wald, Dauergrünland, Acker, Düngung, Bearbeitungsverfahren).

Eindeutige Trends der zeitlichen Entwicklung der Kohlenstoffvorräte konnten bisher nicht festgestellt werden. Innerhalb eines 5-jährigen Messzeitraums wiesen 62 % der BDF keine Veränderung auf, an 33 % der BDF wurde eine Zunahme und an 5 % der BDF eine Abnahme der Kohlenstoffvorräte festgestellt.

*Datengrundlage: Bodenmessnetze und -kartierung LfULG, BDF LfULG, Daten Bodenzustandserhebung Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS)

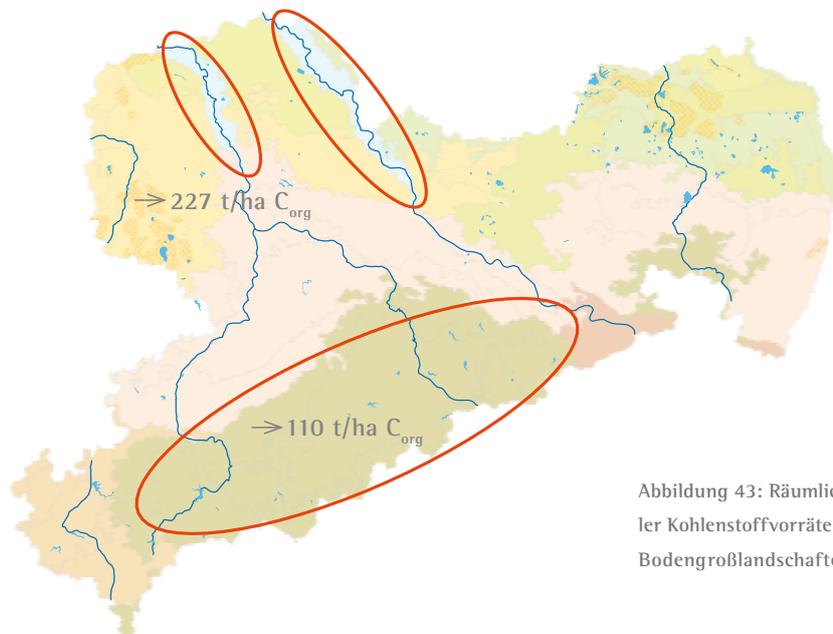


Abbildung 43: Räumliche Verteilung maximaler Kohlenstoffvorräte der BDF innerhalb der Bodengroßlandschaften Sachsens

Anpassung an den Klimawandel

Maßnahmen zur Minderung der Bodenerosion werden insbesondere im Kapitel Landwirtschaft näher erläutert.

Informationsangebote in Sachsen

Schutzgut Boden

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/index.html>

Erosionsgefährdungskarten

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/33144.htm>

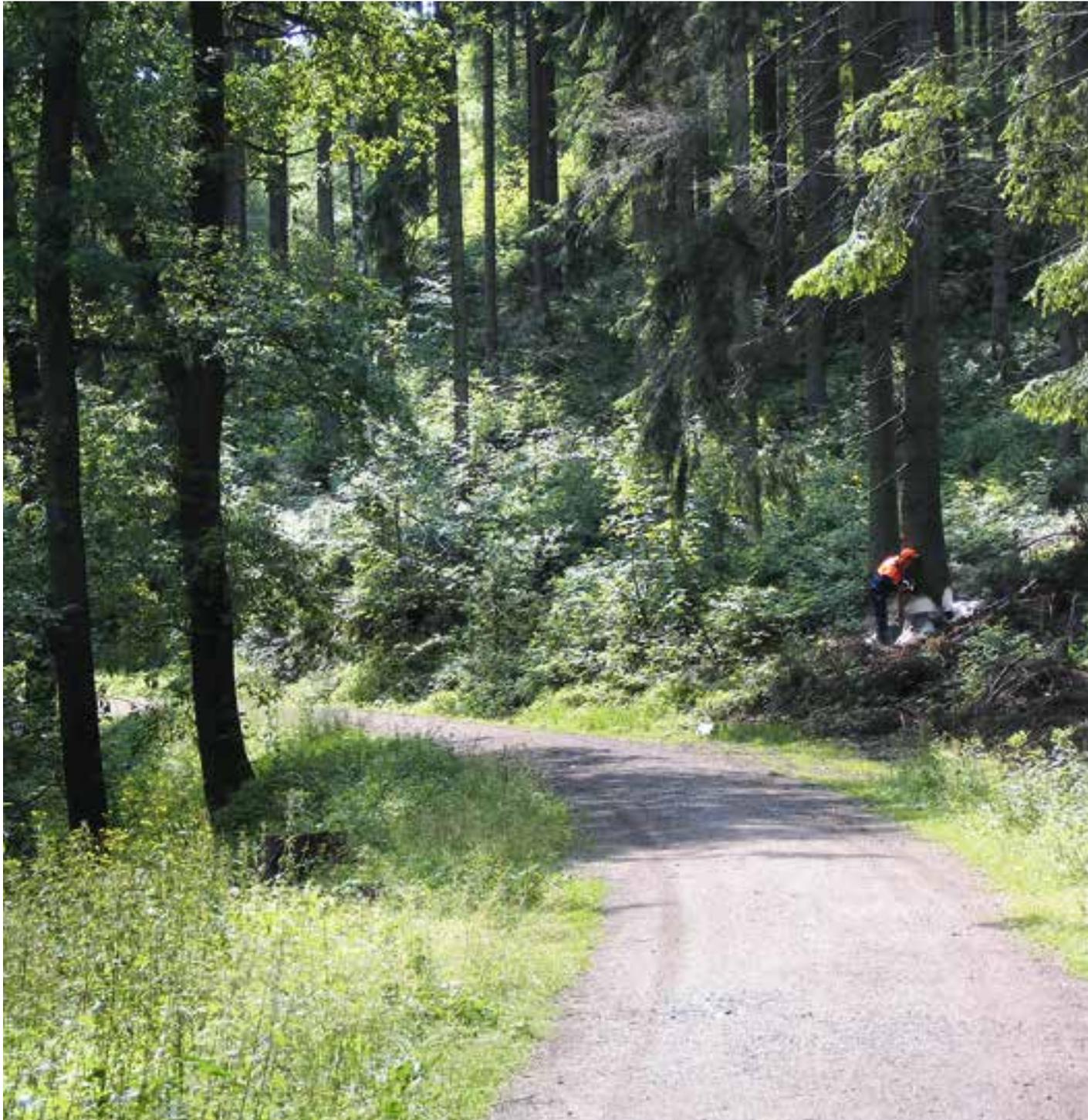
Daten und Fakten zur Bodenerosion in Sachsen

https://www.smul.sachsen.de/lfulg/download/DuF_Bodenerosion_Endfassung.pdf

Begrünung von erosionsgefährdeten Abflussbahnen

<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23739>

Wald und Forstwirtschaft



*Wälder sind vom Klimawandel nicht nur
betroffen, sondern beeinflussen als
bedeutender Kohlenstoffspeicher auch das
Ausmaß der Veränderungen.*



*Autoren: Sven Martens, SMUL; Rainer Gemballa, SBS;
Dr. Rainer Petzold, SBS; Lutz-Florian Otto, SBS;
Dr. Dirk-Roger Eisenhauer, SBS*

Wald, Forstwirtschaft und Klimawandel



Von Moos am Boden bis zur Baumkrone in luftiger Höhe – Bäume schaffen ein ausgeglichenes Waldinnenklima, sind Nahrungsquelle und Habitat für viele Lebewesen.

Wälder sind aufgrund ihrer Langlebigkeit und des hohen Wuchses der Bäume vergleichsweise komplexe, sich selbst organisierende Ökosysteme. Selbst aus den einförmigsten Waldverjüngungen entwickeln sich mit dem Heranwachsen der Bäume innerhalb der Kulturlandschaft vergleichsweise artenreiche Lebensgemeinschaften mit mehreren Vegetationsschichten. Das befähigt Wälder dazu, Umwelteinflüssen ohne strukturelle Änderungen zu widerstehen (Resistenz), nach Störungen durch Sturm, Schädlinge oder andere Faktoren diese Strukturen rasch wieder aufzubauen (Resilienz) und sich permanent den vorherrschenden Standortbedingungen anzupassen (Adaptivität). Gegenüber dem Klimawandel besitzen Wälder somit von Natur aus Anpassungspotenziale.

Die Forstwirtschaft gestaltet und nutzt dieses Ökosystem Wald. Die Bandbreite menschlicher Einflussnahme auf die Struktur und Entwicklung von Wäldern ist groß. Naturwä-

ldern, die vollständig ihrer natürlichen Entwicklung überlassen sind, stehen regelmäßig bewirtschaftete Waldflächen gegenüber. Dabei bestimmen die natürlichen Produktionsfaktoren Klima und Boden die Möglichkeiten und Grenzen der forstwirtschaftlichen Bodennutzung.

Technische Maßnahmen, die Einfluss auf die Wuchsleistung und Stabilität der Wälder haben, beschränken sich gegenwärtig fast ausnahmslos auf Bodenschutzkalkungen zum Ausgleich einstmals hoher Säurebelastungen. Während in der Landwirtschaft züchterische und technische Maßnahmen im Vordergrund stehen, besteht forstliches Handeln nahezu ausschließlich aus dem gezielten Anpflanzen oder Entnehmen von Bäumen.

Natur- und Wirtschaftswald unterscheiden sich in ihrer Betroffenheit vom Klimawandel erheblich. Unter den

Bedingungen einer natürlichen Waldentwicklung wirken ausschließlich natürliche Anpassungspotenziale. Der Naturwald ist damit von allen denkbaren Auswirkungen betroffen. Dagegen führen im bewirtschafteten Wald forstliche Anpassungsmaßnahmen dazu, dass diesen nur ein Teil

der Auswirkungen trifft (s. Tab. 4). Die Bewertungsmatrix berücksichtigt ein Anforderungsprofil, in dem der Holzbeitrag im Naturwald keine Rolle spielt, wohl aber die anderen Waldwirkungen.

Tabelle 4: Betroffenheiten des Natur- und Wirtschaftswaldes vom Klimawandel

Klimafolgen	Betroffenheit ohne forstliche Anpassungsmaßnahmen: Naturwald	Betroffenheit mit forstlichen Anpassungsmaßnahmen: Wirtschaftswald
Vorkommen und Vitalität von Baumarten	Hoch: Dynamik der Standortveränderungen übertrifft bei vielen Baumarten die Effektivität natürlicher Ausbreitungsmechanismen	Gering: geringe natürliche Anpassungsfähigkeit durch aktive Verjüngung im Rahmen des Waldumbaus ablösbar
Häufigkeit und Ausprägung von Störungen	mittel: kleinere Störungen fördern Habitatvielfalt; größere Störungen sind an längere Zeiträume der natürlichen Wiederbewaldung (und verminderten Waldwirkungen) gekoppelt	mittel: Störungen mindern betriebliche Erträge und verschiedene Waldwirkungen, bieten aber zugleich Möglichkeiten zur Anpassung der Waldstruktur
Änderung von Wuchsleistungen	Gering: keine Ertragserwartungen	Hoch: Ertragserwartungen

Forstliche Anpassungsmaßnahmen wiederum unterliegen technischen, ökonomischen und rechtlichen Einschränkungen. Aus ökonomischer Sicht lohnen sich Anpassungen vor allem auf den heute und/oder zukünftig ertragsstarken Standorten. Verschlechtern sich die Wuchsbedingungen können notwendige Investitionen unwirtschaftlich sein. Dies führt zwangsweise zu einer Extensivierung der Forstwirtschaft z. B. auf sehr trockenexponierten Standorten. Hierauf hat die technische Entwicklung direkt und indirekt Einfluss, etwa indem die Bewirtschaftung von Steilhängen und Nassstandorten kostengünstiger wird oder neue Verwendungsgebiete (z. B. Kunststoffe auf Holzbasis) die Wertschöpfungskette und den finanziellen Ertrag verbessern. Aus naturschutzfachlicher Sicht bestehen in Schutzgebieten rechtliche Einschränkungen hinsichtlich der Baumartenwahl und waldbaulicher Verfahren.

Ein typisches Merkmal von Wäldern ist, dass bestimmte Strukturen und Entwicklungsstadien zwar von heute auf morgen verschwinden können, aber erst im Laufe von Jahren und Jahrzehnten wieder neu entstehen. Entsprechend dieser Dynamik ist es wichtig, steigende Gefährdungen möglichst frühzeitig zu erkennen. Nur so bleibt ausreichend Zeit, Waldwirkungen durch rechtzeitige Anpassung dauerhaft zu sichern.

Dies trifft insbesondere auf den Wald als Kohlenstoffspeicher zu. Dort wird im Boden, den ober- und unterirdischen Teilen der Bäume und im Totholz Kohlenstoff gespeichert. Je nach Waldstruktur und Art der Bewirtschaftung unterscheiden sich die Menge gespeicherten Kohlenstoffs und die Verteilung auf die genannten Bereiche. Und je nachdem, ob die Vorräte von lebender und toter Biomasse oder Humus im Boden zu- oder abnehmen, kann der Wald im Laufe der Zeit eine Senke oder Quelle von Kohlenstoff darstellen.

Die Anpassung an den Klimawandel strebt stabile, arten- und strukturreiche, leistungsfähige Mischwälder an. Großflächige katastrophengebundene Abnahmen des Holzvorrates sollen vermieden, der Kohlenstoffspeicher Wald mindestens stabilisiert, im Optimalfall weiter erhöht werden. Mit der Nutzung des Holzes wird der in Bäumen gebundene Kohlenstoff anteilig in kurz- und langlebigen Produkten gespeichert oder ersetzt zugleich fossile Rohstoff- und Energieträger (Substitution). Eine nachhaltige Forstwirtschaft trägt daher durch die Holzernte dauerhaft zur Minderung der klimatischen Veränderungen bei.

Auswirkungen des Klimawandels

Natürliche Anpassung

Im Wesentlichen ermöglichen zwei biologische Prozesse eine Anpassung der Wälder an sich ändernde Standortbedingungen: die Sukzession (das Einwandern neuer, besser angepasster und konkurrenzstarker Arten) und die Evolution (das Hervorbringen und die Selektion besonders angepasster Exemplare einer Baumpopulation).

Die Sukzession fußt auf den vielfältigen Mechanismen, die für die räumliche Verbreitung von Bäumen sorgen. Samen werden durch Wind oder Tiere immer wieder an neue, teil-

weise auch mehrere Kilometer entfernte Orte verbracht. Die Effektivität der räumlichen Verbreitung ergibt sich aber erst aus dem Zusammenspiel mit der Fähigkeit der Baumart sich am neuen Standort gegenüber Konkurrenten zu behaupten und der Lebenszeit, die bis zur erneuten Samenproduktion vergeht.

Während die Sukzession den Wettbewerb zwischen Baumarten beschreibt, betrifft die Evolution den Wettbewerb zwischen den Individuen und Populationen derselben Art. Indem Bäume,



Auf die Trockenheit im August 2015 reagierten Rot-Buchen im Waldteil Vorholz bei Freital sehr unterschiedlich. Während ein Teil Welkerscheinungen und vorzeitigen Blattfall zeigte, blieben andere Exemplare weiterhin grün.



Herbstliche Laubfärbung im Müglitztal infolge der Dürre im August 2015.

die sich als besonders angepasst und vital erweisen, sich auch bevorzugt vermehren, treten deren genetische Eigenschaften in den darauffolgenden Generationen häufiger auf.

Bei dieser natürlichen Auslese ist eine auf regional vorherrschende Störungen ausgerichtete Balance von Wachstum und Verteidigung von Vorteil [Kätzel 2009]. In den folgenden Generationen sind Bäume, die einseitig in Wachstum investieren, seltener vertreten, weil sie häufiger Pilzen, Insektenfraß, Sturm und anderen Störungen erliegen. Und Bäume, die stärker als notwendig in Verteidigung investieren, werden von Konkurrenten verdrängt, bevor sie sich verjüngen. Aus der gleichzeitigen Veränderung von Wuchsverhältnissen und Störungen folgt ein Wechselspiel von Anpassung und Anpasstheit: Bäume, die sich unter dem gegenwärtigen Klima als besonders angepasst und vital erweisen, könnten künftigen Stresssituationen erliegen. Gegenwärtig weniger vitale Bäume könnten unter veränderten Standortverhältnissen zukünftig Wuchs- und Konkurrenzvorteile erzielen.

Ein konkreter Waldbestand kann sich erst mit jeder neuen Baumgeneration neuen Standortbedingungen anpassen. Folglich hängt die Geschwindigkeit der natürlichen Anpassung erheblich vom Aufwachsen der neuen Waldgenerati-

on und der Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen ab. Beides ist von Baumart zu Baumart und von Standort zu Standort sehr verschieden. Zwischen den Generationswechseln können somit wenige Jahrzehnte oder Jahrhunderte liegen.

Die Anpassungsfähigkeit von Baumarten durch Evolution ist nach heutigem Kenntnisstand an das Vorhandensein genetischer Vielfalt gebunden. Je geringer die genetische Vielfalt innerhalb einer Population und innerhalb einer Art ist, desto weniger kann sie auf Veränderungen ihrer Umwelt reagieren [Otto 1994]. In Europa führten die Eiszeiten nicht nur zum Aussterben vieler Baumarten, sondern ebenso zu erheblichen Veränderungen des genetischen Potenzials.

Die Unterschiede zwischen den Baumarten sind groß. Beispielsweise konnte die Stiel-Eiche (s. Abb. 44) den ihr zugesagten Klimaraum weitgehend einnehmen und ihre Populationen besitzen eine sehr hohe genetische Vielfalt. Der Weiß-Tanne gelang dies jedoch nur ansatzweise [Svenning 2004] und die genetischen Strukturen variieren deshalb räumlich sehr [Konnert 2011]. Gerade am nördlichen Rand ihres Verbreitungsgebietes, also auch in Sachsen, ist ihre genetische Vielfalt stark eingeschränkt.



Abbildung 44: Eichenverjüngung – Eichen sind konkurrenzstarke und vergleichsweise standorttolerante Bäume. Ihre großen Früchte werden von Tieren zwar gern verzehrt, jedoch auch weit transportiert. Diese Eigenschaften ermöglichten es der Eiche sich nach der Eiszeit über Europas Tief- und Hügelländer weit zu verbreiten. Seit einigen Jahren finden sich verstärkt junge Eichen in den sächsischen Wäldern.

In Sachsen wie in vielen Teilen Mitteleuropas wurden die natürliche Verbreitung und die genetischen Strukturen der Waldbaumarten in der Vergangenheit immer wieder durch menschliche Eingriffe beeinflusst. Bereits früheste Landnutzungen benachteiligten einzelne Baumarten [Küster 2014] durch Rodung und Übernutzung, während andere gefördert wurden. Über Jahrhunderte übte die Forstwirtschaft mit dem großflächigen Anbau weniger, oftmals nicht standortangepasster Baumarten und Herkünfte ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Anpassungspotenziale aus.

Allerdings besitzt die Forstwirtschaft heute vielfältige Möglichkeiten die ungünstige Ausgangssituation zu überwinden: So werden natürliche Ausbreitungsbarrieren mittels Beerntung ausgewählter Bäume und anschließender Saat oder Pflanzung vollständig überwunden. Auf diese Weise wurden bereits seit mehr als 200 Jahren Baumarten aus Südeuropa, Nordamerika und Asien nach Sachsen eingebürgert. In Samenplantagen werden die seltenen und verinselten Vorkommen der Weiß-Tanne gezielt zu genetisch vielfältigen Populationen zusammengeführt.

Vorkommen und Vitalität von Baumarten

Zwischen Standort und Baumart bestehen wechselseitige Beziehungen. Wälder passen sich nicht nur den jeweils vorherrschenden Standortbedingungen an, sondern wirken auch spürbar auf sie ein. So reichert der Ab- und Umbau von Blatt- und Nadelstreu den Boden mit Humus an und Wasser und Nährstoffe werden dadurch besser gespeichert. Traditionell wird deshalb hinsichtlich konstanter Gegebenheiten (z. B. Gelände, Bodensubstanz) und veränderlicher Komponenten (z. B. Vorrat an Humus) unterschieden. Auch das Klima gehört zu den dynamischen Standortfaktoren.

Für die dynamische Klimagliederung Sachsens (s. Abb. 45) wurde aus ca. 13.000 historischen Vegetationsaufnahmen ein ökologisches Modell erstellt, welches das Vorkommen von Waldgesellschaften mit Standortinformationen verknüpft [Gemballa und Schlutow 2007]. Neben einer ganzen Reihe weiterer Standortparameter (z. B. Relief, Exposition, Bodentyp) wurden hierbei die Länge der Vegetationszeit und die klimatische Wasserbilanz pro Vegetationszeitmonat als klimatische Kenngrößen verwendet.

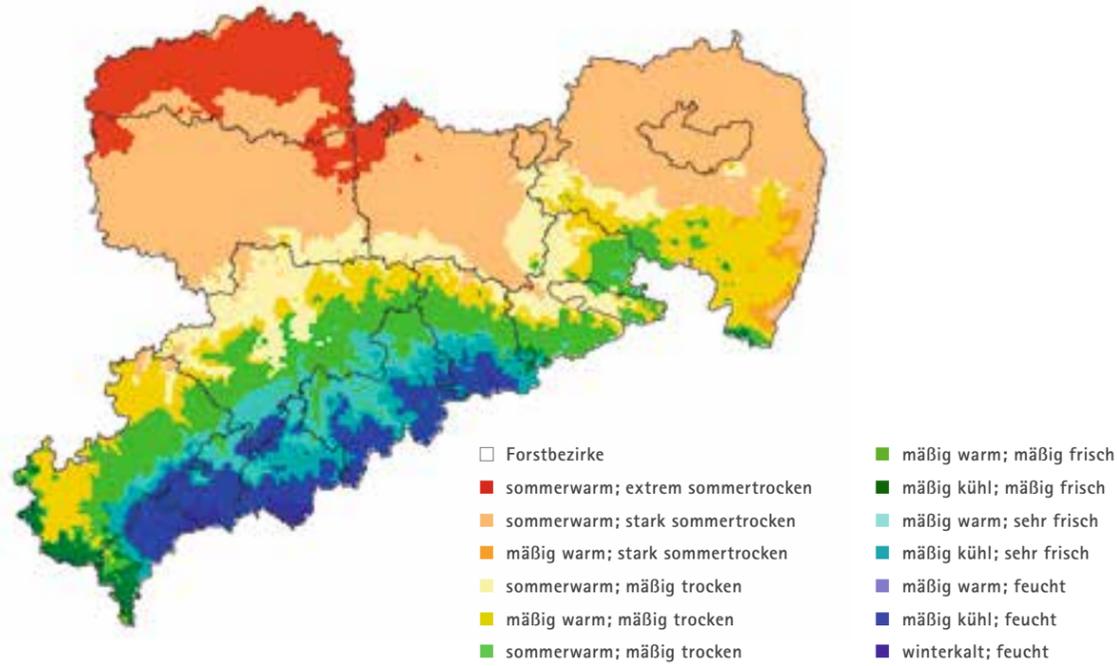
Die in der Abbildung 45 dargestellten klimatischen Veränderungen entsprechen damit zugleich auch dem Vorkommen sog. Leitbaumarten. Sieben Klimastufen (röm. Ziffern in Abb. 45) bilden den Klimaraum ab, in dem diese Baumarten auf mittleren unvernässten Standorten vorkommen würden. Mit den als submediterran bezeichneten Klimaarealen führt der Klimawandel künftig auch Zustände herbei, die aus historischer Zeit für Sachsen nicht bekannt sind. Für diese Gebiete existieren keine natürlichen Leitbilder, so dass diese in weiter entfernten Regionen Europas gesucht werden müssen.

Die Karten dürfen aber nicht als Prognose einer künftigen Waldentwicklung missverstanden werden. Dargestellt werden nur die Klimaareale, in denen die genannten Baumarten von Natur aus Waldstrukturen bildeten, die zur Selbsterneuerung fähig sind. Dies ist nur möglich, wenn sich die Baumart gegenüber den pflanzlichen Mitbewerbern dauerhaft konkurrenzstark und vital erweist. In diesem Sinne ist die dynamische Klimagliederung wichtige Grundlage zur Bewertung der Vitalität aktueller Baumartenvorkommen sowie der Richtung und des Ausmaßes des Baumartenwechsels.

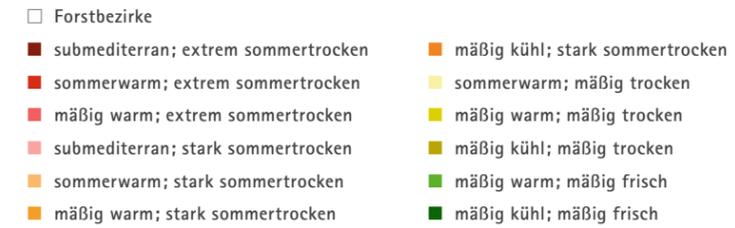
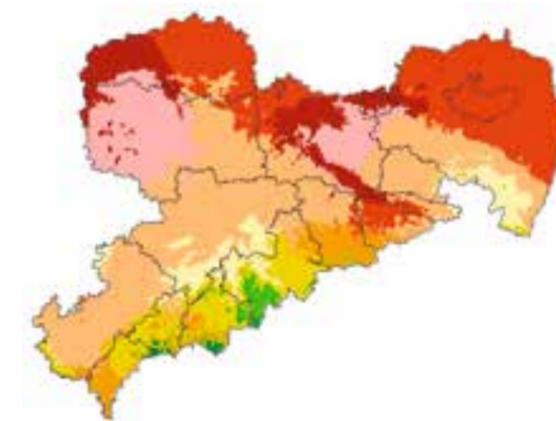
Wie eine solche Bewertung bereits unter aktuellen Klimaverhältnissen ausfällt, zeigen die sächsischen Fichtenvorkommen (s. Abb. 46). Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden übernutzte und verödete Wälder großflächig vorwiegend mit der raschwüchsigen Fichte aufgeforstet. Bis weit in das Tief- und Hügelland hinein war der Anbau dieser Baumart erfolgreich, die natürlicherweise in den höheren Berglagen vorkommt. Die vergleichsweise kühle Witterung zu dieser Zeit, in die auch 1816 als „Jahr ohne Sommer“ fällt, begünstigte das Vorgehen. Im Verlauf zweier Baumgenerationen hat sich die Durchschnittstemperatur seitdem um etwa 2 Grad erhöht. Die Fichtenvorkommen sind so zu einem „Großraumversuch“ geworden, der das Anpassungspotenzial der Baumart aufzeigt.

Wie die Fichte können Baumarten prinzipiell auch außerhalb ihrer natürlichen Vorkommen wachsen. Allerdings unterliegen die Vorkommen höheren Risiken und zeigen gegenüber anderen Baum- und Pflanzenarten geringere Konkurrenzskraft. Dies ist der Unterschied zwischen pflanzenphysiolo-

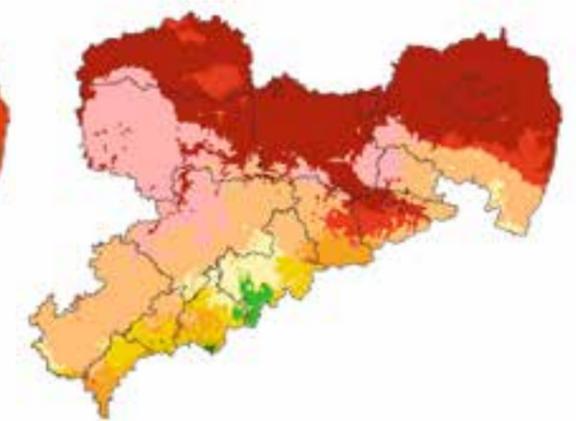
Abbildung 45:
Aktuelle Klimaausprägung (Klimaklassen des Basisklimas 1971-2000)



Klimaklassenverbreitung für moderates Szenario B1 /
Zeitraum 2091-2100



Klimaklassenverbreitung für extremeres Szenario A2 /
Zeitraum 2091-2100



Vegetationszeitlänge [Tage]	submedi- terran	> 190	VII trocken & submediterran Ki(-SEi) Ki(-SEi)					
	sommer- warm	165 - 190	Ei-Ki Ei-Ki	Bu-Ei Bu-Ei				
	mäßig warm	140 - 165	VI trocken & sommerwarm bis mäßig kühl	Ei-Ki Ei-Ki	Bu-Ei Bu-Ei	IV mäßig frisch & mäßig kühl	III sehr frisch bis feucht & mäßig kühl	
	mäßig kühl	110 - 140		Ei-Ki Bu-Ei	Bu-Ei Bu-Ei	IV mäßig frisch & mäßig kühl	III sehr frisch bis feucht & mäßig kühl	
	winter- kalt	80 - 110				IV mäßig frisch & mäßig kühl	III sehr frisch bis feucht & mäßig kühl	
			-40 ... -25	-25 ... -12,5	-12,5 ... 0	0 ... 12,5	12,5 ... 25	25 ... 50
			extrem sommer- trocken	stark sommer- trocken	mäßig trocken	mäßig frisch	sehr frisch	feucht
			Klimatische Wasserbilanz [mm/Vegetationszeitmonat]					

Die dynamische Klimagliederung umfasst sieben dynamische Klimastufen (I bis VII).

Ihre Grundbausteine sind die Klimaklassen als Kombinationen aus Vegetationszeitlänge [= Anzahl Tage >10 °C] und Klimatischer Wasserbilanz in einem Vegetationszeitmonat.

In den Klimaklassen sind die auf mittleren unvernässten Standorten vorherrschenden Leitbaumarten vermerkt.

Legende mit Leitbaumarten

- submediterran; extrem sommertrocken
- sommerwarm; extrem sommertrocken
- mäßig warm; extrem sommertrocken
- submediterran; stark sommertrocken
- sommerwarm; stark sommertrocken
- mäßig warm; stark sommertrocken
- mäßig kühl; stark sommertrocken
- sommerwarm; mäßig trocken
- mäßig warm; mäßig trocken
- mäßig kühl; mäßig trocken
- sommerwarm; mäßig trocken
- mäßig warm; mäßig frisch
- mäßig kühl; mäßig frisch
- mäßig warm; sehr frisch
- mäßig kühl; sehr frisch
- mäßig warm; feucht
- mäßig kühl; feucht
- winterkalt; feucht

	Fichte	Tanne	Buche	Eiche	Kiefer
■ submediterran; extrem sommertrocken					■
■ sommerwarm; extrem sommertrocken					■
■ mäßig warm; extrem sommertrocken					■
■ submediterran; stark sommertrocken				■	■
■ sommerwarm; stark sommertrocken				■	■
■ mäßig warm; stark sommertrocken				■	■
■ mäßig kühl; stark sommertrocken				■	■
■ sommerwarm; mäßig trocken			■	■	■
■ mäßig warm; mäßig trocken			■	■	■
■ mäßig kühl; mäßig trocken			■	■	■
■ sommerwarm; mäßig trocken			■	■	■
■ mäßig warm; mäßig frisch	■	■	■	■	■
■ mäßig kühl; mäßig frisch	■	■	■	■	■
■ mäßig warm; sehr frisch	■	■	■	■	■
■ mäßig kühl; sehr frisch	■	■	■	■	■
■ mäßig warm; feucht	■	■	■	■	■
■ mäßig kühl; feucht	■	■	■	■	■
■ winterkalt; feucht	■	■	■	■	■

gischer und ökologischer Grenze der Vorkommen. Rein physiologisch sind die Unterschiede, auf welchen Standorten Baumarten vorkommen, eher gering. Erst die unmittelbare Konkurrenz zu anderen Baumarten und die Wechselwirkun-

gen innerhalb der Waldlebensgemeinschaft mit der Bodenvegetation, Insekten, Pilzen und anderen Mikroorganismen führt zu der natürlichen Differenzierung der Vorkommen.

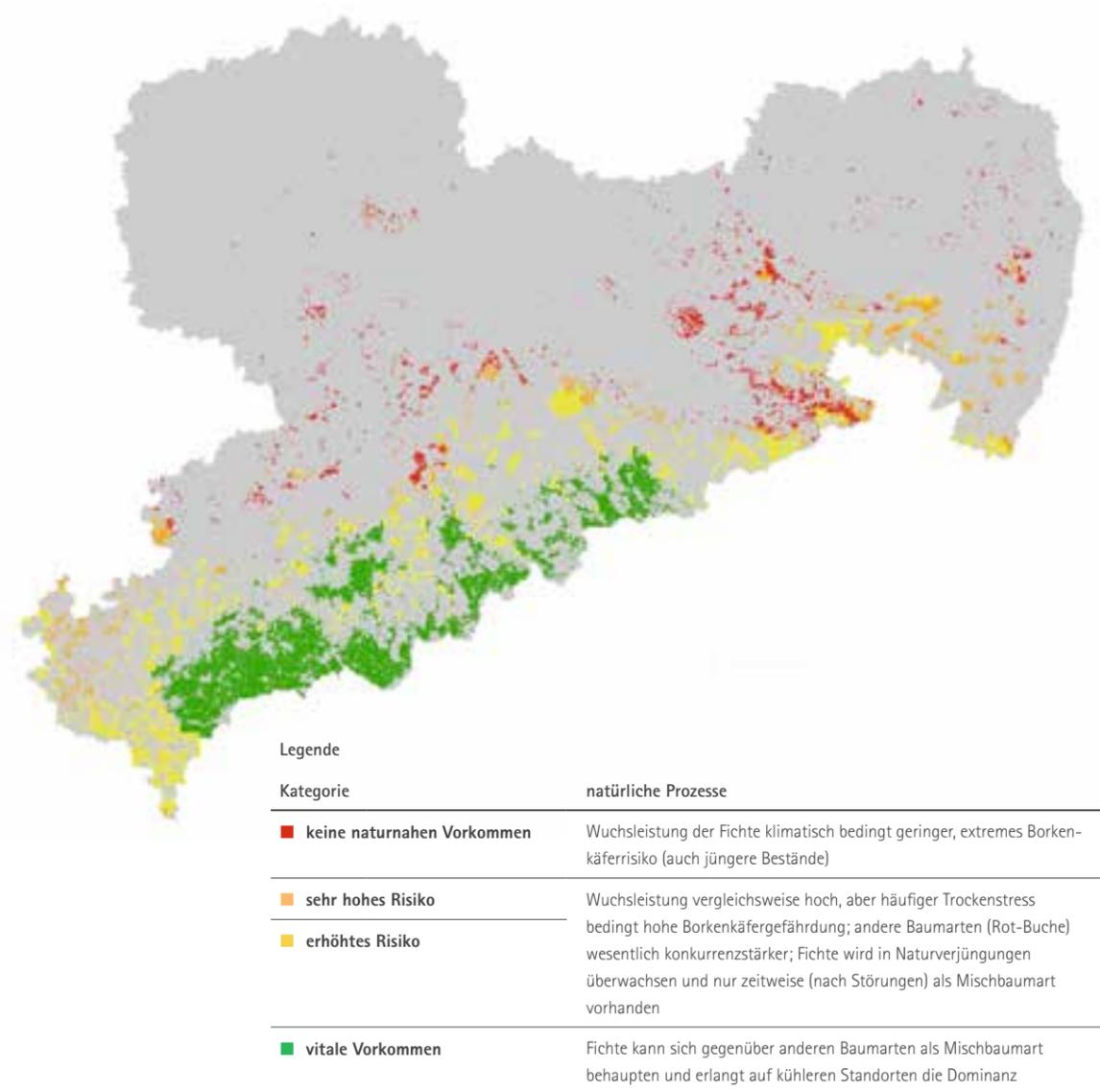


Abbildung 46: „Großraumversuch“ Fichte: Unter deutlich kühleren Klimaverhältnissen als heute wurde vor rund 200 Jahren die Fichte weit außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes zur Aufforstung vorratsarmer Wälder bevorzugt. Gegenüber dem Startzeitpunkt dieses Großraumversuches hat sich die Gefährdung gegenüber biotischen Risiken zwar deutlich erhöht, aber noch immer ist ein erheblicher Teil der Fichtenvorkommen vorhanden.



Borkenkäferschäden



Sturmschäden

Ausmaß und Häufigkeit von Störungen

Auch wenn die künftigen Klimaareale unabhängig vom betrachteten Klimaszenario zum Ende des Jahrhunderts für Fichte und Tanne nur noch verschwindend kleine Vorkommen ausweisen, bedeutet das nicht unbedingt das völlige Verschwinden beider Baumarten. Gewiss ist allerdings, dass diese Baumarten außerhalb dieser Räume Störungen¹ unterliegen werden, die in Ausmaß und Häufigkeit natürliche Vorbilder übersteigen. Der Klimawandel wird sich damit in Wald und Forstwirtschaft primär über Störungen auswirken.

Dabei können sowohl äußere Umwelteinflüsse (abiotische Störungen), als auch die im Wald lebenden Tiere und Pilze (biotische Störungen) Waldstrukturen zerstören. Biotische Störungen wiederum resultieren sowohl aus internen, in der Waldstruktur begründeten Ursachen als auch aus den äußeren Umständen. Klimaänderungen können somit Waldbestände direkt schädigen oder diese gegenüber anderen Schadfaktoren anfälliger machen.

Abiotische Störungen sind in der Regel eine Folge extremer Wetterlagen und Witterungsverläufe. Häufigkeit und Intensität witterungsbedingter Extreme nehmen in Folge des Klima-

wandels in Sachsen zu. Zur Bewertung des Schadpotenzials der einzelnen Gefahren sind auch die Änderungen der Sensitivität von Standorten und Waldstrukturen zu betrachten:

- **Trockenheit und Dürre:** Der Temperaturanstieg, die Verlängerung der Vegetationszeit und abnehmende Sommerniederschläge können zu häufigeren und längeren Dürreperioden führen. Das Ausmaß der Schädigung hängt stark von der Hydrologie des Standortes (Bachtälchen oder Felskuppe), der Trockenresistenz der Baumart und dem Baumalter ab. Verjüngungen sind besonders sensitiv,
- **Waldbrand:** Mit der Häufigkeit und Intensität von Trockenzeiten nimmt der Gefährdungszeitraum für Waldbrände zu (s. Abb. 47). Die Häufigkeit von Waldbränden hängt allerdings erheblich vom menschlichen Verhalten (Fahrlässigkeit und vorsätzliche Brandstiftung sind häufigste Brandursache) und den technisch-organisatorischen Maßnahmen der Waldbrandvorbeugung und -bekämpfung ab. Auch die Waldstruktur beeinflusst die Zünd- und Brennereitschaft des Waldbestandes. Ältere Kiefernreinbestände mit Bodenvegetation weisen hierbei die höchste Gefährdung auf,

¹ Eine Störung ist ein einzelnes, örtlich und zeitlich abgrenzbares Ereignis, das abrupt die Struktur eines Ökosystems spürbar verändert. Im Gegensatz zum ökologischen Sprachgebrauch werden in der Forstwirtschaft häufig nur Ereignisse, die über das Maß natürlicher Regeneration hinausgehen, als Störung bezeichnet. In einem geschlossenen Wald sind ein stürzender alter Baum und die Prozesse bis zum erneuten Kronenschluss aus forstlicher Sicht keine Störung.

- **Stürme:** Sturmereignisse treten häufig im Einflussbereich starker Tiefdruckgebiete auf. Diese sind zukünftig nicht unbedingt häufiger, wohl aber ist mit einer Zunahme der Intensität und jahreszeitlichen Verschiebungen zu rechnen. Die Schäden hängen von der erreichten Windgeschwindigkeit (Meereshöhe und besonders exponierte Lagen wie Bergkuppen), der Waldstruktur (Baumart, Höhe und Dichte des Bestandes) und der Verankerung im Boden ab. Änderungen der Sensitivität von Wäldern gegenüber Bruch- und Wurfsschäden sind wahrscheinlich. Im winterkahlen Zustand können Laubbäume hohen Windgeschwindigkeiten vergleichsweise gut widerstehen. Längere Vegetationsperioden und häufigere Sommerstürme erhöhen dagegen ihre Anfälligkeit,
- **Starkniederschläge:** Mit der stärkeren Verdunstung und höheren Wasserdampfkapazität der Luft steigt die Wahrscheinlichkeit für intensive Niederschlagsereignisse an. Im Sommerhalbjahr führen Starkregen zu Schäden an der forstlichen Infrastruktur (Wege und Brücken) und auf weniger gut drainierten Standorten zu Luftmangel im Boden (Absterben von Feinwurzeln). Im Winterhalbjahr sind vor allem intensive Schneefälle im Bereich des Gefrierpunktes riskant. Während sogenannter Schneelastereignisse (Nassschnee) können Bäume unter der Schneelast in den Baumkronen brechen oder umfallen. Es ist nicht auszuschließen, dass längere Vegetationszeiten (Belaubung) in Verbindung mit Kaltlufteinbrüchen und mildere Winter das Risiko für Schneebruch zumindest mittelfristig erhöhen. Stammzahlreiche junge Waldbestände (Dickung und Stangenholz) sind besonders sensitiv,

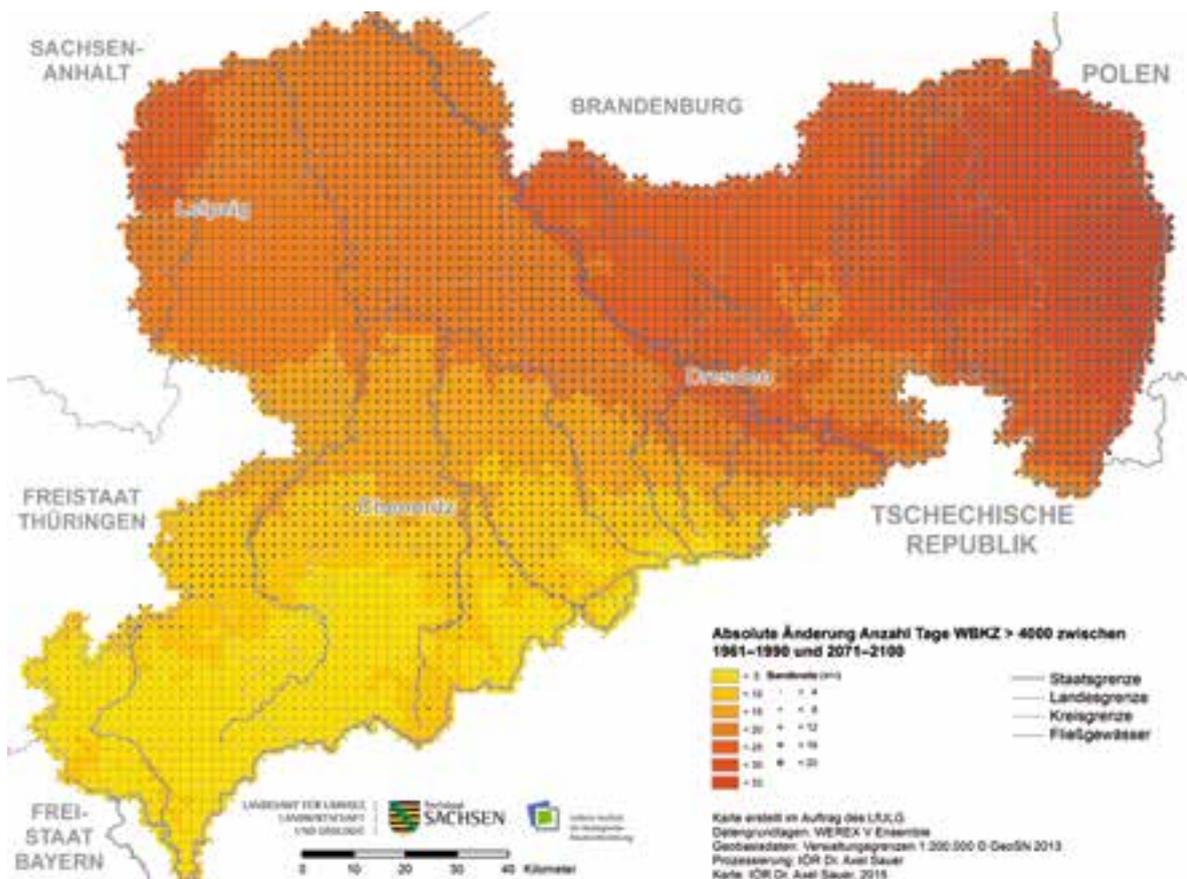


Abbildung 47: Wenn im Sommerhalbjahr die Verdunstung die Niederschläge übersteigt und sich am Boden trockene Biomasse als Zündmaterial häuft, ist Waldbrandsaison. Die zunehmende Anzahl der Tage mit erhöhter witterungsbedingter Waldbrandgefährdung ist damit zugleich ein guter Zeiger für das Risiko des Auftretens von Trockenheit und Dürre.

- **Frostereignisse:** Mit der weiteren Temperaturerhöhung wird sich die Zahl der Eis- und Frosttage vermindern. Entscheidender ist jedoch ihr zeitliches Auftreten im Kontext zur jahreszeitlichen Schwankung der Frosthärte². Milde Witterungsperioden im Herbst und Frühwinter können die Abhärtungsprozesse und winterliche Knospenruhe beeinflussen. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass das Risiko für Spätfrostschäden ansteigt, weil die Wahrscheinlichkeit eines Kaltlufteinbruchs nahezu unverändert bleibt und auf immer zeitiger austreibende Bäume trifft. Spätfrostereignisse betreffen vorwiegend Forstkulturen auf Freiflächen in ebener Lage.

Bisher wirken die höheren Temperaturen, der steigende Kohlendioxidgehalt und die hohen Stickstoffeinträge günstig auf das Wachstum der Bäume. Die Wuchsleistungen sind im letzten Jahrhundert deutlich angestiegen [Pretzsch et al. 2014]. Allerdings steigen in allen Standortsregionen bereits die Risiken abiotischer Schäden an: Dürre und Waldbrand im Tiefland, Starkniederschläge und Spätfrost im Hügelland und den unteren Berglagen, intensivere Stürme in den oberen Berglagen.

Wie lange die positiven Effekte die steigenden Risiken übertreffen, hängt neben dem Auftreten witterungsbedingter Extreme auch von der Dynamik potenzieller Schädlinge (z. B. Schmetterlinge, Borkenkäfer) und ihrer natürlichen Gegenspieler (Antagonisten) ab. Inwieweit der Klimawandel sich auf die Wechselwirkungen innerhalb dieser Artengruppen auswirkt, ist allerdings schwer vorhersehbar. Nicht zuletzt weil verschiedene Witterungen jeweils andere Schaderreger fördern (s. Tab. 5). So steigt in feuchtwarmen Sommern beispielsweise die Gefährdung durch Pilze während trockene Witterung viele Insektenarten begünstigt.

Wie die Bäume selbst profitieren auch einige von und an ihnen lebende Organismen von längeren Vegetationsperioden und besseren Bedingungen zur Überwinterung. Durch diese Entwicklung könnten biotische Störungen generell zunehmen, weil dadurch

- Massenvermehrungen der Tierarten, die in einem Jahr mehrere Generationen bilden können (z. B. Borkenkäfer, Mäuse), erleichtert und
- Einwanderung und Populationsentwicklung bisher nicht heimischer oder weniger bedeutungsvoller Tierarten (z. B. Eichenprozessionsspinner) ermöglicht werden.

Tabelle 5: Einfluss des Klimawandels auf die Populationsentwicklung von Schädlingen

Witterung	positiver Trend	indifferent	negativer Trend	Neulinge
trocken-warme Sommer	Buchdrucker, Kupferstecher, Eichenprozessionsspinner, Buchenprachtkäfer	Eichenwickler, Nutzholzborkenkäfer, Kiefernbuschhornblattwespe	Nadelpilze (Douglasien-schütte, Diploda-Triebsterben)	Kiefernholz-nematode, Asiatischer Laubholzbock, Zitrusbockkäfer, Esskastaniengallwespe, Eschentriebsterben, Phytophthora- Erkrankungen
feucht-warme Sommer	Nadelpilze (Douglasien-schütte, Diploda-Triebsterben)			
milde Winter	Läuse, Mäuse		Forleule, Kiefernspanner, Blattwespenarten	
generell	Generalisten, vor allem temperaturabhängigen Entwicklungsphasen	Spezialisten mit besonderer Anpassung; Steuerung über Phototropismus	Gegenspieler und enge Wirt-Parasit-Beziehungen	fehlende Koevolution (in Heimat häufig harmlose Schädlinge)

² Frosthärte bezeichnet die Fähigkeit der Bäume Temperaturen unter dem Gefrierpunkt schadlos zu ertragen. An das Jahreszeitenklima angepasst, ist die Frosthärte in der Vegetationszeit gering und im Winter maximal. Neben dem Abwerfen der frostempfindlichen Blätter bei Laubbäumen finden innerhalb der Knospen und bei Nadelbäumen, durch Tageslänge und Temperatur gesteuert, verschiedenste Abhärtungsprozesse statt. Bei den heimischen Baumarten schwankt die Winterfrosthärte zwischen -20 °C (groß- und ringporige Laubbäume, wie Eichen oder Nussbäume) und unter -35 °C (kleinporige Laubbäume, wie Ahornarten und Nadelbäume).

Weiterhin können sich abiotische und biotische Störungen gegenseitig begünstigen. Ein Beispiel hierfür ist das Zusammenspiel von Borkenkäfer und Sturm. Lücken durch Borkenkäferfraß werden zum Angriffspunkt von Sturmschäden und

vom Sturm gebrochene und geworfene Bäume bieten dem Borkenkäfer günstige Brutbedingungen. Diesbezüglich steigt mit der Häufung von kleineren Störungen zugleich die Wahrscheinlichkeit großflächiger Störungen, den Kalamitäten, an.

Verlust von Waldwirkungen

Der Begriff der Kalamität wird im ökologischen Sinn immer dann gebraucht, wenn innerhalb einer Region keine planmäßige Bewirtschaftung der Wälder mehr stattfindet. Alle betrieblichen Arbeiten (Holzeinschlag, Bekämpfungsmaßnahmen und die anschließende Wiederaufforstung) konzentrieren sich auf die betroffenen Waldbestände. Der Holzeinschlag übersteigt zwangsweise den nachhaltigen Jahreseinschlag. Die nutzbaren Holzvorräte nehmen bis zum erneuten Vorratsaufbau ab.

Neben dem geringeren Holzertrag vermindern sich die Wirkungen des Waldes innerhalb der Kulturlandschaft. Je nach dem auf welcher Fläche ein Zusammenbruch von Waldstrukturen eintritt, sind unterschiedliche Waldwirkungen (z. B. Abflussregulation, Grund- und Quellwasserneubildung, Bodenschutz) betroffen:

Tabelle 6: Das Ausmaß und die räumliche Verteilung bewirken eine unterschiedliche Gefährdung von Waldwirkungen.

von der Störung betroffen sind	gefährdete Waldwirkung	bisherige Beispiele
Waldbestände eines Waldgebietes (wenige Hektar)	Erfüllung lokaler Waldfunktionen (z. B. Erosionsschutz) entfällt	Seit 2003 ist im Vogtland ein erhöhter Verlust von Waldbeständen durch Borkenkäfer zu verzeichnen. Immer wieder sind davon auch Waldbestände mit besonderen Waldfunktionen betroffen.
Waldgebiete eines Flusseinzugsgebietes (mehrere hundert Hektar)	Abflussregulation, insbesondere bei zunehmender Häufung von Starkniederschlägen vermindert	Das großflächige immissionsbedingte Absterben der Fichtenbestände zu DDR-Zeiten verminderte im Osterzgebirge das Wasserrückhaltevermögen [Röder und Beyer 2002]. Die nachfolgende Aufforstung mit Pionier- (z. B. Eberesche, Birke) und Interimsbaumarten (z. B. Lärche, Stech-Fichte, Murray-Kiefer) sicherte lediglich ein Mindestmaß an Waldwirkungen [Renner et al. 2014].
Waldgebiete einer Standortsregion (mehrere tausend Hektar)	Speicherung von Kohlenstoff vermindert	In Sachsen in den letzten drei Jahrzehnten keine. Das Sturmtief Kyrill im Januar 2007 (2,3 Mio. m ³ Schadholz) übertraf hierzulande den jährlichen Holzzuwachs von 5,5 Mio. m ³ [BWI3] nicht.

Mit der zunehmenden Größe der Störungsfläche verschlechtern sich zugleich die ökologischen Bedingungen ihrer Wiederbewaldung. Einerseits verlängert dies den Zeitraum, bis die aufwachsende neue Waldgeneration ein Waldinnenklima erzeugt und sich Waldwirkungen erneut entfalten. Andererseits können diese Flächen in der Regel nicht für einen gezielten Baumartenwechsel genutzt werden. Hindernisse bestehen insbesondere für den Anbau frostempfindlicher Baumarten, wie Buche und Weiß-Tanne.

In Sachsen ist die Fähigkeit von Waldbeständen, sich flächenwirksam mit hohen Individuenzahlen zu verjüngen, weitgehend auf Fichte, Eberesche und Birke begrenzt. Ohne gezielte Anpassungsmaßnahmen wird die nachfolgende Baumgeneration wahrscheinlich der aktuellen weitgehend gleichen. In Abhängigkeit von den Störungen könnten Pionierbaumarten wieder häufiger werden, da sie aufgrund ihrer Toleranz gegenüber Temperaturextremen und ihrer Schnellwüchsigkeit auf größeren Freiflächen etablierte Baumarten vorübergehend ablösen.

Erfreulich ist, dass gegenwärtig aufgrund häufiger Fruchtbildung und effizienter Verbreitung (z. B. durch Vögel) auch vergleichsweise seltene Baumarten beachtliche Ausbreitungstendenzen zeigen. Die Verjüngung stammt dabei von den Buchen, Ahornen und Eichen, die als Einzelbaum oder Gruppe im Wald verstreut oder als Allee entlang von Wegen und Straßen wachsen. Allerdings reichen die Stammzahlen in der Regel nur im näheren Umfeld der Samenbäume für einen Bestockungswechsel aus. Überwiegend begründen sie individuenarme Beimischungen, auch weil konkurrierende Bodenvegetation und vor allem Wildverbiss sich vielerorts ungünstig auf die Baumverjüngung auswirken oder sie sogar verhindern.



Als forstwirtschaftliches Erbe bestimmen in Sachsen vergleichsweise wenige Baumarten in großen homogenen Beständen das Waldbild

Anpassung an den Klimawandel

Umgang mit Unsicherheiten

Im Rahmen einer ökologisch orientierten Forstwirtschaft bedeutet die Anpassung an den Klimawandel im Kern die Verstärkung und Beschleunigung natürlicher Anpassungsprozesse. Entsprechende Maßnahmen setzen auf allen forstlichen Strukturebenen, beginnend beim Einzelbaum über die Waldbestände bis hin zur wirtschaftlichen Ebene des Forstbetriebes an.

Trotz der vielfältigen Ansätze stellt die forstwirtschaftliche Anpassung eine besondere Herausforderung dar. Denn ein erheblicher Teil der Veränderungen wird sich innerhalb der einzelnen Baumgenerationen vollziehen. Damit sind nicht nur die forstlichen Entscheidungen zur Baumartenwahl, sondern auch die Behandlung junger Bestände (Bestandeserziehung) und Durchforstungen auf künftige Klimabedingungen auszurichten.

Die forstwirtschaftliche Anpassung wird umso erfolgreicher, je besser das Wissen über die Ökologie des Standorts, die spezifische Standortanpassung von Baumarten und Herkünften und die jeweilige Gefährdungssituation ist. Folgende Faktoren schränken dieses Wissen allerdings ein:

- Unsicherheiten der Klimamodelle: Ein Großteil der Auswirkungen auf Wald und Forstwirtschaft ist die Folge

extremer Wetterereignisse und Witterungsverläufe. Neben der Dauer und Intensität der jeweiligen Ereignisse hängt die weitere Waldentwicklung auch von ihrer Häufigkeit ab. Die zeitliche Abfolge ungünstiger Phasen mit hohem Stress und günstiger Erholungsphasen verlässlich herzuleiten, kann von den gegenwärtigen Klimaprojektionen nicht geleistet werden [Klimakompodium PJ].

- Komplexität der Waldlebensgemeinschaften: Die überwiegende Zahl der ökologischen Modelle berücksichtigt bisher einen Aspekt, beispielsweise das Vorkommen bzw. das Wachstum von Baumarten oder die Populationsentwicklung von Borkenkäfern. Die Zahl der dabei betrachteten Wechselwirkungen und Rückkopplungen bleibt in der Regel begrenzt. So setzt das vielschichtige Zusammenspiel von Konkurrenz um Ressourcen und Wirt-Parasit und Räuber-Beute-Beziehungen innerhalb ganzer Nahrungsnetze der Vorhersage von Waldentwicklungen bis heute enge Grenzen. Daneben sind die Kenntnisse über die biologischen Prozesse z. B. zur Abschätzung genetischer Anpassungsmechanismen, noch immer beschränkt.
- Isolierte Betrachtung des Klimawandels: Das Bild möglicher Auswirkungen wird erst komplett, wenn vor allem atmosphärische Stoffeinträge und die mögliche Ein-

wanderung und Ausbreitung neuer Arten einbezogen werden. So hat globaler Handel und Verkehr für eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten natürliche Ausbreitungsbarrieren beseitigt. Dies ist die Grundlage dafür, dass Arten, die mit den künftigen Klimabedingungen besser zurechtkommen als die derzeit vorkommenden Arten sich hier dauerhaft etablieren können. Jede Besiedlung ist dabei ein kaum vorhersehbarer und unumkehrbarer Prozess.

Angesichts der Unsicherheiten und der Langfristigkeit vieler Entscheidungen könnten sich gezielte Investitionen als fehlerhafte Entscheidung entpuppen, wenn sich Klima oder Wälder anders entwickeln als vorhergesagt. Gezielte, speziell auf eine Klimaprojektion ausgerichtete Anpassungsmaßnahmen müssen sich daher in das Prinzip dauerhafter Anpassungsfähigkeit einfügen (s. Abb. 48)!

Als eine Grundvoraussetzung zur Anpassungsfähigkeit der Wälder wird eine möglichst hohe genetische und biologische Vielfalt innerhalb lokaler und regionaler räumlicher Einheiten angesehen, also eine Mischung standortangepasster Baumarten und verschieden angepasster Herkünfte möglichst großer Baumpopulationen.

Aus diesem Grund wird bereits seit mehreren Jahrzehnten besonderer Wert auf die Erhaltung forstlicher Genressourcen und auf die Verwendung von geeignetem Ausgangsmaterial bei der natürlichen oder künstlichen Verjüngung von Wäldern gelegt. Mit der gezielten Einbringung gebietsfremden genetischen Materials ließe sich das Anpassungspotenzial stabilisieren oder erweitern. Etwa wenn besonders trockenolerante und gleichzeitig frostresistente Herkünfte verwendet werden [Roloff 2008, Kreyling 2011]. Dafür ist ein stetiger Verjüngungsprozess unerlässlich.

auf der Ebene des Forstbetriebes

- Individuenreiche Populationen verschiedener Baumarten mit einer hohen genetischen Vielfalt schaffen bzw. erhalten,
- eine ausreichende Anzahl alter, reifer Bäume (Samenträger von Zielbaumarten) für den Generationenwechsel belassen und den Verjüngungsprozess verstetigen, u.a. durch angemessene Bejagung zur Sicherung gegenüber Wildverbiss,
- zu einem kleinflächigeren Bestandesmosaik (Flächen mit einheitlicher Waldstruktur) übergehen, welches sich am waldbaulichen Charakter der Baumarten und des Standortes orientiert,
- veränderte standörtliche Rahmenbedingungen im forstlichen Handeln berücksichtigen: Atmosphärische Stoffeinträge, Relief und Wasserspeicherkapazität der Böden verändern die Wuchsrelationen der Standorte. Milde Winter und trocken-warme Frühjahrswitterung verschieben die optimale Pflanzsaison. Fehlende Frostperioden erschweren die Holzernte.



auf der Ebene von Waldbeständen

- Mischbaumarten erhalten und fördern, insbesondere wenn sich die Konkurrenzbedingungen zukünftig zu ihren Gunsten verändern,
- verdämmende Bodenvegetationsdecken (Wasserhaushalt und Verjüngungshemmnis) vermeiden,
- Verjüngungsinintensität am Risiko des Bestandesverlustes und den vorhandenen Verjüngungspotenzialen ausrichten.

auf der Ebene einzelner Bäume

- Durch intensive Förderung in der Jugend großkronige Bäume erziehen, die mit einem adäquaten Wurzelwerk einen großen Bodenkörper erschließen,
- bei waldbaulichen Maßnahmen die Auswahlkriterien (Vitalität, Qualität, Standort) in Bezug auf Standortspotenzial und Gefährdungslage situativ anpassen und nicht großflächig einheitlich vorgehen,
- Wurzeldeformationen bei der Pflanzung vermeiden und zielkonformen Naturverjüngungen den Vorrang gewähren.

Abbildung 48: Anpassung der Waldbewirtschaftung

Das Waldumbauprogramm Sachsen

Der Waldumbau ist eine gezielte Strategie, um die Baumartenzusammensetzung und Altersstruktur von Waldbeständen natürlichen (Standortsgerechtigkeit³) und gesellschaftlichen (Funktionsgerechtigkeit) Erfordernissen anzupassen. Der Wechsel der Hauptbaumart als wesentlicher Teilaspekt des Waldumbaus findet im Zuge von Ernte und Verjüngung der Waldbestände statt. Doch auch im Rahmen von Durchforstungen lassen sich unter weitgehender Beibehaltung der Baumartenzusammensetzung andere Altersstrukturen herbeiführen.

Als ein Kernelement zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel stellt der Waldumbau ein Handlungsfeld der Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen dar [SMUL 2013]. Im Staatswald des Freistaates Sachsen ist eine kontinuierliche Fortführung auf 1.300 bis 1.500 Hektar je Jahr vorgesehen, um den aktuellen Generationenwechsel möglichst umfänglich zu nutzen. Bis zum Jahr 2050 könnte so die Baumartenstruktur im Landeswald auf ca. 80.000 ha und im Privat- und Körperschaftswald auf ca. 30.000 ha verbessert werden.

Mit der flächenkonkreten Ausweisung von Zielzuständen der Waldentwicklung wurde die neue dynamische Klimagliederung in die planerischen Grundlagen des Waldumbaus aufgenommen [SBS 2013]. Die aktuelle Zielzustandskarte (s. Karte Abb. 50) ist das Resultat einer umfassenden waldbaulichen Bewertung von Waldstandorten. Neben dem räumlichen Vorkommen der Leitbaumarten unter dem gegenwärtigen Klima (Klimanormalperiode 1971-2000) fließen die reliefbedingte Strahlungsexposition, der Bodenwasserhaushalt und die Nährstoffverfügbarkeit in die Wertung ein.

Angesichts der erwarteten Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit wurden die Anbauempfehlungen hinsichtlich des Bodenwasserhaushaltes stärker abgestuft. Dem pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, denn je mehr Wasser ein Boden speichern kann, umso besser kann das Niederschlagsangebot zeitlich ausgeglichen werden. Die in Abhängigkeit von der Bodenform⁴ unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit Wasser pflanzenverfügbar zu speichern,

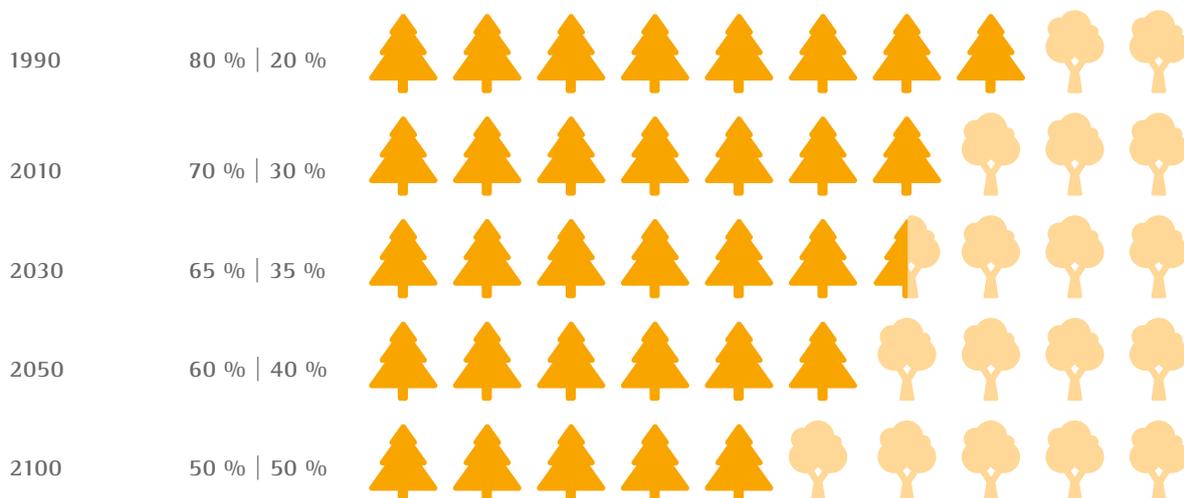
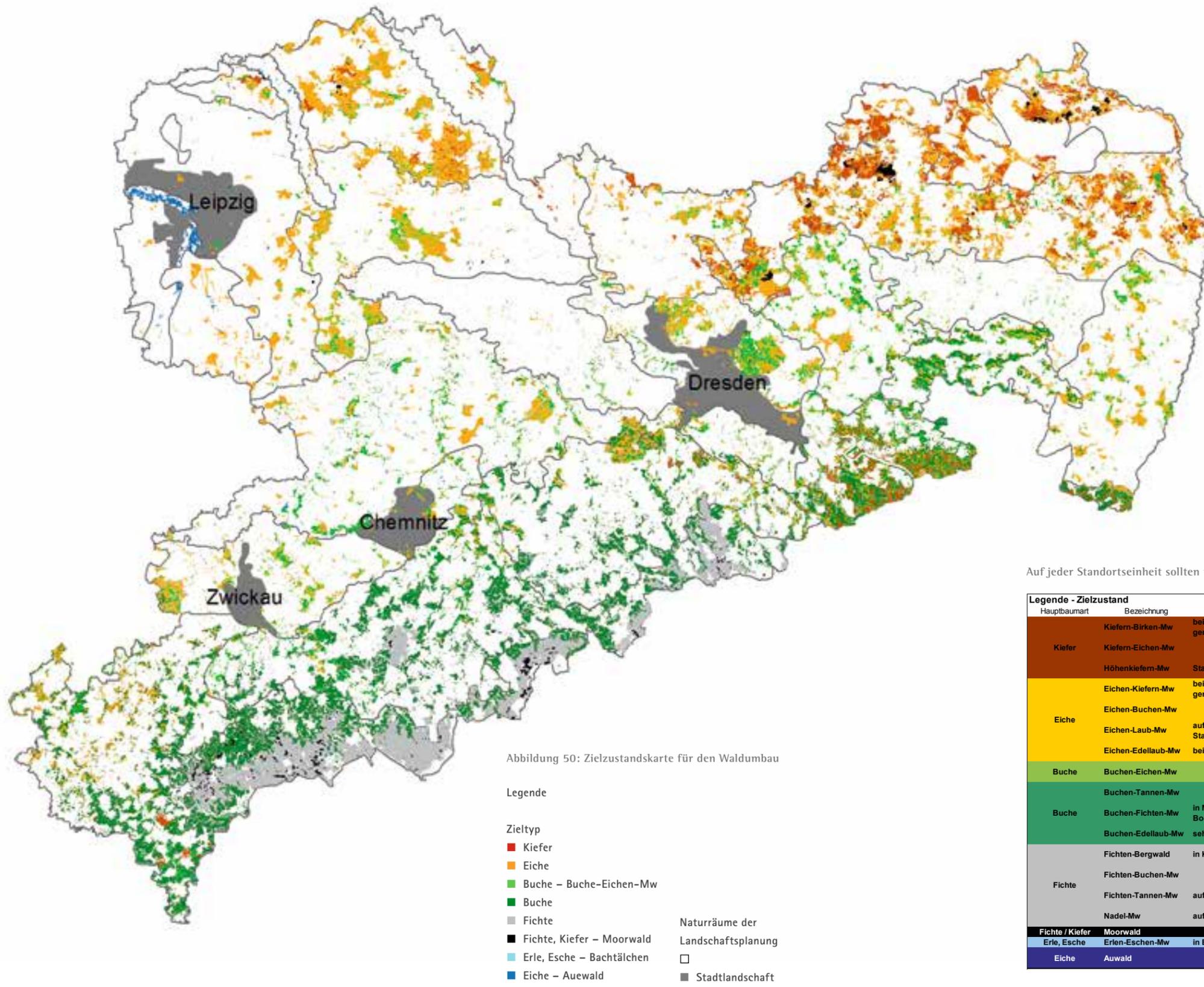


Abbildung 49: Bilanz und Ziel des Waldumbaus: Auf kritischen Standorten wird der Freistaat Sachsen bis zum Jahr 2050 den Waldumbauprozess kontinuierlich fortführen. Entsprechend der angestrebten Geschwindigkeit wird sich das Verhältnis von Nadel- zu Laubbäumen weiter angleichen.

³ Auf der Ebene der Baumart ist Standortsgerechtigkeit immer dann gegeben, wenn sie die standörtliche Ertragsfähigkeit ausnutzt und sich ihr Anbau nicht nachteilig auf die Stoffkreisläufe und Standortseigenschaften auswirkt.



Kürzel	Baumart
FI	Fichte
KI, BKI	Kiefer und Berg-Kiefer
WTA	Weiß-Tanne
LÄ	Lärche
DGL	Douglasie
BU	Rot-Buche
SEI, TEI, REI	Stiel-, Trauben- und Rot-Eiche
HBU	Hain-Buche
SAH, BAH, FAH	Spitz-, Berg- und Feld-Ahorn
WLI, SLI	Winter- und Sommer-Linde
FUL, BUL	Flatter- und Berg-Ulme
ES	Esche
VKI	Vogel-Kirsche
ELS	Elsbeere
ER	Erle
ASP	Aspe
BI, MBI	Sand- und Moor-Birke
EB	Eberesche

Auf jeder Standortseinheit sollten folgende langfristige Bestockungsziele realisiert werden:

Legende - Zielzustand			Mischbaumarten		Nebenbaumarten (Flächenanteil 0-10%)	
Hauptbaumart	Bezeichnung	Abgrenzung innerhalb der Flächenkulisse		%		
Kiefer	Kiefern-Birken-Mw	bei ungünstigem Bodenwasserhaushalt, geringer Nährstoffausstattung	BI	10-50	TEI, REI	
	Kiefern-Eichen-Mw		TEI, BI	30-50	REI	
	Höhenkiefern-Mw	Standorten im Bergland	LÄ, BI, BU, TEI, HBU	30-50	DGL	
Eiche	Eichen-Kiefern-Mw	bei ungünstigem Bodenwasserhaushalt, geringer Nährstoffausstattung	KI, HBU, WLI, REI, DGL	30-50	BI, SAH	
	Eichen-Buchen-Mw		BU, REI, DGL, HBU, WLI, SAH, KI, LÄ	30-50	BI, VKI	
	Eichen-Laub-Mw	auf grund- (N) u. wechselfeuchte (W) Standorten	REI, KI, HBU, WLI, BAH, ES, BU, WTA, RER, BI	30-50	SAH, VKI, FUL, BI, ASP	
	Eichen-Edellaub-Mw	bei sehr hoher Nährstoffausstattung	BAH, SAH, ES, HBU, WLI, BU, FUL, BUL	30-50	SLI, VKI, FAH, ELS	
Buche	Buchen-Eichen-Mw		TEI, SEI, DGL, HBU, WLI, WTA, BAH, SAH, ES, REI, LÄ	10-50	FI, KI, ASP, BI, VKI	
	Buchen-Tannen-Mw		WTA, DGL, FI, BAH, ES, BUL	30-50	BI, EB, LÄ, KI, TEI, HBU, WLI	
	Buchen-Fichten-Mw	in Mittlere Berglagen und bei frischerem Bodenwasserhaushalt	FI, WTA, DGL, BAH, ES, BUL	30-50	LÄ, EB, BI	
	Buchen-Edellaub-Mw	sehr hohe Nährstoffausstattung	BAH, SAH, ES, BUL, EI, HBU	30-50	SLI, VKI, ELS	
Fichte	Fichten-Bergwald	in Kammlagen	EB, BU, WTA	10-30	BAH, BI	
	Fichten-Buchen-Mw		BU, WTA, BAH, ES, BUL	20-50	LÄ, KI, EB, BI	
	Fichten-Tannen-Mw	auf mineralischen Nassestandorten	WTA, BAH, ES, KI	20-40	ER, EB, BI, MBI	
	Nadel-Mw	auf Quarzit und Porphy	WTA, BI	10-30	EB	
Fichte / Kiefer	Moorwald		BKI, MBI, BI, ER	10-50	EB	
Erle, Esche	Erlen-Eschen-Mw	in Bachtälchen (in Karte nicht darstellbar)	BAH, FI, BUL, SEI, HBU	30-50	FUL	
Eiche	Auwald		ER, ES, FUL, BAH, SAH, HBU	30-50	VKI, Pappeln, Weiden, FAH	

wird als nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK als Niederschlagsäquivalent für definierte Bodentiefe) ausgedrückt.

Bei der Gliederung der Waldböden hinsichtlich ihrer nutzbaren Wasserspeicherkapazität wird bildlich von „Substratfeuchte“ gesprochen [König 2011]. In den forstlichen Standortskarten ist die Substratfeuchte bisher nicht enthalten. Die Aufbereitung und digitale Analyse der Archivinformationen von rund 1.000 Bodenprofilen ermöglichte es, für forstliche Lokalbodenformen [Schwanecke 1996] die nutzbare Wasserspeicherkapazität herzuleiten. Auf diese Weise konnten für alle sickerwassergetragenen Bodenformen, die ca. 350.000 ha Waldfläche (rund 70 % der Wald-

fläche Sachsens) repräsentieren, Substratfeuchtestufen (s. Abb. 51) bei der Ausweisung von Zielzuständen berücksichtigt werden.

Alle Zielzustände sind als Baumartenmischungen formuliert, die auf einer Standortseinheit (und bei großen Einheiten innerhalb einer Forstabteilung⁵) realisiert werden. Dies soll das Vorkommen gewünschter Baumarten räumlich absichern. Gegenwärtig entspricht in Sachsen lediglich ein geringer Flächenanteil des Waldes hinsichtlich seiner Arten- und Raumstruktur dem jeweiligen Zielzustand. Angesichts des Umfangs umbaunotwendiger Waldbestände ist es für die Forstbetriebe eine Herausforderung, den Waldbau nicht

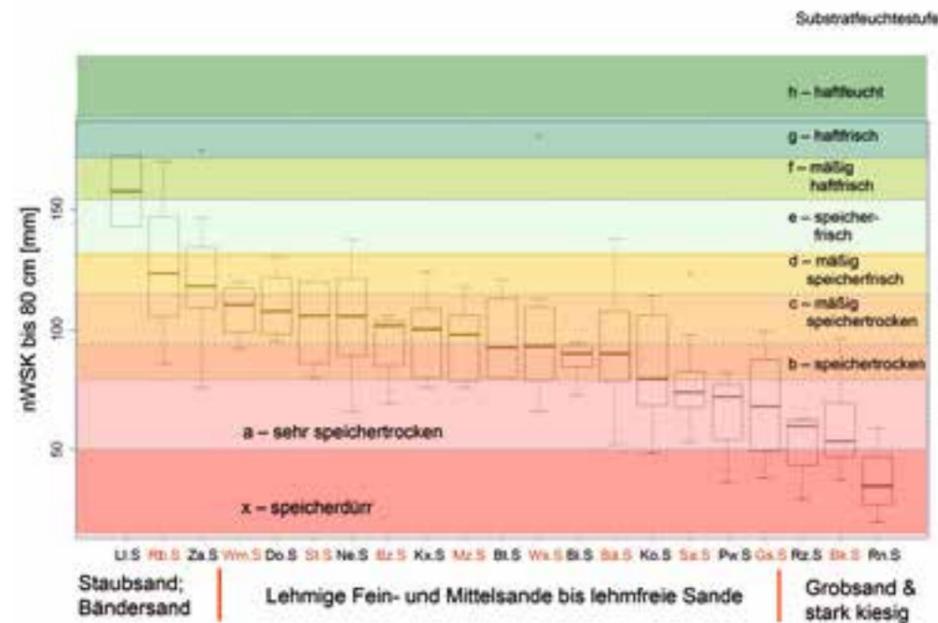


Abbildung 51: Einordnung von 21 verschiedenen Lokalbodenformen (Buchstabenkombinationen), die Sandböden im sächsischen Tiefland charakterisieren in den 9-stufigen Gliederungsrahmen der Substratfeuchte. Die Abbildung zeigt den kontinuierlichen Übergang relativ hoher Speicherkapazität von den feinsandigen Böden zu den grobsandigen und kiesigen Böden. Ein Großteil der Waldböden liegt im mäßig speichertrockenen und speichertrockenen Bereich.

⁴ Die Bodenform entspricht der Gesamtheit der substratbezogenen Eigenschaften eines Bodens, die aus der Korngrößenverteilung (Bodenart) und ihrer vertikalen Abfolge (Bodentyp) für verschiedene Ausgangsgesteine resultieren. Gneisbraunerden, Sandbraunerden und Granitpodsole sind häufige Bodenformen in Sachsens Wäldern.

⁵ Mit der Etablierung einer geregelten Forstwirtschaft wurden die Wälder räumlich in forstliche Abteilungen gegliedert. Diese dienten anfänglich zur Regelung der Nachhaltigkeit und sind zu einer konstanten Ortsbezeichnung und Orientierungshilfe geworden.

nur wirkungsvoll (effektiv), sondern auch wirtschaftlich (effizient) zu gestalten. So ist es effektiv, den Waldbau in Waldbeständen zu konzentrieren, die am schlechtesten in der Lage sind, äußeren Einflüssen zu widerstehen und sich diesen anzupassen. Effizient ist es, den Waldbau dort zu forcieren, wo der drohende Verlust von Waldwirkungen (z. B. Bodenschutz, Grund- und Quellwasserneubildung) besonders schwer wiegt und die forstbetriebliche und gesellschaftliche Bedeutung des Waldbestandes (Waldfunktionen) entsprechend hoch ist [Eisenhauer, Sonnemann 2008].

Dem trägt die Rangfolge der räumlichen Notwendigkeit und der zeitlichen Dringlichkeit des Waldbaus Rechnung. In Sachsen unterliegen vor allem die Fichtenwälder im Hügelland und den unteren Berglagen einem hohen Risiko des flächenhaften Zusammenbruches. Entsprechend dem Landesentwicklungsplan 2013 [SMUL 2013] soll der Waldbau sich zunächst vorrangig auf die entsprechenden Landschaftseinheiten mit hoher Umbaunotwendigkeit konzentrieren (s. Abb. 52).

Die Dringlichkeit dies zu tun resultiert vornehmlich aus der Gefährdung der Waldbestände. Diese ist in der frühen Jugend hoch, erreicht im mittleren Alter bei höchster Vitali-

tät und Zuwachs ein Minimum und steigt im höheren Alter erneut an. Ältere Waldbestände sind aber nicht nur hinsichtlich des Holztrages besonders interessant, sondern auch naturschutzfachlich und landeskulturell wertvoll. In diesem Spannungsfeld kann die Vorhersage von Waldschuttrisiken (z. B. Sturm, Borkenkäfer) zur Objektivierung des notwendigen Verjüngungs- und Umbaufortschrittes beitragen.

Die zunehmende Gefährdung und der beginnende Zusammenbruch von Waldbeständen sind mit tendenziell steigenden Aufwendungen für die Walderneuerung verbunden. Ist zum Beispiel das natürliche Verjüngungspotenzial (durch überhöhte Wildbestände) eingeschränkt, übernehmen oftmals konkurrenzstarke Arten der Bodenvegetation (Reitgräser, Brom- und Himbeere, Holunder) die Vorherrschaft. Diese erschweren die künstliche Waldverjüngung über Pflanzung und Saat. Um derartige ökologische Probleme zu vermeiden, empfiehlt es sich optimale Situationen für den Waldbau aktiv zu nutzen.

Generell ist eine aktive Anpassung an den Klimawandel mittel- bis langfristig nicht nur hinsichtlich kontinuierlicher Ertragserwartungen, sondern auch hinsichtlich des betrieblichen Aufwandes die erfolgversprechendere Alternative.



Abbildung 52: Einschätzung der Umbaunotwendigkeit nach Landschaftseinheiten



Waldbau – ohne die gezielte Einbringung von Weiß-Tanne und Laubbaumarten (Hintergrund) würde die folgende Waldgeneration wieder von Fichten dominiert sein.

Die Dynamik der Anpassungsstrategie

Tabelle 7: Handlungsrahmen forstlicher Entscheidungen am Beispiel der Baumartenwahl.

Strategie	Anlage einer Forstkultur in der Gegenwart	Wuchsleistungen in der nahen Zukunft (halbe Baumgeneration)	Hiebsreife in der fernen Zukunft (eine Baumgeneration)
A			
Fokussierung der Entscheidung auf die Gegenwart	unter günstigsten Bedingungen mit bekannten Risiken	unter zunehmend ungünstigeren Bedingungen geringer	hohe Risiken und ungünstigste Bedingungen zur natürlichen Verjüngung
B			
Fokussierung der Entscheidung auf die Mitte der Produktionszeit	unter ungünstigeren Bedingungen mit erhöhten Risiken	unter günstigsten Bedingungen am höchsten	moderate Risiken und ungünstige Bedingungen zur natürlichen Verjüngung
C			
Fokussierung der Entscheidung auf das Ende der Produktionszeit	unter ungünstigsten Bedingungen mit sehr hohen Risiken	unter zunehmend günstigeren Bedingungen geringer	geringe Risiken und günstigste Bedingungen zur natürlichen Verjüngung
Einschätzung auf Basis	beobachteter aktueller Entwicklung	wahrscheinlicher Entwicklung	unter Berücksichtigung von Ungewissheit

Hervorzuheben ist, dass der in den Zielzuständen angestrebte Wechsel der Hauptbaumart gegenwärtigen Klimaverhältnissen entspricht. Ziel dieses Ansatzes ist es, den finanziellen und betrieblichen Aufwand von Verjüngungsmaßnahmen so gering wie möglich zu gestalten (s. Tab. 7 - Strategie A). Insofern stellt die Zielzustandskarte einen Mindestansatz dar, der auf eine weitgehende Ausschöpfung der Anpassungskapazität der Baumarten ausgelegt ist!

Zusammen mit der dynamischen Klimagliederung bedürfen auch Zielzustände einer fortwährenden Überprüfung. Entsprechend der Klimaprojektionen ist davon auszugehen, dass sich Anpassungen der Zielzustände vornehmlich auf das Hügel- und Bergland konzentrieren und hier vornehmlich die Baumart Fichte betreffen. Für die Kiefernbestände im Tiefland verbessert sich dagegen zunächst die klimatische Standortsgerechtigkeit. Wahrscheinlich wird sich schrittweise die Anbaueignung von Buche und anderen Baumarten ändern.

Im Vergleich zum Umbauprogramm für den Staatswald sind jedoch Vorgehensweisen denkbar, die vorhergesagte zukünftige Klimaverhältnisse weitaus stärker berücksichtigen (s. Tab. 7). Ökonomisch betrachtet handelt es sich dabei um die Abwägung heutiger Kosten/Investitionen und zukünftiger Erträge/Leistungen des Forstbetriebes.

Derartige Überlegungen müssen zwangsläufig mehrere Jahrzehnte abdecken, wobei Betrachtungen von mehr als 100 Jahren keinesfalls selten sind. Die moderne Forstökonomie berücksichtigt hierbei ausgehend von erwarteten Erträgen verstärkt Holzpreisschwankungen und natürliche Risiken. Generell konnten derartige Untersuchungen belegen, dass die Mischung von Baumarten nicht nur ökologisch, sondern ebenso finanziell von Vorteil ist [Knoke 2007]. Mit Blick auf die nahe Zukunft lassen sich so theoretisch für jeden Forstbetrieb auf Basis wahrscheinlicher Risiken ökonomisch optimale Baumartenanteile berechnen. Wenn die Bewertung der Risiken in ferner Zukunft zunehmend unsicher wird, werden gezielte Optimierungen problematisch und es ergeben sich ausgeglichene Mischungsanteile [Knoke 2009].

Betrachtet man die Vielzahl kleinerer Forstbetriebe in Sachsen könnten sich je nach Ausgangssituation Anpassungen lohnen, die deutlich stärker auf die zukünftige Klimaentwicklung ausgerichtet sind. Die Leitbaumarten der Klimagliederung bieten hierfür entsprechende Orientierung. Und auch ein vermehrter Anbau von Mischbaumarten berücksichtigt tendenziell die Wuchsbedingungen zur Mitte der Umtriebszeit (s. Tab. 7 - Strategie B), wenn beispielsweise an Stelle der Fichte die Buche oder an Stelle der Buche die Eiche als Hauptbaumart begründet wird.

Im Privatwald, der in Sachsen 45 Prozent der Waldfläche einnimmt, herrschen kleinflächige Eigentumsverhältnisse vor. Um großflächig einförmige Waldstrukturen zu vermeiden, sind hier die Entscheidungen der Nachbarn mit einzubeziehen. Des Öfteren kann es sinnvoll sein nicht die Hauptbaumarten des Zielzustandes anzubauen, sondern ausschließlich innerhalb der Palette der Misch- und Nebenbaumarten zu wählen.

In den Zielzuständen finden sich nur selten Baumarten, die forstlich aus fremden Florengebieten eingeführt wurden. Da

die bisherigen Erfahrungen beim Anbau dieser Baumarten eine Vielzahl ökologischer wie ökonomischer Risiken aufzeigen [Martens 2015], werden nur bewährte Arten (u. a. Douglasie, Rot-Eiche) auf ausgewählten Standortbereichen als Mischbaumart empfohlen. Ein sehr intensiver Anbau dieser oder weiterer Baumarten wäre Teil eines kostenintensiveren Vorgehens mit ungewissen Folgen (vergleichbar s. Tab. 7 – Strategie C).

Unterstützung des Anpassungsprozesses durch den Freistaat Sachsen

Die Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen bildet den Rahmen für die künftige Entwicklung von Wald und Forstwirtschaft in Sachsen. Anliegen dieser forstpolitischen Strategie der Staatsregierung ist es, das Leistungsvermögen der Wälder und die künftigen gesellschaftlichen Ansprüche in Einklang zu bringen. Zugleich legt sie dar, wie Wald und Forstwirtschaft zur Mitte des 21. Jahrhunderts in Sachsen beschaffen sein müssen, um die aktuellen wie zukünftigen Herausforderungen auch des Klimawandels zu meistern und unterbreitet dafür konkrete Handlungsvorschläge.

Der Freistaat Sachsen unterstützt den Anpassungsprozess der Wälder. Dies reicht von der Registrierung und Abschätzung von Veränderungen, über die Ableitung und Vermittlung entsprechender Handlungsoptionen bis hin zur finanziellen Unterstützung der Umsetzung konkreter Anpassungen.

In fachlicher Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen sichtet und erweitert das Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft im Staatsbetrieb Sachsenforst das Wissen über die Auswirkungen des Klimawandels im Wald und sucht fortwährend die Anpassungsstrategie zu verbessern. Schwerpunkte gegenwärtiger Forschungen sind:

- Die Verbesserung der Standortinformationen und der Grundlagen ihrer Bewertung, z. B. durch die Aktualisierung der Informationen zu Humusvorräten, der systematischen Ableitung und Bewertung von Geländemerkmalen und Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Waldbeständen,

- die Weiterentwicklung von Herkunftsempfehlungen und die verbesserte Abschätzung genetischer, epigenetischer und physiologischer Anpassungsfähigkeit von Baumarten und Herkünften,
- die weitere Integration standortsensitiver Modelle zum Wuchsverhalten der Baumarten und der Populationsentwicklung von Schadinsekten in forstbetriebliche Planungen.

Ziel dieser Arbeiten ist es, im Zuge der erneuten Überarbeitung der Klimagliederung die Baumartenempfehlungen immer weiter zu qualifizieren und so effizient wie möglich steigenden Risiken anzupassen. So nimmt in den nächsten Jahrzehnten vor allem das Risiko von Schäden durch den Buchdrucker (Großer achtzähliger Fichtenborkenkäfer) deutlich zu [Schopf et al. 2012]. Es erhöhen sich die Zahl jährlich möglicher Käfergenerationen und das potenzielle Nahrungs- und Brutraumangebot, weil immer mehr Fichtenbestände in Dimensionen einwachsen, die sehr hohe Sturm- und Käfergefährdung aufweisen. Um Massenvermehrungen zu verhindern ist unter dem Begriff „saubere Waldwirtschaft“ alles bruttaugliche Material rasch aus dem Wald zu entfernen. Mit dem Borkenkäfermonitoring und der Vorhersage der Schwarmaktivität unterstützt der Staatsbetrieb Sachsenforst hierfür notwendige Befallskontrollen.

Die Wissensvermittlung umfasst die individuelle Beratung privater Waldbesitzer durch den zuständigen Revierleiter und kostenlose Schulungsveranstaltungen der Forstbezirke. Darüber hinaus existiert eine Fülle an Veröffentlichungen zum Thema.



Pflanzung von Weiß-Tannen:

Ohne dieses aktive Handeln bleiben Baumarten wie die Weiß-Tanne in Sachsen selten. Ihre ausgesprochen hohe Empfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid, die mit geringerer Widerstandsfähigkeit gegenüber Winterfrösten und Wurzelfäulen einhergeht, brachte die Baumart in Verruf eine „Mimose“ zu sein. Dabei sind die ausgeprägte Schattentoleranz und das tiefreichende Wurzelsystem waldbaulich vorteilhafte Eigenschaften. Bei ähnlich hohen Holzerträgen ist die Weiß-Tanne weniger trockenheits- und sturmanfällig als die Fichte und ein Hoffnungsträger im Klimawandel.

Das von mehreren forstlichen Forschungseinrichtungen gemeinsam betriebene Wissensportal www.waldwissen.net macht hierbei die Arbeiten vieler Wissenschaftler zugänglich.

Wie in den vergangenen Förderperioden werden im Zeitraum 2014 bis 2020 private und körperschaftliche Waldbesitzer mit EU-Mitteln über die Förderrichtlinie Wald und Forstwirtschaft des SMUL (<http://www.smul.sachsen.de/foerderung/3527.htm>) unterstützt. Dies betrifft neben dem Umbau hin zu standortgerechten, ökologisch vielfältigen und klimaangepassten Wäldern auch die Verjüngung natürlicher, gebietsheimischer Waldgesellschaften in Schutzgebieten. Ziel ist hier die Sicherung bzw. Entwicklung eines günstigen Erhaltungszustandes der Wald-Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie und anderer wertvoller Waldbiotope.

Darüber hinaus wird weiterhin die Bodenschutzkalkung in den von Bodenversauerung betroffenen Wäldern aller Besitzarten gefördert.

Informationsangebote in Sachsen

Borkenkäfermonitoring:

<http://www.forsten.sachsen.de/wald/191.htm>

Vorhersage der Schwarmaktivität:

http://iff-server2.boku.ac.at/BKR_Sachsen/viewer.htm

Wissensportal:

www.waldwissen.net

Waldstrategie 2050:

<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11309>

Waldzustandsberichte 2007, 2008 und 2010 mit Schwerpunktkapiteln zum Waldumbau:

<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11936>

Wald und Klima:

<http://www.waldundklima.de/>

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft



Dank seiner klimatisch günstigen Lage hat Deutschland im Allgemeinen keine Wassermengenprobleme. Die Hauptsorge im dicht besiedelten, hochindustrialisierten Deutschland gilt deshalb nach wie vor der Verbesserung der Wasserqualität und der Struktur der Gewässer.

*Wasserwirtschaft in Deutschland,
Teil 1: Grundlagen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit 2014*

*Autoren: Karin Kuhn, LfULG; Dr. Bernd Spänhoff, LfULG;
Udo Mellentin, LfULG; Maik Ulrich, LTV;
Franz-Leonard Kühne, LTV; Ralf Sudbrack, LTV*

Wasserhaushalt und Klimawandel



Naturnahe Bäche und Flüsse des Tieflands (links) und der Mittelgebirge (rechts) können sich besser an die Auswirkungen des Klimawandels anpassen als ausgebaute und belastete Vorfluter

Wasser ist die Grundlage für alles Leben. Von der Verfügbarkeit hängt die Pflanzenproduktion genauso ab wie eine stabile und qualitätsgerechte Versorgung mit Trinkwasser. Gleichzeitig ist Wasser ein wichtiges Landschaftselement: intakte Bäche, Flüsse, Seen und kleinere Standgewässer sind Bestandteile unseres Naturhaushaltes. Der sichere Zugang zu Trinkwasser in ausreichender Menge und Güte ist im Freistaat Sachsen als Aufgabe der Daseinsvorsorge seit langem gewährleistet. Seit dem Hochwasser 2002 stellt sich

Sachsen umfassend auf die Anforderungen des Hochwasserrisikomanagements und der Hochwasservorsorge ein. Mit der europäischen Wasserrahmenrichtlinie wird nunmehr der gute ökologische Zustand der Gewässer zu einem bedeutenden Ziel der Gewässerentwicklung. Klimawandel und die Anpassung an den Klimawandel stellen bereits jetzt wesentliche Schwerpunkte für die kommenden Flussgebietsbewirtschaftungs- und Hochwasserrisikomanagementpläne dar.

Auswirkungen des Klimawandels

Untersuchungen zur Entwicklung von Wetterlagen zeigen, dass sich Sachsen zukünftig auf eine Zunahme von Extremereignissen einstellen muss. Die Erhöhung der Temperaturen und die damit verbundene höhere Verdunstung werden insbesondere im sächsischen Tiefland zunehmend zu Problemen bei der ganzjährigen Wasserverfügbarkeit führen. Die Erhöhung der Lufttemperatur führt auch zur Erwärmung der Gewässer. Die jahreszeitliche Verschiebung der Niederschläge mit der derzeit zu beobachtenden Frühjahrstrockenheit kann

zu geringerem Pflanzenwachstum führen und damit eine verringerte Stickstoffaufnahme bewirken. Der nicht verbrauchte Stickstoff verunreinigt dann nach auftretenden Starkniederschlägen das Grund- und Oberflächenwasser. Trockenphasen bedeuten auch Stress für die Gewässerökosysteme. Insbesondere Gewässer, die bereits einem Nutzungsdruck unterliegen, können durch erhöhte Temperaturen und saisonal geringere Abflüsse weiter beeinträchtigt werden.

Die Diagnose der vorliegenden Messdaten im Grund- und Oberflächenwasser zeigt, dass seit etwa Mitte der 1980er Jahre eine negative Tendenz im Wasserhaushalt beobachtet wird.

Allerdings führte die vergleichsweise niederschlagsreiche Periode mit mehreren außerordentlichen Hochwässern in den Jahren 2002, 2006, 2010/11 und 2013 zu einem überwiegend steigenden Trend der Grundwasserstände (vgl. Auswerte-

zeitraum 1990 – 2014 in Tabelle 8). Dass allerdings trotz dieser außerordentlichen Nassperiode der letzten Dekade und deutlich zurückgegangenen Wasserentnahmen insbesondere im langen Zeitraum 1971 – 2014 eine hohe Anzahl fallender Grundwasserstände zu beobachten ist muss auf Änderungen im Wasserhaushalt zurückgeführt werden. In Abbildung 53 sieht man, dass dieses Phänomen flächendeckend auftritt und nicht auf einzelne Regionen begrenzt ist.

Tabelle 8: Statistische Auswertung von anthropogen weitgehend unbeeinflussten Grundwassermessstellen

Auswerte- zeitraum	hoch signifikant			signifikant			schwach signifikant			nicht signifikant	nicht bewertet
	gesamt	positiv	negativ	gesamt	positiv	negativ	gesamt	positiv	negativ	gesamt	gesamt
1971 – 2014	181 71 %	115 45 %	66 26 %	34 13 %	19 7 %	15 6 %	9 4 %	5 2 %	4 2 %	21 8 %	11 4 %
1990 – 2014	205 80 %	182 71 %	23 9 %	27 11 %	18 7 %	9 4 %	4 2 %	2 1 %	2 1 %	13 5 %	7 3 %

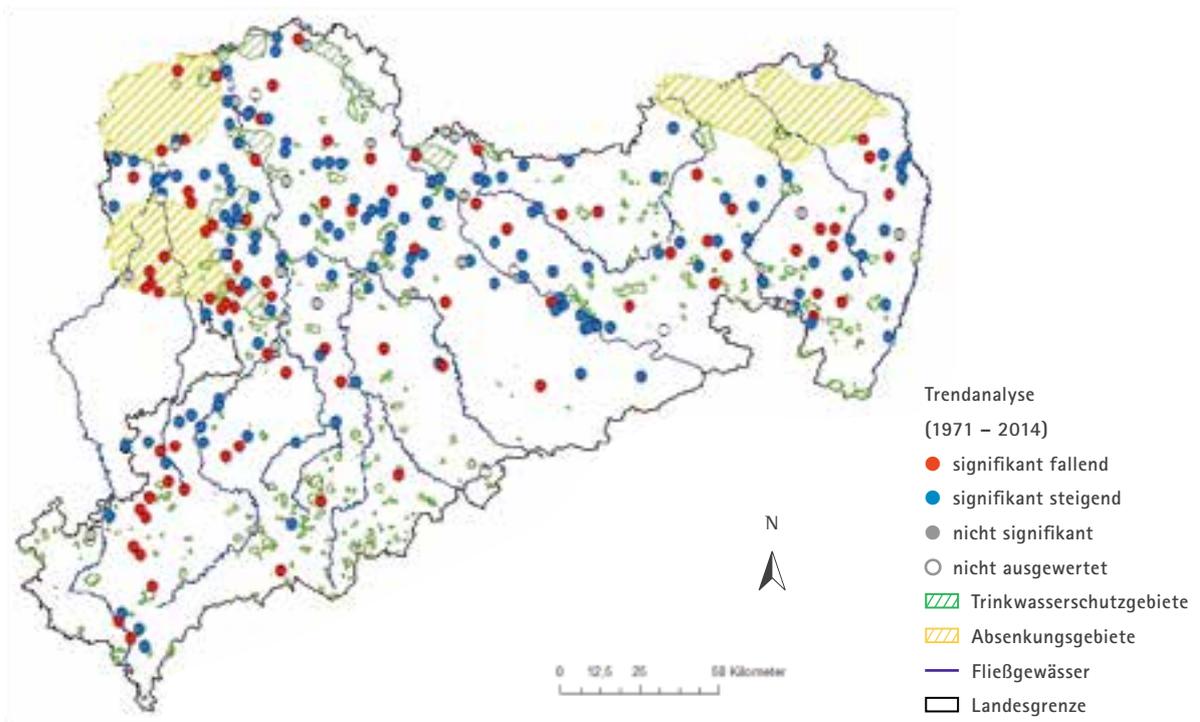


Abbildung 53: Trendanalyse und räumliche Muster der Entwicklung der Grundwasserstände (Zeitraum 1971–2014)

Für die Darstellung der Entwicklung des Wasserhaushaltes unter dem Einfluss des Klimawandels wurde in den Jahren 2008 – 2013 das Forschungsprojekt KLiWES durchgeführt. Mit Hilfe der für ganz Sachsen (mit Ausnahme der Bergbaugebiete, da diese über eigene Modelle verfügen) aufgestellten Wasserhaushaltsmodelle wurden unter Nutzung der Klimaprojektionen die Folgen des Klimawandels berechnet. Auf dieser Basis sind folgende Grundeinschätzungen möglich und die genannten Entwicklungstendenzen sichtbar:

- Abnahme der Grundwasserneubildung, langfristiger Dargebotsrückgang,
- Abnahme der Niedrigwassermengen, Zunahme der Häufigkeit und Dauer von Niedrigwasserereignissen,
- häufigere und ggf. höhere Hochwasser werden durch die Modelle nicht abgebildet, da die Projektionen Extremsituationen nur unzureichend abbilden können,
- die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt können in Sachsen regionalspezifisch dargestellt werden,
- bis 2050 sind die Entwicklungstendenzen als moderat zu bezeichnen. Im Zeitraum bis 2100 zeichnen sich drastische Veränderungen ab.

Mit weiteren Projekten in der Grenzregion zu Polen und Tschechien (NEYMO und GRACE) konnten diese Aussagen auch für diesen Raum bestätigt werden.

Die Grundaussagen der gerechneten Projektionen werden im Folgenden anhand von zwei Beispielen dargestellt. Die Quelle der Zschopau repräsentiert dabei den Mittelgebirgsraum, der Schwarzbach das Tiefland von Sachsen. In den beiden folgenden Abbildungen 54 bis 56 wird deutlich, dass die Abweichung vom langjährigen Mittel der Referenzperiode 1961 – 1990 (Sommerhalbjahr, Winterhalbjahr, Jahr) bereits seit etwa dem Jahr 2000 den bisher bekannten Schwankungskorridor verlassen hat. Der Wasserhaushalt nimmt kontinuierlich ab.

In den Klimaprojektionen für die kommenden Jahrzehnte wird auch von einer Reduzierung der mittleren Zuflüsse zu den Talsperren ausgegangen. Im Frühjahr führt eine starke und schnelle Erwärmung des Talsperrenwassers zu einem früheren Schichtungsbeginn und zu einer längeren Dauer einer stabilen Schichtung. Damit kann bis zum Ende der Sommerstagnation Zustand der Wasserkörper beein-

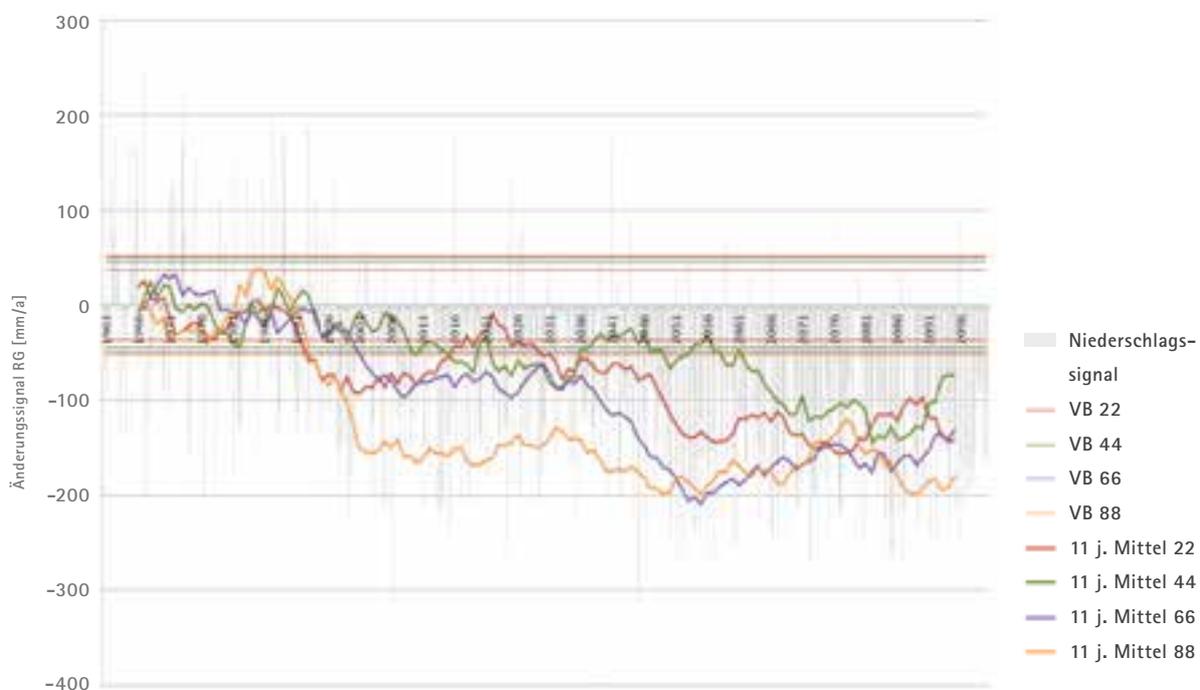


Abbildung 54: Abweichung des Grundwasserabflusses der Quelle Zschopau (Mittelgebirge) vom langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1961–1990 (Einzeljahre sowie 11-jähriges gleitendes Mittel)

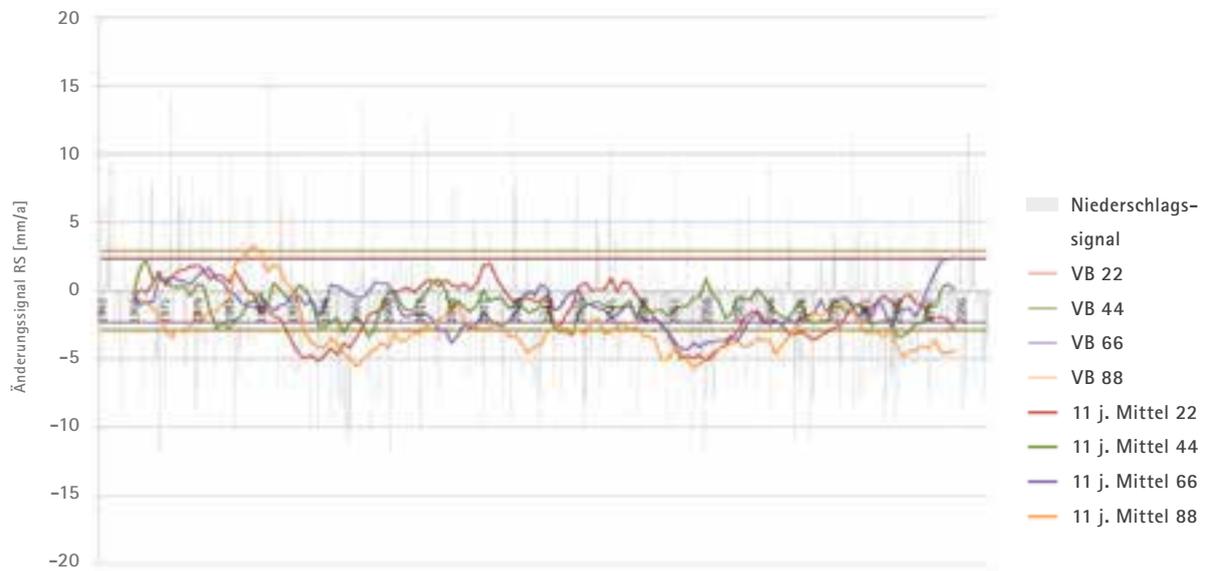


Abbildung 55: Abweichung des Oberflächenwasserabflusses im Schwarzbach (Tiefland) vom langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1961–1990 (Einzeljahre sowie 11-jähriges gleitendes Mittel)

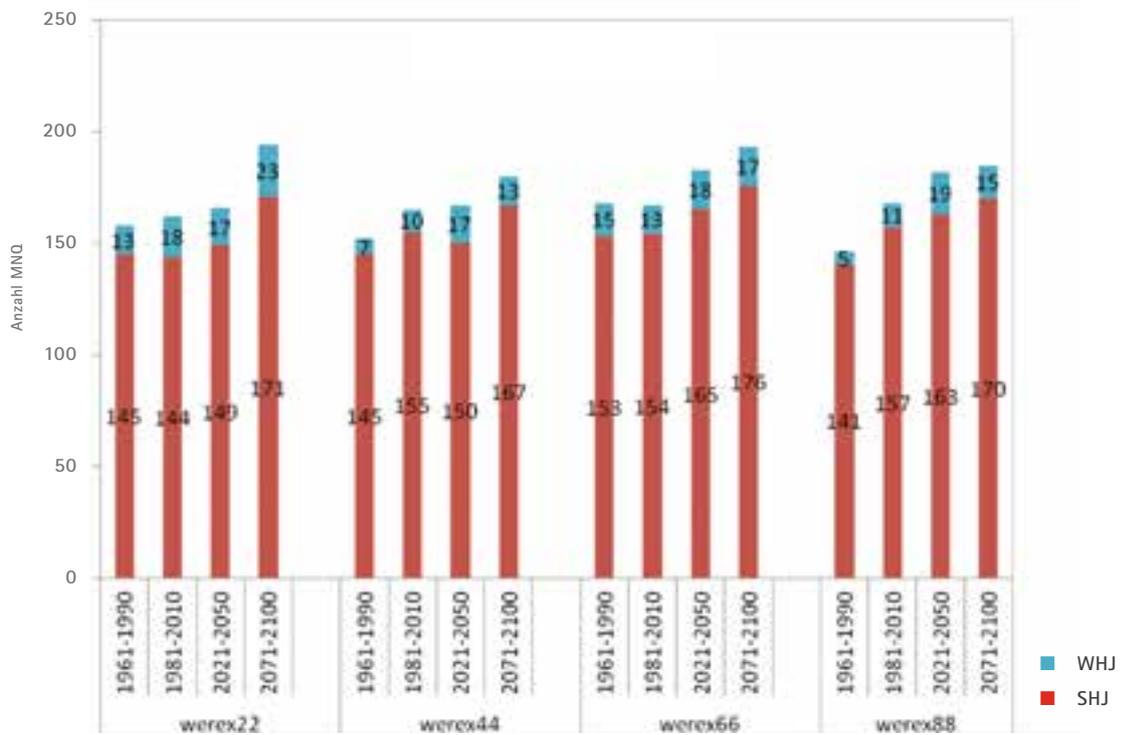


Abbildung 56: Die Abbildung zeigt, dass die Häufigkeit von mittleren Niedrigwasserabflüssen im Winterhalbjahr (WHJ) und Sommerhalbjahr (SHJ) in den beispielhaft betrachteten Klimaprojektionen zunimmt.

trächtig und das unerwünschte Wachstum von Algen und Cyanobakterien begünstigt werden. Zusätzlich können Geschmack und Geruch des Wassers negativ beeinflusst werden. Diese durch den Klimawandel bedingten Entwicklungen werden weitergehende Anforderungen an das Management der multifunktionalen sächsischen Talsperren (z. B. Rohwasserbereitstellung / Hochwasserschutz / Niedrigwasseraufhöhung) stellen.

Die in den Klimaprojektionen erwartete Abnahme der Niederschläge und mit der Erhöhung der Temperatur auch zu erwartende Zunahme der Verdunstung wirken sich deutlich auf den Abfluss aus, welcher im Rahmen von KLIWES modelliert wurde und in seiner räumlichen Verteilung in Abbildung 57 dargestellt ist. Die grau dargestellten Gebiete

sind die durch den Braunkohlenbergbau stark beeinträchtigten Gebiete. Hier bedarf es weiterer Sonderuntersuchungen zur Darstellung der künftigen Entwicklung.

Dominieren im Zeitraum 1961–1990 in Sachsen Abflusswerte zwischen 300 mm/a und 400 mm/a, so reduziert sich dieser Wert bis 2100 auf unter 200 mm/a Abfluss für einen Großteil der Fläche. Im Mittel ergibt sich eine durchschnittliche Abnahme von 50 % für den Zeitraum 2071–2100 gegenüber 1961–1990. Die regionalen Unterschiede werden in der Abbildung deutlich. Während sich der Gesamtabfluss im Erzgebirge nur um rund 20 % reduziert, zeigen die Simulationsergebnisse für Nordsachsen, das Elbtal und die Lausitz einen Rückgang der Abflüsse um bis zu 75 %.

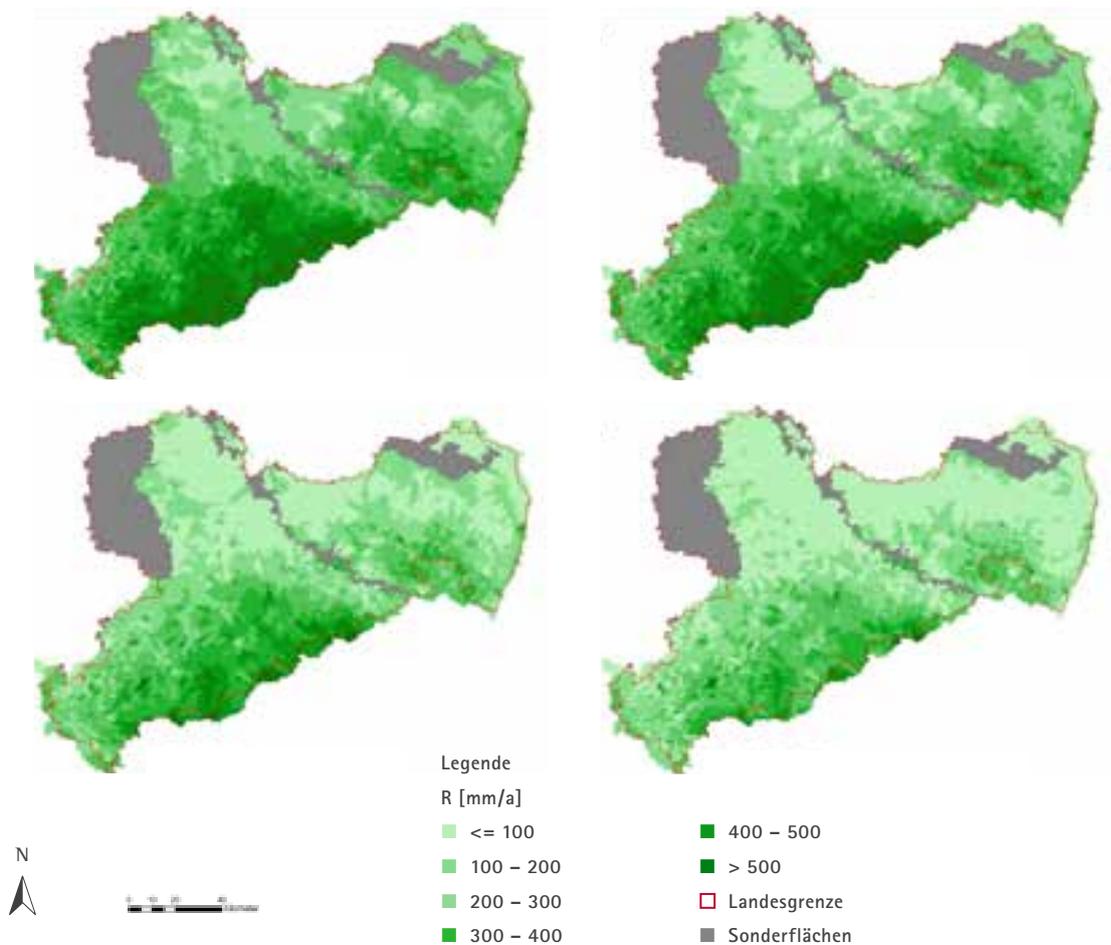


Abbildung 57: Räumliche Verteilung des langjährigen mittleren Abflusses R (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für das Klimamodell WETTREG 2010 (A1B) in Sachsen

Anpassung an den Klimawandel



Elbehochwasser 2013 in Dresden-Loschwitz

Die Wasserwirtschaft musste sich schon immer mit Extremsituationen auseinandersetzen, so dass eine grundsätzliche Neuausrichtung für die Zukunft nicht notwendig ist. Dennoch ist es erforderlich, alle wasserwirtschaftlichen Maßnahmen auch unter dem Aspekt des sich verändernden Klimas zu betrachten. Das ist ungeachtet der bestehenden Unsicherheit in den Klimaprojektionen und einer hohen Variabilität der Klimaentwicklung notwendig.

Dabei gilt der Grundsatz: Aus vorrangig wasserwirtschaftlichen Aufgabenstellungen wie z. B. einer stabilen Wasserversorgung, einem wirksamen Hochwasserschutz oder der Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben aus EU-Richtlinien, dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) sowie dem Sächsischen Wassergesetz (SächsWG) werden Maßnahmen in der Wasserwirtschaft umgesetzt, die u. a. auch dazu dienen, die Folgen des Klimawandels zu minimieren und/ oder sich daran anzupassen.

Dabei wird zukünftig stärker zu beachten sein, dass erforderliche wasserwirtschaftliche Maßnahmen klimagesichert – das heißt unter Beachtung der aktuellen Klimaprojektionen – geplant und ausgeführt werden sollen. Damit soll die Widerstandsfähigkeit der wasserwirtschaftlichen Systeme

insbesondere in Bezug auf den Umgang mit Extremereignissen erhöht werden.

Dies ist vor allem bei langfristigen Investitionen in die Infrastruktur, z. B. bei Planung und Bau von Stauanlagen und sonstigen Hochwasserschutzmaßnahmen, sowie der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft im Lausitzer und Mitteldeutschen Revier zu berücksichtigen. Die Neugestaltung der wasserwirtschaftlichen Systeme in Bergbaufolgelandschaften sollte – unter Prüfung und Beachtung aller Randbedingungen – sowohl der schadlosen Bewältigung von Hochwasser-Ereignissen dienen als auch in Trockenzeiten ihrer natürlichen Funktion im Wasser- und Naturhaushalt gerecht werden. Die Öffentlichkeit sollte auch weiterhin für wassersparendes Verhalten sensibilisiert werden.

Eine besondere Herausforderung ist darin zu sehen, dass viele Maßnahmen auch im engen Zusammenhang zu anderen Entwicklungsprozessen wie dem demographischen Wandel oder Veränderungen in der Landnutzung stehen, was bei der Planung von Anpassungsoptionen berücksichtigt und abgestimmt werden muss. So greifen Land- und Forstwirtschaft sowie regional auch die Fischerei- bzw. Teichwirtschaft mit ihren Bewirtschaftungs- und Anpas-

sungsstrategien direkt in den Wasserhaushalt ein. Die sektoralen Anpassungsstrategien müssen deshalb unbedingt integrierte Betrachtungen enthalten und übergreifend bedarfsorientiert abgestimmt werden.

Daher wurde in letzten Jahren in grundlegende Raumentwicklungsstrategien wie den Landesentwicklungsplan (LEP 2013) und die Regionalpläne auch der jeweils aktuelle Kenntnisstand zur möglichen Betroffenheit des Wasserhaushaltes und der Wasserwirtschaft eingearbeitet.

1. Wasserversorgung/Abwasserentsorgung

Grundsätzlich hat die Nutzung der Wasserdarangebote für die Trinkwasserversorgung Vorrang vor allen anderen Nutzungen.

Für die nächsten 10 Jahre ist davon auszugehen, dass die verfügbaren Wassermengen ausreichen werden, um die Trinkwasserversorgung in Sachsen sicherzustellen. Zunehmende Bedeutung könnten aber in Zukunft mögliche Beschaffenheitsprobleme des Rohwassers in längeren Trockenperioden bekommen, wenn es z. B. unter bestimmten Bedingungen zu einem unerwünschten Wachstum von Algen und Cyanobakterien in Trinkwassertalsperren kommt.

Die Verbundbewirtschaftung von Trinkwasserressourcen ist eine der wichtigen und effektiven Maßnahmen zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung auch unter dem Aspekt möglicher Klimaveränderungen (s. Abb. 58).

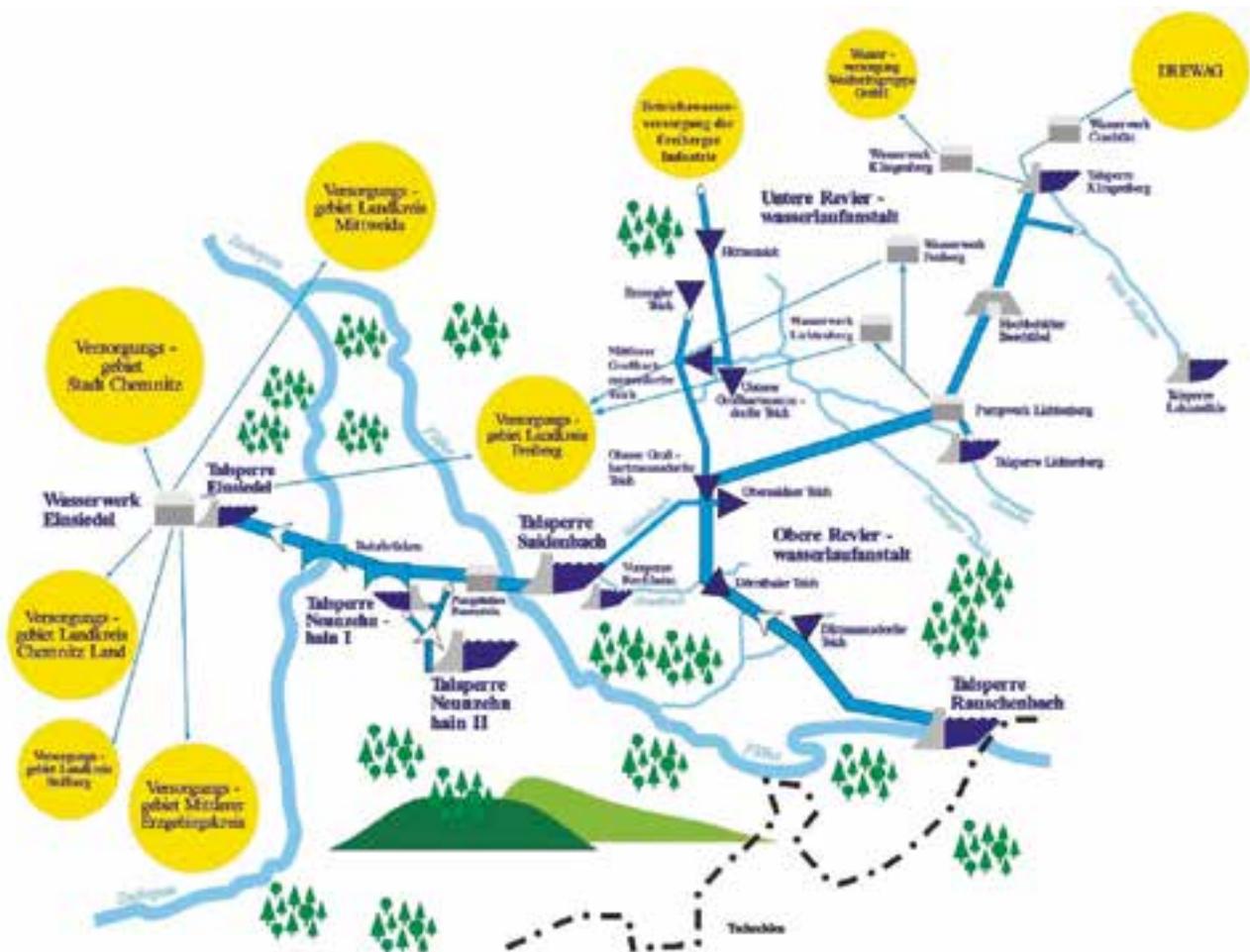


Abbildung 58: Talsperren-Verbundsystem Mittleres Erzgebirge und Osterzgebirge zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung

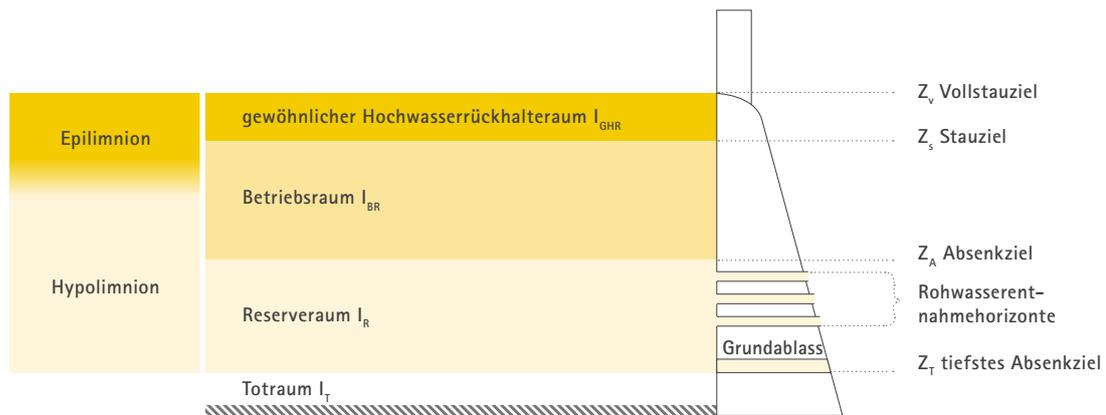


Abbildung 59: Stauraumaufteilung einer Talsperre mit Reserveraum, Betriebsraum, Hochwasserrückhalteraum einschl. Kennzeichnung von Epilimnion und Hypolimnion

Epilimnion nennt man die warme Oberflächenschicht in geschichteten Seen. (Quelle: Limn­oökologie von Winfried Lampert, Ulrich Sommer (Glossar, Seite 450))

So konnte während des Hochwassers 2002 beispielsweise zusätzliches Wasser aus dem Talsperrensystem Klingenberg-Lehnmühle für die Stadt Dresden bereitgestellt werden, als eine Versorgung aus dem Wasserwerk Hosterwitz (Uferfiltrat) nicht mehr möglich war. Zusätzlich konnte auch Rohwasser aus der Talsperre Gottleuba bereitgestellt werden. Das Beispiel zeigt, dass eine Verbundbewirtschaftung der Stauanlagen eine effektive Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel sein kann.

Die „Grundsatzkonzeption 2020 für die öffentliche Wasserversorgung im Freistaat Sachsen“ führt unter anderem aus, dass bis zum Jahr 2020 keine Gefährdung der öffentlichen Wasserversorgung zu erkennen ist. Aufgrund der bereits genannten Verbundbewirtschaftung insbesondere bei der Bewirtschaftung der Talsperren und eines sicheren Wasserdargebotes für die Nutzung des Grundwassers stellt die bisher projizierte Reduzierung des Dargebotes infolge von Klimaänderungen und –variabilität in den nächsten Jahren kein Problem dar.

Aus den Auswertungen der bisherigen Entwicklung witterungsbedingter Extreme sowie den Klimamodellen lässt sich eine mögliche Zunahme der Extremereignisse durch ansteigende Temperaturen ableiten. Um die Auswirkungen von Starkregenereignissen auf das Rohwasser einer Trinkwassertalsperre zu minimieren, wurden in den letzten Jahren technische Anpassungen an vielen Stauanlagen durchgeführt.

Hierzu gehören:

- Die Errichtung von epilimnischen Entnahmemöglichkeiten bzw. die Ertüchtigung der oberen Rohwasserentnahmen durch Anbindung an den Grundablass,
- der Bau von Umleitungen der Vorsperre und/oder der Hauptsperre,
- Ertüchtigung und Beräumung von Vorsperren, um den wassergütewirtschaftlichen Reaktionsraum nach Merkblatt DWA-M 605 zu gewährleisten.

Projektbeispiel Talsperre Saidenbach

An der Talsperre Saidenbach wurde 2012 ein Absenkschütz eingebaut. So kann Wasser zur Vorentlastung, zur Abgabe während des Hochwasserereignisses und zum Freifahren des Hochwasserrückhalteraaumes nach einem Hochwasser aus dem oberen Bereich der Talsperre (Epilimnion) abgegeben werden.

Dadurch wird verhindert, dass klares und qualitativ hochwertigeres Rohwasser im Tiefenbereich der Talsperre (Hypolimnion) über den Grundablass abgegeben werden muss. Die errichteten technischen Maßnahmen haben sich während und im Nachgang des Juni-Hochwassers 2013 bestens bewährt und sicherten die Rohwasserbereitstellung aus den Trinkwassertalsperren (s. Abb. 59 und 60).



Abbildung 60: Wasserseite Talsperre Saidenbach beim Einbau des Schützes 2012 (links) und Luftseite Talsperre Saidenbach beim Juni-Hochwasser 2013 (rechts)

Zukünftig werden aber weitere Anpassungsstrategien entwickelt werden müssen, um die Trinkwasserversorgung in Sachsen auch in extremen Jahren zu sichern. Darunter fällt u. a. der erhöhte Schutz von Wasserdargeboten, die derzeit nicht genutzt werden, z. B. durch die Ausweisung von Vorbehaltsgebieten in der Raumordnung. Die Perspektiven für die Wasserversorgung nach 2030 müssen geprüft und weitere Handlungsoptionen entwickelt werden. Bei industriellen Prozessen mit hohem Brauchwasserbedarf werden die technischen Möglichkeiten der Brauchwassermehrfachnutzung und der Kreislaufführung des Brauchwassers künftig deutlich an Bedeutung gewinnen.

Zur Sicherstellung der Land- und Forstwirtschaft müssen in einigen Regionen Sachsens in Zukunft entsprechende Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden. So müsste für eine bedarfsgerechte Beregnung von insbesondere von Sonderkulturen eine Ermittlung der potentiell benötigten Beregnungsmengen erfolgen, in der die regionalen Entwicklungstendenzen der Bewirtschaftungsformen und Anbaustrategien berücksichtigt werden. Grundlage für die Umsetzung von Strategien zur Beregnung in der Landwirtschaft und im Gartenbau werden darüber hinaus auch Prognosen zum nutzbaren Wasserdargebot in den Regionen sein. Bedeutung werden dann vor allem effiziente und wassersparende Beregnungsverfahren erlangen, die den Bedarf

decken und gleichzeitig die noch verfügbaren Ressourcen des Wasserhaushaltes, auch in ihrer Bedeutung für den gesamten Landschaftswasserhaushalt, so weit wie möglich schonen.

Für die Abwasserentsorgung sind vermehrte Starkniederschlagsereignisse die derzeit größte Herausforderung des Klimawandels. Im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sollte anhand eines Monitorings verfolgt werden, wie sich die Trends in den Beobachtungszeitreihen als mögliche Klimaänderungssignale entwickeln, und danach der weitere Handlungsbedarf turnusmäßig eingeschätzt werden. Folgende Optionen sollen dabei systematisch weiter verfolgt werden:

- Der sichere Rückhalt von Niederschlagswasser in urbanen Gebieten,
- die Fortschreibung und Umsetzung des Stands der Technik bei Mischwasserkanalisationen,
- die Reduzierung befestigter bzw. versiegelter Flächen und
- die Verstärkung der technischen und natürlichen Möglichkeiten zur Exfiltration in Zeiten von Grundhochwasser.

Im Verbundprojekt „Erarbeitung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Region Dresden (REGKLAM)“ wurden zwischen 2009 und 2013 konkrete

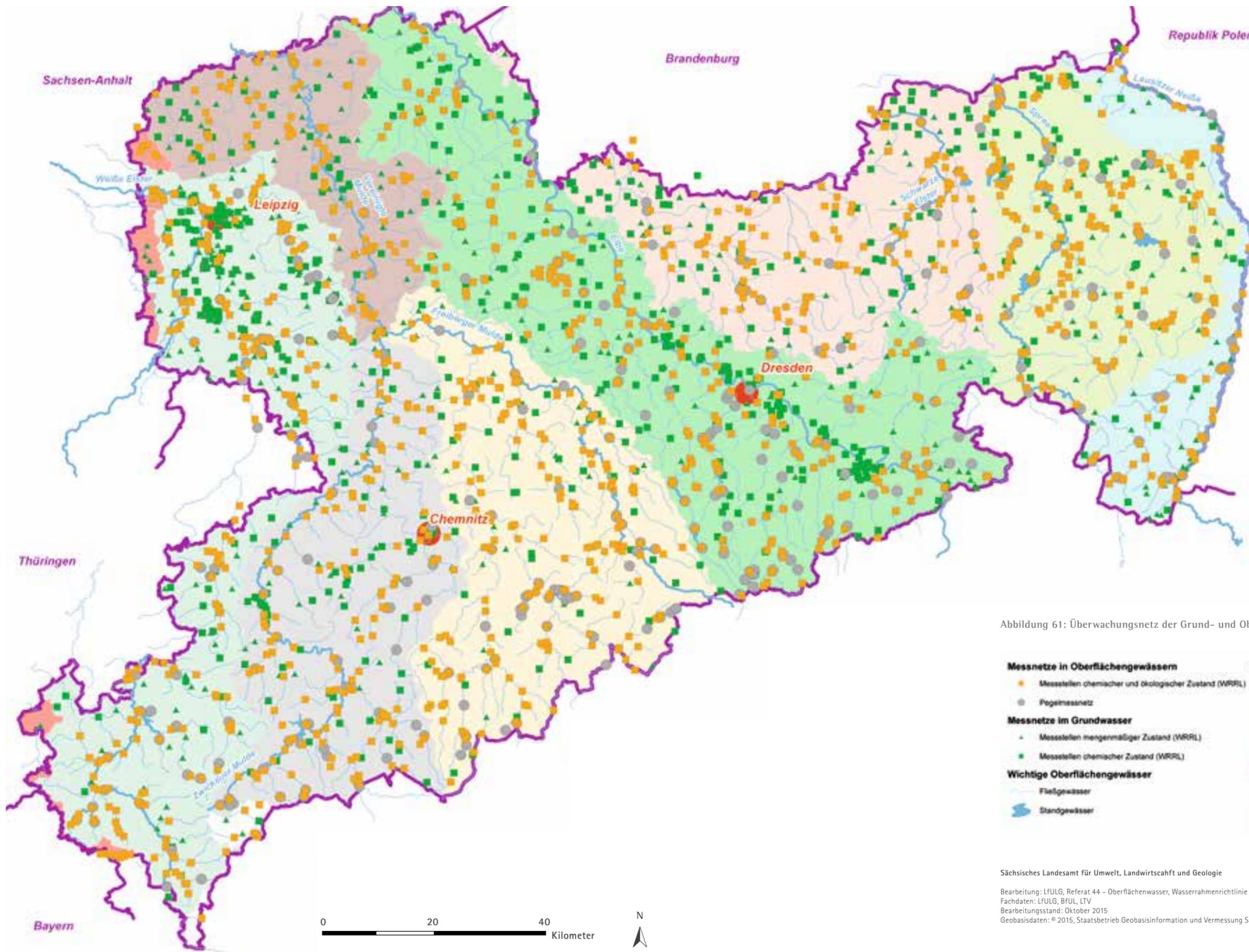


Abbildung 61: Überwachungsnetz der Grund- und Oberflächenwasserkörper

Messnetze in Oberflächengewässern

- Messstellen chemischer und ökologischer Zustand (WRRL)
- Pegelmessnetz

Messnetze im Grundwasser

- Messstellen mengenmäßiger Zustand (WRRL)
- Messstellen chemischer Zustand (WRRL)

Wichtige Oberflächengewässer

- Fließgewässer
- Ständgewässer

Haupteinzugsgebiete

- Elbe
- Schwarze Elster
- Zwickauer Mulde
- Freiburger Mulde
- Versingte Mulde
- Saale
- Weiße Elster
- Spree
- Lausitzer Neiße

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
 Bearbeitung: LFULG, Referat 44 – Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
 Fachdaten: LFULG, BfUL, LTV
 Bearbeitungsstand: Oktober 2015
 Geobasisdaten: © 2015, Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN)

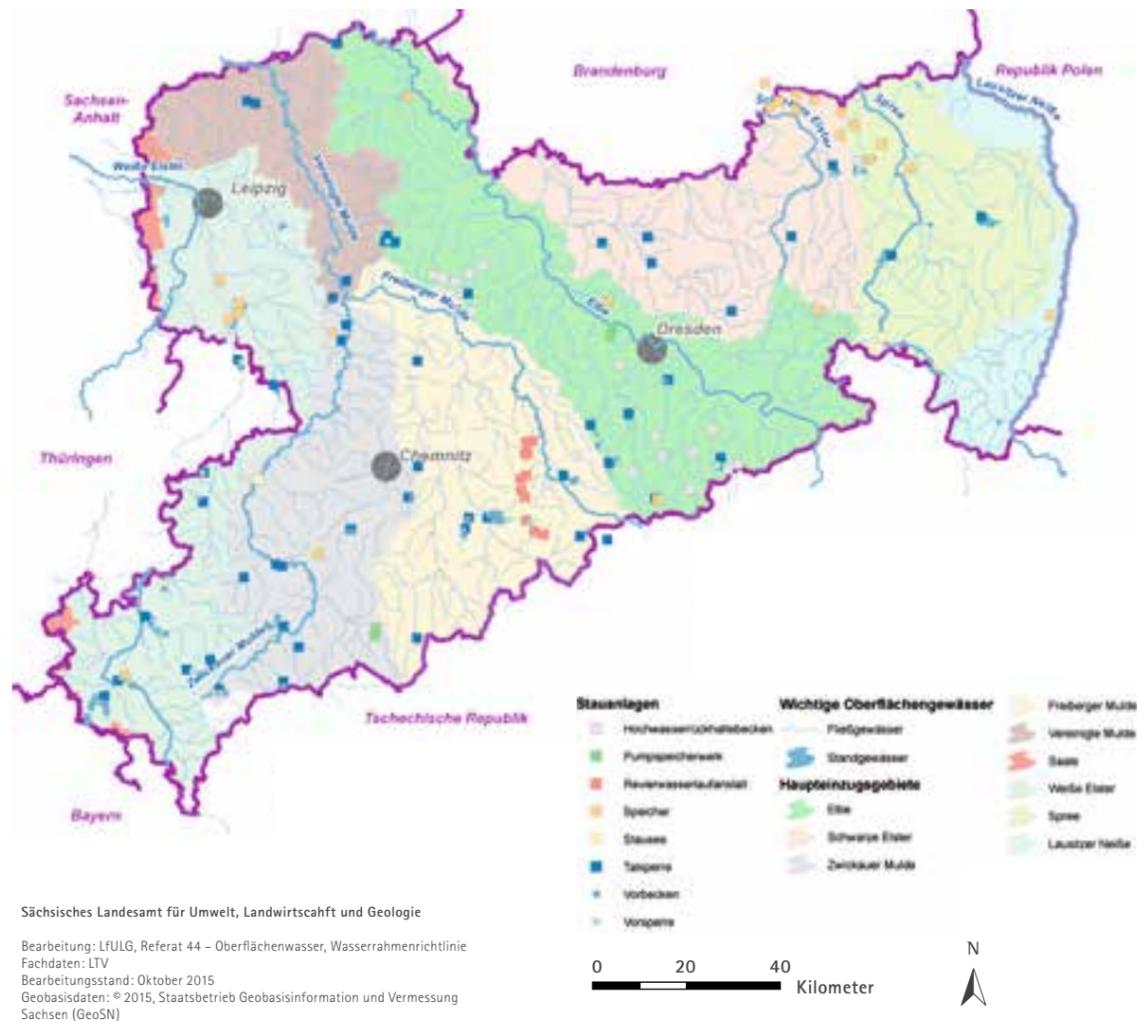


Abbildung 62: Stauanlagen der Landestalsperrenverwaltung

Maßnahmen zum Rückhalt von Niederschlagswasser, zur Entsiegelung von Flächen sowie zur Vermeidung von Überstau und Überflutung aus dem Kanalsystem für den urbanen Raum entwickelt.

2. Monitoring

Der Freistaat Sachsen betreibt ein gewässerkundliches Landesmessnetz zu den aktuellen Wasserständen und Durchflüssen der Pegel, ein automatisch registrierendes Niederschlagsmessnetz, Gewässergütemessstationen, ein

Grundwassermessnetz sowie eine Talsperrenmeldezentrale mit den aktuellen Bewirtschaftungsdaten der sächsischen Stauanlagen (s. Abb. 61 und 62). Diese bestehenden Überwachungssysteme zum Wasserhaushalt und zur Wasserwirtschaft in Sachsen werden derzeit als ausreichend erachtet, auch um die Klimafolgen abbilden und bewerten zu können. Deshalb sind aus heutiger Sicht keine neuen Überwachungssysteme erforderlich, aber es sollte ein dauerhaftes und langfristiges Monitoring sichergestellt und die Bewertungssysteme hinsichtlich der Klimafolgen weiterentwickelt werden (Klimafolgenmonitoring). So können u. a. langfristige

Änderungen der Abflüsse z. B. des Hoch-, Mittel- und Niedrigwassers an weitgehend anthropogen unbeeinflussten Fließgewässern oder die Änderung des Grundwasserstandes Indizien für Auswirkungen des Klimawandels auf Oberflächengewässer und Grundwasser sein.

3. Hochwasserrisikomanagement

Der Hochwasserschutz hat in den letzten Jahren, insbesondere nach 2002, in Sachsen eine besondere Bedeutung erhalten. Mit der Erarbeitung und Umsetzung der Hochwasserschutzkonzepte bzw. Hochwasserrisikomanagementpläne wird insbesondere dem Schutz von Leben und körperlicher Unversehrtheit sowie dem Schutz der Infrastruktur und bedeutender Sachwerte Rechnung getragen.

Dabei müssen vor allem die Möglichkeiten des vorsorgenden Hochwasserschutzes durch die Vermeidung von Schad-

potential, die Eigenvorsorge und die Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche gestärkt werden. Darüber hinaus kommen technische und naturnahe Hochwasserschutzmaßnahmen als Mittel des Hochwasserrisikomanagements in Betracht, insbesondere wenn räumliche Restriktionen durch Bebauung oder sonstige Infrastruktur vorliegen. Eine beispielhafte Hochwasserschutzmaßnahme ist die multifunktionale Bewirtschaftung von Talsperren, die sowohl dem Hochwasserschutz als auch der Trinkwasserversorgung dienen.

a. Technische Lösungen

Darunter werden alle Maßnahmen des Hochwasserschutzes verstanden, die einen technischen bzw. baulichen Eingriff im Gewässer oder im unmittelbaren an die Gewässer angrenzenden Bereich erfordern. Ein Beispiel dafür ist die Anlage von Hochwasserrückhaltebecken, die im Hochwasserfall den sogenannten Hochwasserscheitel abmindern sollen, in Zeiten ohne Hochwasser, aber dem Gewässer seinen natür-



Abbildung 63: Hochwasserrückhaltebecken Oberlungwitz im Hochwasserfall (links) und bei durchschnittlichem Durchfluss des Kirchberger Dorfbaches, auch Rehbach genannt (rechts).



Abbildung 64: Mobile Hochwasserschutzwände während des Hochwassers 2013 in Dresden-Pieschen.



Abbildung 65: Abriss der alten Industrieanlagen (links) mit Entsiegelung der Flächen als Grundlage für natürliche Regenerationsprozesse (rechts)

lichen oder zumindest naturnahen Verlauf ermöglichen. Dabei ist zu beachten, dass Hochwasserrückhaltebecken (HRB) insbesondere in Regionen wichtig sind, in denen mit schnell entstehenden Hochwasserereignissen zu rechnen ist. Dann können bebaute Ortslagen und weitere Schutzgüter flussabwärts durch HRB geschützt werden, indem die Hochwasserwelle im Aufstau des HRB abgemildert wird (s. Abb. 63).

Neben den aufwändigen technischen Lösungen durch Bauwerke mit hohem Investitions- und Unterhaltungsaufwand können auch flexible Lösungen in Betracht gezogen werden, die bei entsprechender Eignung im Hochwasserfall im Rahmen der kommunalen Gefahrenabwehr zum Einsatz gebracht werden können. Darunter werden u. a. mobile Schutzwände verstanden, die den bestehenden stationären Hochwasserschutz ergänzen (s. Abb. 64). Moderne mobile Systeme kommen nur im Bedarfszeitraum zum Einsatz. Nach dem Hochwasser werden die mobilen Elemente wieder abgebaut und eingelagert

b. Retentionsraumschaffende Lösungen

Durch die Entsiegelung von nicht mehr genutzten Flächen im Einzugsgebiet der Gewässer können natürliche Überflutungsräume wiederhergestellt werden. Hierzu bieten sich auch Bereiche an den Gewässern an, in denen z. B. gewerblich genutzte Flächen unmittelbar am Gewässer bei zurückliegenden Hochwasserereignissen geschädigt wurden.

Ein Beispiel dafür ist das Areal der ehemaligen Volltuchfabrik in Görlitz (s. Abb. 66). Es wurde in den letzten Jahren mehrmals überflutet. Die dort ansässige Firma verlagerte



Abbildung 66: Areal der ehemaligen Volltuchfabrik in Görlitz

ihren Standort daraufhin in ein nicht überflutungsgefährdetes Gebiet. Die verbliebenen Industriegebäude standen aber weiterhin im Hochwasserabflussprofil der Lausitzer Neiße und engten das Abflussprofil ein. Mit dem Rückbau der Industrieanlagen und der durchgeführten Flächenentsiegelung wurde nicht nur ein Raum für den natürlichen Wasserrückhalt zurückgewonnen, sondern auch dem Ökosystem Auenlandschaft die Regeneration ermöglicht (s. Abb. 65). Damit wird sich auch die Widerstandsfähigkeit der gewässertypischen Tier- und Pflanzenarten gegenüber extremen (niedrigen und hohen) Abflusssituationen erhöhen.

Besonders sinnvoll sind solche Hochwasserschutzmaßnahmen, die mehreren Zielen zugleich dienen. Wie dargestellt können sie die Auenentwicklung fördern, die wiederum den Hochwasserabfluss verzögert und auch dem „guten



Abbildung 67: Uferrevitalisierung an der Großen Mittweida in der Gemeinde Raschau-Markersbach (links: Zustand 2009, rechts: Zustand nach Baumaßnahme 2012)



Abbildung 68: Naturnah ausgeprägter Bereich des Hoyerswerdaer Schwarzwassers (links) im Vergleich mit einem Abschnitt, der durch intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen fließt (rechts)

ökologischen Zustand der Gewässer" nach EG-Wasserrahmenrichtlinie dient. Zusätzlicher Effekt: die Tiere und Pflanzen können in renaturierten Gewässern auch Trockenzeiten und höhere Temperaturen besser überstehen.

c. Vorsorgende Lösungen

Vorsorgende Maßnahmen für den Hochwasserfall sollen in allen Bereichen mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko umgesetzt werden und damit auch einen besser angepassten Umgang mit zukünftig voraussichtlich häufiger auftretenden Extremereignissen ermöglichen.

Im Rahmen der Flächenvorsorge wurden Überschwemmungsgebiete ausgewiesen, in denen neue bauliche Nutzungen eingeschränkt werden. In bei Extremereignissen oder Versagen von Hochwasserschutzanlagen überschwem-

mungsgefährdeten Gebieten ist bei der Bestandsbebauung künftig stärker die Bauvorsorge durch hochwasserangepasste Maßnahmen zur Verminderung von Schäden durch Hochwasser zu berücksichtigen. In festgesetzten Hochwasserentstehungsgebieten können Tätigkeiten untersagt werden, die zur schnelleren Entstehung von Hochwasserereignissen beitragen (z. B. Rodung von standortgerechtem Waldbestand oder Versiegelung von Flächen, die zu einem beschleunigten Oberflächenabfluss führen).

Für die Bevölkerung in überschwemmungsgefährdeten Gebieten wird künftig eigenes vorsorgendes Verhalten und rechtzeitige Information noch wichtiger. Sie muss daher weiter für das richtige Verhalten vor, während und nach einem Hochwasserereignis sensibilisiert werden. Ebenso ist der Kenntnisstand über die verfügbaren Informationswege

die vor sich entwickelnden Hochwasserlagen warnen, zu verbessern. Außerdem müssen die amtlichen Benachrichtigungen zum Hochwasser richtig verstanden werden.

Insbesondere vor dem Hintergrund häufiger möglicher Extremereignisse ist es besonders wichtig, dass die zuständigen Einsatzkräfte für die Gefahrenabwehr und den Katastrophenschutz entsprechend ausgerüstet, geschult und vorbereitet sind. Sie müssen im Hochwasserfall für einen reibungslosen Einsatz zur Bewältigung der anstehenden Aufgaben sorgen.

4. Naturnahe Gewässerentwicklung

Der Gewässerausbau der zurückliegenden Jahrhunderte hat insbesondere durch Begradigungen dazu geführt, dass die Lauflänge der Bäche und Flüsse drastisch reduziert und damit der Abfluss deutlich beschleunigt wurde. Damit wurden den Fließgewässersystemen zum einen die natürlichen Überschwemmungsflächen und die davon abhängigen Lebensräume (z. B. Auenwälder) genommen. Zum anderen wurde die Kapazität des natürlichen Wasserrückhalts in der Fläche stark gemindert, der zur Minderung von Hochwasserspitzen durch Abflussverzögerung beiträgt. Durch die negativen Veränderungen der Gewässer aufgrund der menschlichen Nutzungen wurden die Ökosysteme immer anfälliger für weitere Beeinträchtigungen. Damit entsteht durch den Klimawandel auch ein Gefährdungspotenzial für die Gewässerökosysteme, die ihre natürliche Funktion im Naturhaus-

halt unter einer zunehmenden, neuen Belastungssituation nur noch eingeschränkt erfüllen können. Zukünftig kann also die naturnahe Entwicklung von Gewässern auch dazu beitragen, die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern. Innerhalb von bebauten Gebieten können Maßnahmen des Stadtumbaus oder aus anderen stadtplanerischen Gründen genutzt werden, die Gewässer begrenzt naturnah zu gestalten und damit die Widerstandsfähigkeit der oftmals stark beeinträchtigten Ökosysteme gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu erhöhen (s. Abb. 67).

Die Wiederherstellung eines „Guten ökologischen Zustands der Gewässer“ nach EU-Wasserrahmenrichtlinie muss auch unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels geprüft werden. Zum Beispiel sind die Auswirkungen höherer Temperaturen und zunehmender Trockenheit auf die Artengemeinschaften in den Gewässern bisher noch nicht ausreichend untersucht. Es muss unter anderem damit gerechnet werden, dass es zu Veränderungen in den natürlichen Artengemeinschaften kommen kann, die sich von den derzeitigen Leitbildern als Grundlagen der ökologischen Zustandseinstufung der Oberflächengewässer unterscheiden. Auch kann die Anfälligkeit von Gewässerökosystemen, die bereits durch menschliche Nutzungen beeinflusst sind, durch die zusätzlichen Belastungen der Klimaveränderungen erhöht werden. Die Gewässerökosysteme sind in naturnah ausgeprägten Gewässerabschnitten weniger anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels als in den z.T. vollständig vom Menschen überformten Bereichen (s. Abb. 68).





Abbildung 69: Naturnahe Gewässerverläufe und Anbindung an Auen im Röderauald

Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt ist der Erhalt der Biologischen Vielfalt (Biodiversität) in den Gewässern und den vom Wasser abhängigen Lebensräumen. So sind insbesondere intakte Auenbereiche sogenannte Hotspots der Artenvielfalt und Lebensraum für viele gefährdete Tier- und Pflanzenarten (s. Abb. 69). Naturnahe Auen erfüllen auch eine Reihe von Ökosystemdienstleistungen wie zum Beispiel die Speicherung von Kohlenstoff und damit die Verringerung der Treibhausgasemissionen. Die Prozesse sind aber nur wirksam, wenn die Böden in den Auen zeitweise wassergesättigt sind. Eine intensive Nutzung von ursprünglichen Auen u. a. durch die Landwirtschaft und deren Entwässerungsbedarf der Flächen verhindern diese Speicherprozesse. Die Renaturierung, die Entwicklung von Auenwäldern und die angepasste Bewirtschaftung der Auen können zu einer deutlichen Senkung der Treibhausgasemissionen beitragen und damit dem Klimawandel entgegenwirken sowie Folgekosten des Klimawandels vermeiden. Die naturnahe Ausprägung von Gewässern und ihrer natürlichen Überschwemmungsgebiete wirkt sich auch positiv auf den Wasser- und Stoffkreislauf aus. Natürliche Uferbereiche und Auen wirken als Filter für Nährstoffeinträge aus der Umlandnutzung und tragen dazu bei, die Einträge über die Flüsse in die Nord- und Ostsee zu reduzieren. Diese natürliche Reinigungsleistung der Fließgewässer und Auen könnte in bestimmtem Umfang

auch den Bedarf an zusätzlicher technischer Reinigungsleistung durch Abwasserbehandlungsanlagen sowie weitergehender Maßnahmen zum Nährstoffrückhalt in der Landwirtschaft mit ebenfalls langfristigen Folgekosten verringern.

Zusammenfassend werden für die nahe Zukunft insbesondere folgende Arbeiten als notwendig erachtet :

- Weiterführung der angewandten Forschung sowie Fortsetzung und Auswertung der Monitoringprogramme unter der besonderen Beachtung klimatischer Veränderungen sowie möglicher Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel,
- Nutzung der derzeit vorhandenen Bewirtschaftungskapazitäten in Talsperren und Speichern zur optimalen Wahrnehmung multifunktionaler Aufgaben (Trinkwasserversorgung in Menge und Qualität, Abflusssteuerung, Hochwasserrückhalt),
- Stärkung der Hochwasservorsorge durch Anpassung der Flächennutzung an die Hochwassergefahren in potenziellen Überflutungsgebieten (Ausweisung von Überschwemmungsgebieten, überschwemmungsgefährdeten Gebieten und Hochwasserentstehungsgebieten, hochwasserangepasstes Bauen, Bauverbote, Nutzungsbeschränkungen, Rückbau, Entsiegelung, etc.), Stärkung des Bewusstseins und Wissensstands zur Eigenvorsorge,



Naturnahe Gewässerverläufe und Anbindung an Auen im Mündungsbereich der Lossa zur Vereinigten Mulde nahe Eilenburg

- Sicherung der Wasserdarangebote unter Berücksichtigung der regionalen Verfügbarkeit von Oberflächen- und Grundwasser zur Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser), aber auch zu Beregnungszwecken,
- Weiterentwicklung der „Precision-Farming“-Technologie zur Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes im Pflanzenbau unter Berücksichtigung des zunehmenden Wasserdefizits und steigender Lufttemperaturen, um den weiteren Anstieg der Nitratwerte im Grund- und Oberflächenwasser zu verhindern,
- Wasserhaushaltsmanagement und flexible Steuerungsmodelle für größere Einzugsgebiete für die Bewältigung von Niedrigwasserperioden,
- Verstärkung der Aktivitäten zur naturnäheren Entwicklung von Gewässern und deren Auenbereichen, um die Anfälligkeit der Ökosysteme gegenüber künftigen Klimaveränderungen zu reduzieren und gleichzeitig einen nachhaltigen Beitrag zur natürlichen Hochwasservorsorge zu leisten,
- Steigerung der Sickerwasserspense von Waldgebieten durch Waldumbau (höhere Laubbaumanteile mindern Interzeptionsverluste im Winter),
- gezielte Waldmehrung in Hochwasserentstehungsgebieten.

Informationsangebote in Sachsen

Wasserhaushaltsportal:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/10881.htm>

Wassertemperaturen in Oberflächengewässern:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/9702.htm>

Stofftransportmodellierung im Sicker- und Grundwasser:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/7048.htm#article10338>

Ereignisberichte Grundwasser, die auch Klimadiagnosen beinhalten:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/6221.htm#article11119>

Klimafolgenmonitoring:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/28944.htm>

Talsperrenmeldezentrale:

<http://www.ltv.sachsen.de/tmz/uebersicht.htm>

Projekt LABEL:

<http://www.label-eu.eu/de/results0/further-topics/klimawandel-im-elbeeinzugsgebiet.html>

Biologische Vielfalt und Naturschutz



Wir müssen die Natur nicht als unseren Feind betrachten, den es zu beherrschen und überwinden gilt, sondern wieder lernen, mit der Natur zu kooperieren. Sie hat eine viereinhalb Milliarden Jahre lange Erfahrung. Unsere ist wesentlich kürzer.

*Hans-Peter Dürr,
Physiker und Träger des Alternativen Nobelpreises*

Autoren: Dr. Rolf Tenholtern, LfULG; Dr. Maik Denner, LfULG

Biologische Vielfalt und Klimawandel



Abbildung 70: Hochmontane naturnahe Fichtenwälder im Erzgebirge (Zechengrund bei Oberwiesenthal) und Moore (Zadlitzbruch in der Dübener Heide) als Beispiele für Ökosystemtypen, welche durch den Klimawandel gefährdet werden

Der Klimawandel beeinflusst zunehmend die biologische Vielfalt weltweit und wird in Zukunft auch in Sachsen neben Faktoren wie Landnutzungsintensität und Lebensraumverlust an Bedeutung gewinnen. Ökosysteme und Arten sind bereits vielfältigen Beeinträchtigungen ausgesetzt. Der Klimawandel als zusätzlicher Wirkfaktor ist heute demgegenüber oft noch von geringerer Bedeutung, kann aber zukünftig auch die letztlich entscheidende Beeinträchtigung darstellen.

Temperaturerhöhung, zunehmende witterungsbedingte Extreme wie Trockenperioden und Starkregen, Verschiebung der Vegetationsperiode und andere Ausprägungen des Klimawandels werden direkte physiologische und indirekte ökologische Wirkungen auf die Biodiversität entfalten. Durch Trockenperioden, verbunden mit Grundwasserabsenkung, sind wasserabhängige Ökosysteme wie z. B. Moore gefährdet. In Fließgewässern erhöht sich bei Niedrigwasser die Wassertemperatur. Kleinere Fließgewässer können komplett trocken fallen mit den entsprechenden Folgen für die aquatischen Ökosysteme. Eine

Zunahme von Starkregen führt u. a. durch verstärkte Bodenerosion auch zum Eintrag von Nähr- und Schadstoffen aus landwirtschaftlichen Flächen in Oberflächengewässer.

Der Klimawandel wird sich beispielsweise auf das Wachstum und die Entwicklung von Tieren und Pflanzen auswirken. Veränderungen der jahreszeitlichen Entwicklung (z. B. frühere Blattentfaltung, früherer Brutbeginn), Veränderungen von Impulsgebern für die Entwicklung (z. B. Wärme oder Frost) oder sich ändernde Lebenszyklen (z. B. Ausbildung mehrerer Generationen pro Jahr) werden u. a. bestehende Nahrungsnetze entkoppeln und die Konkurrenzbeziehungen der Arten beeinflussen.

Die Auswirkungen dieser Veränderungen in komplexen Ökosystemen sind im Zeitraum von Jahrzehnten, z. B. bis 2100 oder darüber hinaus, nur schwer vorhersehbar. Vieles ist im Hinblick auf die langfristigen Folgewirkungen für die Biodiversität noch nicht ausreichend bekannt. Entsprechende Modellrechnungen, welche z. B. die Verbreitung von Arten

mit aktuellen und projizierten Klimaelementen modellieren, sind komplex und mit Unsicherheiten verbunden. Die spezifische Ausbreitungsfähigkeit der Arten, d. h. die Fähigkeit, eine geographisch sich verändernde Klimanische auch besiedeln zu können, spielt eine große Rolle.

Viele Arten und Biotope haben bezüglich Häufigkeit und Verbreitung in den letzten 20 Jahren, in denen Auswirkungen des Klimawandels verstärkt diskutiert und beobachtet werden, einschneidende Veränderungen erfahren. Jedoch ist auch bei als klimasensitiv eingeschätzten Arten meist nur schwierig zu ermitteln, welchen konkreten Anteil der Klimawandel an den Veränderungen hat und welcher durch andere Ursachen (z. B. Landnutzungsänderungen, Zerschneidung der Landschaft) begründet ist.

Viele Arten und Lebensraumtypen werden aber aufgrund des Klimawandels Veränderungen ihrer Häufigkeiten und Areale erfahren. Dies können sowohl Abnahmen bis hin zu regionalem Aussterben als auch Zunahmen oder Neueinwanderungen sein. Als langfristig besonders gefährdet durch den Klimawandel gelten Arten und Biotope, deren Habitate bzw. Standorte verschwinden oder starken Veränderungen unterliegen. Das ist beispielsweise für solche Arten und Biotope zu erwarten und teilweise schon zu beobachten, die an kühle und feuchte Bedingungen angepasst sind (z. B. Moore, naturnahe Fichtenwälder, hochmontan-subalpine Flora und Fauna der Mittelgebirge, s. Abb. 70). Bei wärmeliebenden

und an Trockenheit angepassten Arten ist dagegen eher eine Ausbreitung nach Norden und in höhere Lagen der Gebirge wahrscheinlich und ebenfalls schon nachgewiesen (z. B. bei diversen Orchideen-, Libellen und Heuschreckenarten). Dabei ist aber zu bedenken, dass die Geschwindigkeit des Klimawandels für eine Vielzahl von Arten deren Ausbreitungs- und Anpassungsfähigkeit übersteigt, so dass diese, selbst wenn durch Klimawandel geeignete Lebensräume neu entstehen, nicht immer in der Lage sein werden, diese eigenständig zu erreichen. Dazu tragen auch bestehende Barrieren infolge der sogenannten Landschaftszerschneidung bei.

Durch die unterschiedlichen Reaktionsgeschwindigkeiten bzw. Ausbreitungsfähigkeiten kommt es sehr 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 heimisch sind, deren Areale sich aber als Folge der Klimaveränderung verschieben. Besondere Beachtung erfordern Arten, die vom Menschen eingeführt oder eingeschleppt wurden oder werden. Bestimmte dieser Neobiota könnten als Folge des Klimawandels invasiv in Erscheinung treten. Sie gefährden dann die heimische Biodiversität oder verursachen wirtschaftliche und gesundheitliche Probleme. Der Umgang mit invasiven, nichteinheimischen Arten ist nicht einfach und erfordert eine pragmatische Abwägung von Aufwand und Nutzen.

Auswirkungen des Klimawandels

Je nach Lage der einzelnen Regionen, der dort projizierten Klimaveränderungen und des vorhandenen Artenpools sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität unterschiedlich einzuschätzen.

Eine erste, einfache Bewertung anhand der Zeigerwerte nach ELLENBERG für sächsische Gefäßpflanzenarten erbrachte sehr unterschiedliche Erwartungen der zukünftigen Entwicklung für

das sächsische Tiefland und das Bergland (SCHLUMPRECHT et al. 2005). Von 501 Pflanzenarten mit Verbreitungsschwerpunkt im sächsischen Tiefland konnte aufgrund vorliegender Zeigerwerte nach ELLENBERG (Temperaturzahl, Feuchtezahl) eine Auswertung für ca. 60 % erfolgen:

- Die größte Anzahl Arten weist Temperaturzeigerwerte im mittleren Bereich auf, ihr Anteil wird etwa stabil bleiben.

- 26 % der untersuchten Arten werden durch eine Temperaturerhöhung voraussichtlich eher gefördert.
- Die zu erwartende zunehmende Niederschlagsarmut in Teilen des Tieflandes könnte ca. 36 % der Arten begünstigen, da sie Trockenheit besser als andere Arten ertragen können. (Die Prozentangaben der voraussichtlich begünstigten Arten dürfen aber nicht einfach addiert werden, denn es gibt Arten, die sowohl durch Temperaturerhöhung (hohe T-Zahl) als auch durch zunehmende Trockenheit (niedrige F-Zahl) im Konkurrenzgefüge der Arten untereinander profitieren.)
- 15 % der Pflanzenarten werden wahrscheinlich bei zunehmender Trockenheit eher zurückgehen.

Von 143 Arten mit Verbreitungsschwerpunkt im sächsischen Bergland konnte ebenfalls eine Auswertung für ca. 60 % erfolgen:

- 41 % der Pflanzenarten des Berglandes sind an kühlere Verhältnisse angepasst und würden durch den Temperaturanstieg eher benachteiligt, nur 3,5 % begünstigt.
- Niederschlagsrückgänge wären für ca. 13 % eher förderlich, für ca. 22 % der Arten eher von Nachteil.

Aus den Ergebnissen lässt sich, allerdings mit der gebotenen Vorsicht aufgrund der einfachen Auswertungsmethode

schlussfolgern, dass ein größerer Anteil der Pflanzenarten des Tieflandes von der zu erwartenden Klimaerwärmung eher profitieren könnte; vor allem die Temperaturerhöhung hat eine fördernde Wirkung. Im Bergland ist es umgekehrt, hier werden die meisten Pflanzenarten mit aktuellem Verbreitungsschwerpunkt im Bergland durch den projizierten Temperaturanstieg eher benachteiligt.

Für viele Pflanzen-, aber auch Tierarten mit aktuellem Verbreitungsschwerpunkt im Bergland könnte es infolge des Klimawandels also „eng“ werden, auch weil ein Ausweichen in höhere, kühlere Regionen im Mittelgebirgsraum nur bedingt möglich ist. Arten mit aktuellem Verbreitungsschwerpunkt im wärmeren Hügel- und Tiefland werden dagegen ihre Areale in den Mittelgebirgsraum hinein erweitern können. An ausgewählten Pflanzenarten für Sachsen hat FESKE (2006) diese Veränderungen erstmals beispielhaft modelliert.

Bisher konnte eine besondere Förderung von an höhere Temperaturen angepasste Neophyten in Sachsen durch den Klimawandel nicht gezeigt werden. Abbildung 71 verdeutlicht, dass die Bestandsentwicklung für Neophyten in Sachsen nicht von der Temperaturzahl nach ELLENBERG, wohl aber von der Stickstoffzahl abhängt (SCHLUMPRECHT et al. 2005). Die bisherige Entwicklung der Neophyten wurde also deut-

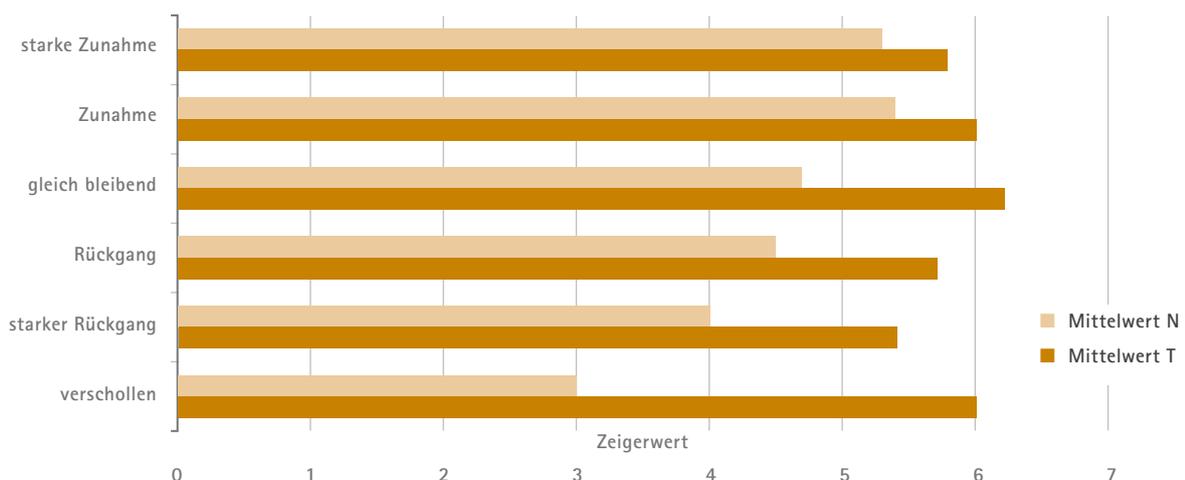


Abbildung 71: Bestandsentwicklung Neophyten – Mittlerer Zeigerwert nach ELLENBERG (N=Stickstoff, T=Temperatur) für Neophyten mit unterschiedlicher Bestandsentwicklung in Sachsen nach HARDTKE & IHL (2000) (aus SCHLUMPRECHT et al. 2005)

lich von der Eutrophierung und weniger vom Klimawandel beeinflusst.

Am Beispiel der Artengruppe Tagfalter wurde von WIEMERS et al. (2013) analysiert, welche Arten im Zuge der Klimaerwärmung wieder oder neu nach Sachsen einwandern könnten, weil sich für diese Arten in Sachsen zukünftig ein geeigneter Klimaraum (modellierte Klimanische) ergibt. Eine weitere Voraussetzung war, dass die Arten aufgrund ihrer Ausbreitung als Wanderfalter oder ihrer bereits aktuellen Vorkommen in Nachbarregionen voraussichtlich in der Lage sein werden, diese Klimanische auch tatsächlich zu besiedeln. Dabei zeigte sich nicht nur bei einigen historisch bereits nachgewiesenen Arten (z. B. Steppen-Gelbling), sondern auch bei 22 in Sachsen noch nie gefundenen Arten (z. B. Schwarzer Trauerfalter; 5,7 % aller bewerteten Arten) eine hohe Einwanderungswahrscheinlichkeit innerhalb der nächsten 70 Jahre.

Eine Abschätzung der Sensitivität von FFH-Lebensraumtypen (LRT) gegenüber dem Klimawandel erfolgte ebenfalls anhand der Zeigerwerte von ELLENBERG. Unter der Annahme, dass es in allen Landesteilen wärmer und die Wasserverfügbarkeit zurückgehen wird, sind solche FFH-LRT besonders empfindlich gegenüber den möglichen Klimaveränderungen, die einen hohen Anteil an Kälte- und Kühlzeigern bzw. Feuchte- bis Nässezeigern in der Bodenvegetation aufweisen. Um diese LRT zu identifizieren, wurden die Ellenberg-Zeigerwerte für Temperatur (T-Wert) und Bodenfeuchte (F-Wert) für das kennzeichnende Artenspektrum der LRT ermittelt und dann der Anteil der Arten mit T-Werten von 1-4 (Kälte- und Kühlzeiger) sowie F-Werten von 7-9 (Feuchte- bis Nässezeiger) berechnet.

Feuchte Heiden (4010), Pfeifengraswiesen (6410), Ufer-Hochstaudenfluren tieferer Lagen und Feuchte Waldstaudenfluren tieferer Lagen (64301) sowie Brenndolden-Auenwiesen (6440) weisen danach einen hohen Anteil von an Nässe angepassten Arten auf. Besonders sensitiv gegenüber dem Klimawandel sind unter den FFH-LRT im Offenland Hochmontane Hochstaudenfluren (64302), Lebende Hochmoore (7110), Regenerierbare Hochmoore (7120), Übergangs- und Schwingrasenmoore (7140) und Torfmoor-Schlenken (7150), die darüber hinaus einen hohen Anteil an Kälte angepasste Arten aufweisen (s. Abb. 72).

Betroffenheit Offenland-LRT

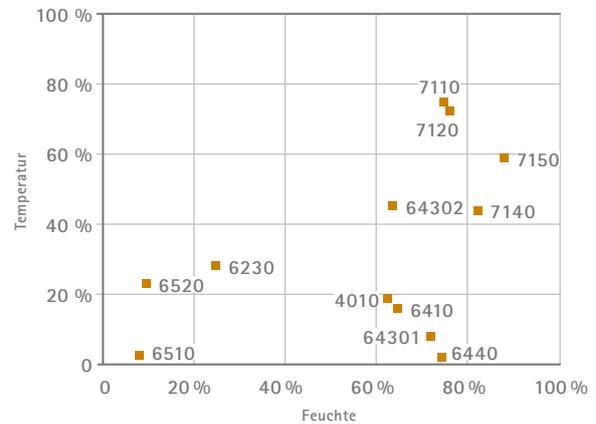


Abbildung 72: Betroffenheit ausgewählter FFH-LRT des Offenlandes durch den Klimawandel (Parameter Feuchte: Anteil an Nässe angepasste Arten im kennzeichnenden Artenspektrum; Parameter Temperatur: Anteil an Kälte angepasste Arten im kennzeichnenden Artenspektrum) (aus SCHLUMPRECHT et al. 2005)

Die Moor-LRT stehen also in Bezug auf den Klimawandel im besonderen Fokus. Im Rahmen von zwei FuE-Vorhaben des LfULG wurden deshalb die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Mooren und die Folgen für die Vegetation in zwei sächsischen Gebieten – Wildenhainer Bruch (SCHLUMPRECHT et al. 2006) und Mothhäuser Haide (EDOM et al. 2008, 2011) – untersucht. Auf Grundlage der Daten aus vorliegenden Klimaprojektionen wurde mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen die mögliche zukünftige Entwicklung des Wasserhaushalts dieser Moore berechnet und danach die Folgewirkungen der veränderten hydrologischen Bedingungen für den Fortbestand und die Entwicklung der Moorvegetation untersucht.

Die wichtigste Erkenntnis aus beiden FuE-Vorhaben ist, dass Maßnahmen zur Revitalisierung von Mooren, insbesondere Maßnahmen zum Wasserrückhalt, in Sachsen auch unter den Bedingungen des Klimawandels nachhaltig gestaltbar und sinnvoll sind. In den Berichten heißt es dazu wie folgt: „Ganz entscheidend ist, dass die prognostizierten Veränderungen des Wasserhaushalts im Prognosezeitraum bis ca. 2060 sich voraussichtlich in einer Größenordnung ...



abspielen werden, in der sie ... durch ... Maßnahmen zum Wasserrückhalt kompensiert werden können, und dass das prognostizierte Absinken des Grundwasserspiegels durch den Klimawandel wesentlich geringer sein wird als ... durch die Meliorationen zu Beginn der 70er Jahre" (SCHLUMPRECHT et al. 2006). „Diese anthropogen verursachten Veränderungen (Entwässerung, Torfstiche, Straßenbau) hatten und haben Ökotoptverschiebungen, Veränderungen in den Entwicklungspotenzialen und Wachstumsraten ... zur Folge, welche die Wirkung holozäner Klimaschwankungen und auch des prognostizierten Klimawandels bei weitem überschreiten. In den nächsten Jahrhunderten erscheint die Regenerierbarkeit der ehemals großflächigen, offenen und gehölzfreien Mooröko- tope, wie sie aus Stratigraphie und Großrestanalyse ablesbar ist, nicht mehr realistisch. Dennoch kann die Moorregeneration zu einem wertvolleren Ökotoptbild, als es gegenwärtig der Fall ist, führen.“ (EDOM et al. 2008).

Als Indikator für die mittel- und langfristige Auswirkung der Temperaturentwicklung auf Tiergemeinschaften wurde im Rahmen eines FuE-Vorhabens des LfULG die Veränderung ihres Community Temperature Index (CTI) betrachtet, der Verschiebungen in den Populationsgrößen von Arten in einer Artengemeinschaft als Antwort auf Klimaveränderungen widerspiegelt (WIEMERS et al. 2013). 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. Dazu ist die Berechnung von STI-Werten für alle analysierten Arten notwendig, wofür für Sachsen zumindest europaweite Verbreitungskarten vorliegen sollten. STI-Werte existieren bislang nur für Vögel, Tagfalter und Libellen, sind aber grundsätzlich für jede Artengruppe mit entsprechender Kenntnis ihrer Verbreitung kalkulierbar. Den Zusammenhang zwischen der Verbreitung der Arten in Europa/ Sachsen und

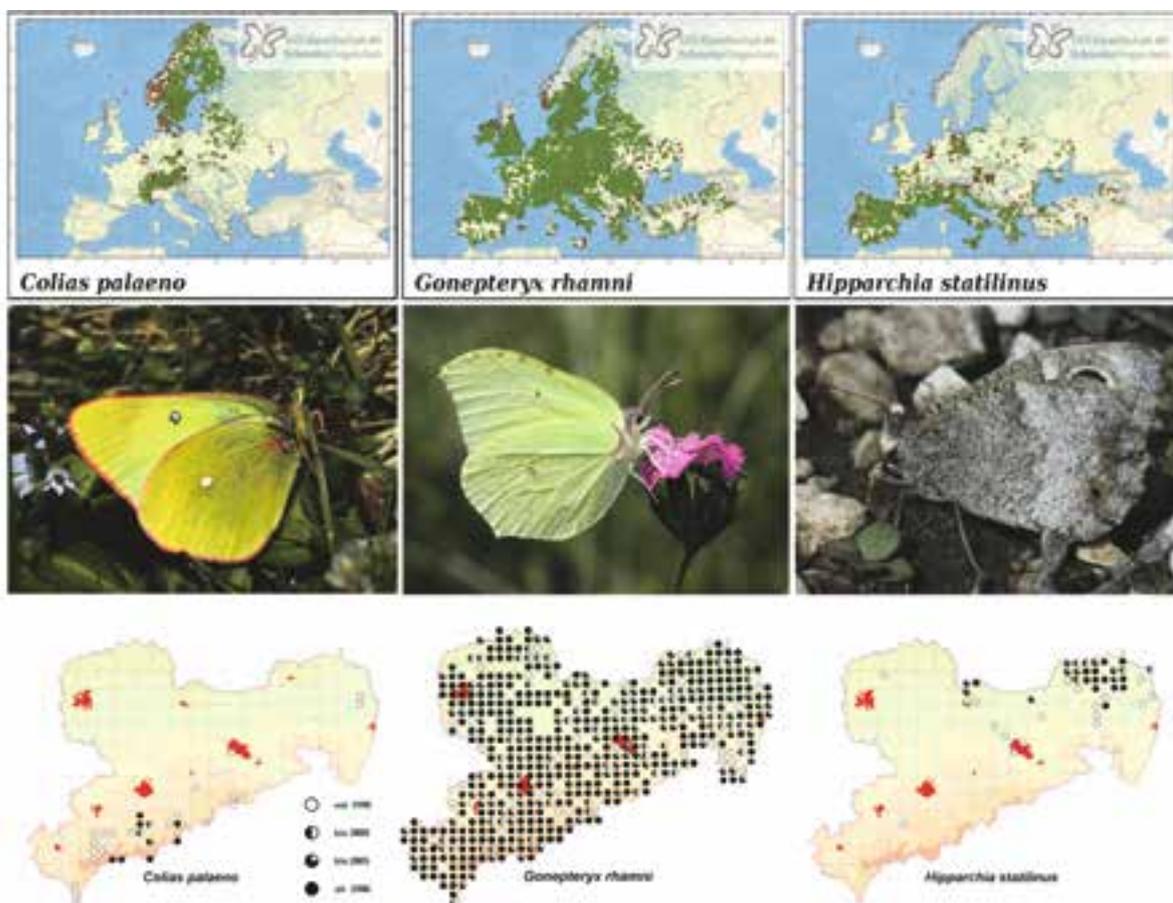


Abbildung 73: Beispiele für Tagfalterarten mit ihrer europäischen/sächsischen Verbreitung und STI-Werten (aus WIEMERS et al. 2013)

links: Hochmoor-Gelbling (*Colias palaeno*), STI = 3,62. Diese boreoalpine Art ist in Europa von Skandinavien über die baltischen Staaten und Polen bis in die Alpen verbreitet und kommt in Sachsen nur noch in wenigen Hochmooren v. a. im Erzgebirge vor. Sie hat den niedrigsten STI-Wert aller sächsischen Tagfalterarten.

Mitte: Zitronenfalter (*Gonepteryx rhamni*), STI = 8,81. Diese paläarktische Art kommt fast in ganz Europa mit Ausnahme des nördlichen Skandinaviens vor und ist in Sachsen vom Tiefland bis in die Gebirgslagen weit verbreitet und häufig. Ihr STI-Wert entspricht dem Mittelwert aller sächsischen Tagfalterarten.

rechts: Eisenfarbiger Samtfalter (*Hipparchia statilinus*), STI = 11,82. Dieser mediterrane Augenfalter ist vornehmlich im Mittelmeergebiet verbreitet und kommt in Mitteleuropa nur in wenigen isolierten Populationen auf extrem trockenen und nährstoffarmen Standorten im Tiefland vor. In Sachsen ist die Art heute auf Sandflächen in der Oberlausitz und Nordsachsens beschränkt. Ihr STI-Wert ist der höchste aller sächsischen Tagfalterarten.

Quelle für europäische Verbreitungskarten: <http://www.ufz.de/european-butterflies/index.php?de=22477>
(rote Punkte = Vorkommen bis 1950, gelbe Punkte = 1951-1980, grüne Punkte = nach 1980)

Quelle für Verbreitungskarten Sachsen: Zentrale Artdatenbank des LfULG, Stand 30.09.2015

den STI-Werten verdeutlicht Abbildung 73 am Beispiel von drei ausgewählten Tagfalterarten. Besonders geeignet ist der CTI für wechselwarme Organismen mit hoher Temperaturabhängigkeit wie Insekten. Beachtet werden muss auch, dass die Korrelationen des CTI mit Temperaturwerten abhängig sind von der Generationslänge. Während Populationen von Arten mit mehreren Generationen pro Jahr (z. B. viele Tagfalter) bereits im selben Jahr auf Temperaturveränderungen reagieren, sind bei Arten mit mehrjährigem Entwicklungszyklus (z. B. viele Libellen) Veränderungen in der Populationsdichte der Adulten erst mit mehrjähriger Verzögerung erkennbar. In diesen Fällen können beispielsweise einseitige gleitende Mittelwerte der Jahresmitteltemperaturen über eine entsprechende Zeitdauer zu besseren Korrelationen führen.

Der Community Temperature Index (CTI) ist ein Maß für das Verhältnis von wärmeliebenden zu kälteadaptierten Arten in einem Gebiet, gewichtet nach ihrer Häufigkeit. Ein Anstieg des CTI zeigt an, dass die Populationen wärmeliebender Arten im Vergleich zu kälteadaptierten Arten zunehmen (Populationsveränderungen) und dies auch bereits dann, wenn sich das Artenspektrum noch nicht geändert hat. Des Weiteren wird ersichtlich, ob die Anpassung der Artengemeinschaft mit der beobachteten Klimaveränderung schritthalten kann oder ob durch verzögerte oder ausbleibende Reaktion eine „Klimaschuld“ entsteht (WIEMERS et al. 2013).

In Abbildung 76 ist ersichtlich, dass Auswirkungen der Temperaturerhöhung in Sachsen für Libellen und Tagfalter bereits deutlich erkennbar sind. Die Auswertungen des CTI

zeigen sowohl bei Tagfaltern (Beispiele für klimasensitive Arten s. Abb. 74) wie bei Libellen einen ansteigenden Trend, der aber nur etwa halb so stark ausfällt wie gemäß Temperaturentwicklung zu erwarten wäre. Der Anstieg deutet darauf hin, dass sich die Artengefüge der Tagfalter und Libellen in Sachsen während den zurückliegenden 20-35 Jahren bereits in Richtung einer Zunahme der wärmeadaptierten Arten verschoben haben. Während Tagfalterpopulationen auf Temperaturveränderungen innerhalb von 1-2 Jahren reagieren, kommt es bei Libellen aufgrund ihrer meist mehrjährigen Larvalentwicklung zu einer deutlich verzögerten Reaktion. Signifikante Korrelationen des CTI mit der Jahresmitteltemperatur verdeutlichen eine enge Abhängigkeit der Populationen dieser wechselwarmen Insektengruppen von der Temperatur. Bei Vögeln ist ein klarer Trend des CTI anhand der sächsischen Daten bisher nicht belegbar. Europa- und deutschlandweit wurde dagegen ein steigender CTI auch schon für Vogelgemeinschaften nachgewiesen.

Libellen zählen zu den ersten taxonomischen Gruppen, bei denen deutliche Veränderungen der Verbreitungsmuster infolge des bereits spürbaren Klimawandels in der Literatur beschrieben wurden (z.B. von OTT 2000, s. Abb. 75). Beobachtet werden die Ausbreitung Wärme liebender, mediterraner Arten (z.B. Feuerlibelle, Südliche Mosaikjungfer) und der Verlust von (kälteangepassten) Moor-Arten (z.B. Hochmoor-Mosaikjungfer) oder montanen Arten (z.B. Alpen-Smaragdlibelle). Dies spiegelt auch der für Sachsen berechnete Verlauf des CTI der Libellengemeinschaft gut wider (s. Abb. 76).

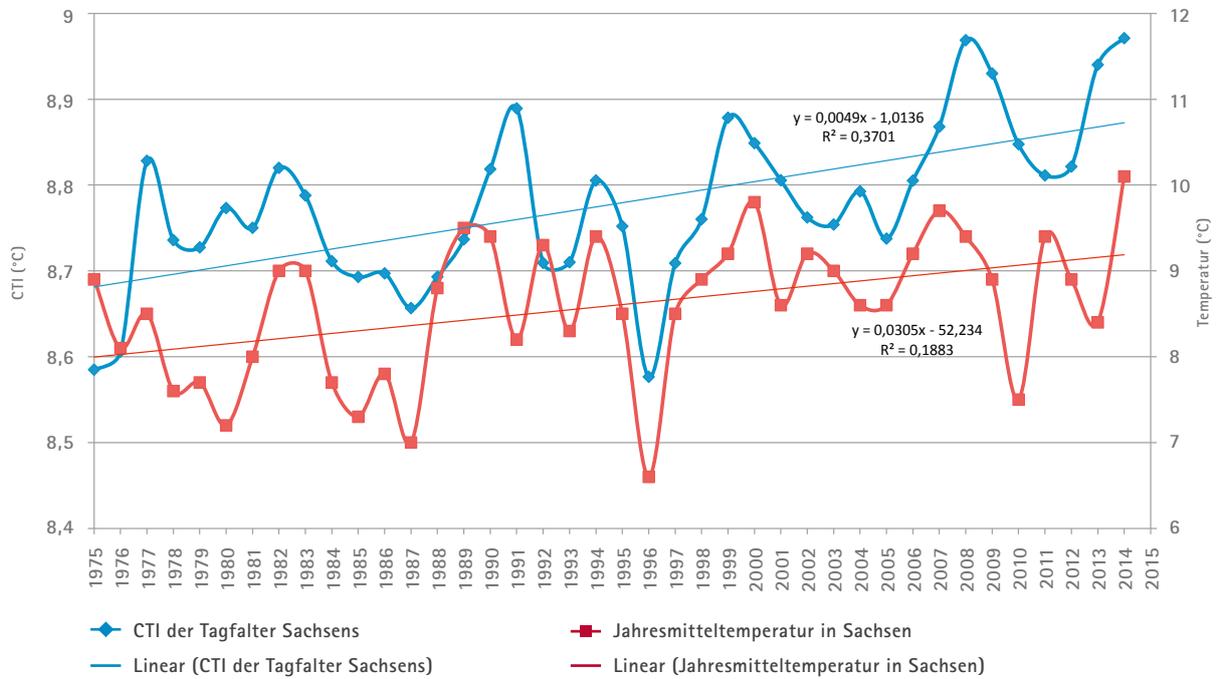


Abbildung 74: Großer Feuerfalter (Männchen) als Beispiel einer durch den Klimawandel wahrscheinlich begünstigten, in Ausbreitung befindlichen Tagfalterart (links), und Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling als Beispiel für eine Tagfalterart, deren Lebensräume (v.a. Feuchtwiesen) vom Klimawandel ungünstig beeinflusst werden (rechts)



Abbildung 75: Feuerlibelle (links oben) und Südliche Mosaikjungfer (links unten) als Beispiele südlich verbreiteter, in Sachsen sich ausbreitender Libellenarten, und Mond-Azurjungfer (rechts, sogenanntes „Paarungsräd“) als Beispiel einer stark im Rückgang befindlichen eurosibirischen Libellenart

Entwicklung des CTI bei Tagfaltern 1975 – 2014



Entwicklung des CTI bei Libellen 1991 – 2014

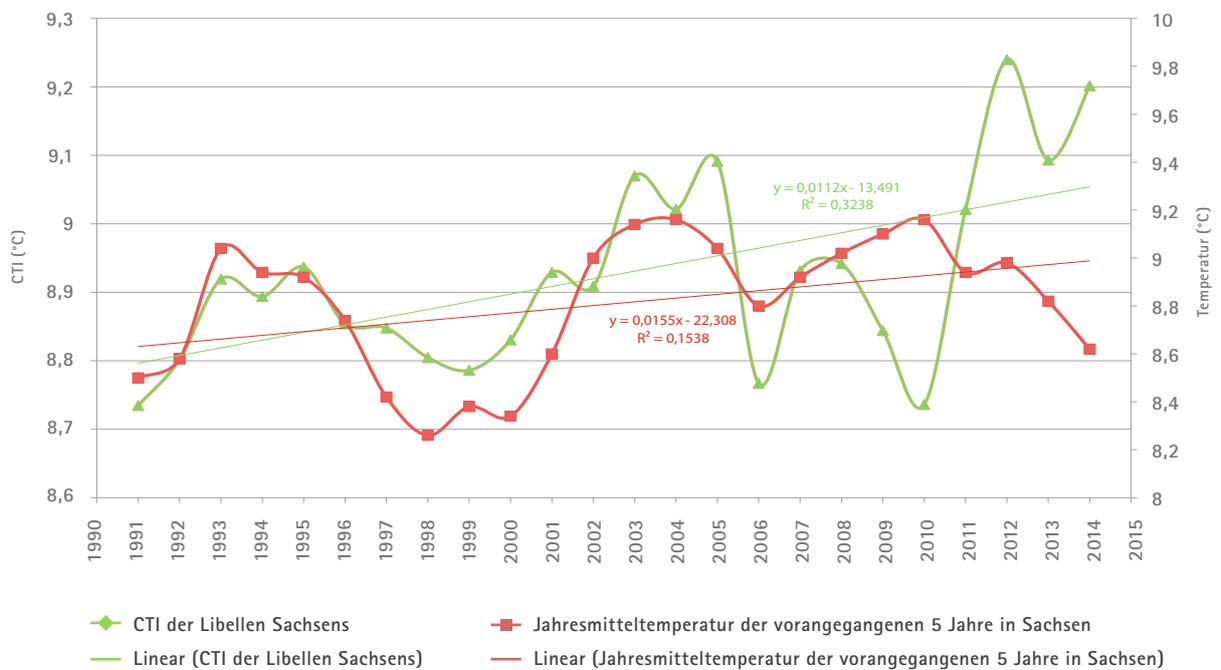


Abbildung 76: Verlauf des Community Temperature Index (CTI) für Libellen (unten) und Tagfalter (oben) im Vergleich zur Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Sachsen. (Beachte: verschiedene Skalen für CTI – links – und Temperatur – rechts; aus WIEMERS et al. 2013, Daten bis 2014 aktualisiert)

Anpassung an den Klimawandel

Die konkrete Ausprägung des Klimawandels selbst und die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt und die Ökosystemdienstleistungen sind nur mit erheblichen Ungewissheiten vorherzusagen. Deshalb sind im Naturschutz vor allem solche Anpassungsmaßnahmen vorzuziehen, die auch aus anderen Gründen notwendig und sinnvoll sind und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit der Natur an den Klimawandel erhöhen (no regret-Strategie). Alle Maßnahmen, die die Vielfalt der Standorte und Nutzungen und damit die Vielfalt der Natur erhalten und erhöhen, sind Puffer für den Klimawandel. Es ist dabei selbstverständlich, dass in Abhängigkeit von der weiteren Entwicklung des Klimas und den damit verbundenen Folgen für Arten und Lebensgemeinschaften zukünftig Schutzziele und Schutzgebietssysteme in Begleitung des Wandels weiterentwickelt sind. Besondere Bedeutung werden folgende Anpassungsmaßnahmen haben:

- Schaffung eines großräumigen Biotopverbundes bzw. eines funktionsfähigen ökologischen Netzes Natura 2000 zur Gewährleistung der Wanderung und Ausbreitung von Arten in klimatisch zusagende Räume,
- Erhöhung der Durchgängigkeit der Fließgewässer (ermöglicht z. B. die Wiederbesiedlung durch Einwanderung von gewässertypspezifischen Arten nach periodischem Trockenfallen),
- Verbesserung der Gewässermorphologie (variierende hydromorphologische Strukturen bieten z. B. Rückzugsmöglichkeiten für die aquatische Fauna in Stresssituationen, wie Niedrig- oder Hochwasser),
- Stabilisierung und Verbesserung des Wasserhaushalts von Mooren, Auen und anderen Feuchtgebieten einschließlich der Entwicklung und Umsetzung naturschutzkonformer und klimaschonender Nutzungsalternativen,
- Bereitstellung ausreichend großer Ausweichhabitate (Potenzialflächen), Pufferflächen und ausreichend Zeit für natürliche Anpassungsprozesse,
- Prozessschutz, d. h. Zulassen von (klimabedingten) Naturentwicklungen in dafür geeigneten Gebieten,
- Monitoring der Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität in Anlehnung an das erarbeitete Konzept (WINTER et al. 2013, WIEMERS et al. 2013) und im Rahmen des sächsischen Klimafolgenmonitorings sowie wissenschaftliche Untersuchungen zu den Folgewirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität, um gezielte Anpassungsmaßnahmen abzuleiten,

- Verankerung des Themas Klimawandel und Biodiversität in der Landschaftsplanung, so erfolgt im Landschaftsprogramm des Freistaates Sachsen als Teil des LEP 2013 mit entsprechenden Zielstellungen auch für die Landschaftsrahmenplanung auf Ebene der Regionen (vgl. z. B. Fachziele FZ 8, 17, 21, 22, 24, 27-31, 35-37 der Fachplanerischen Inhalte des Landschaftsprogramms im Anhang A 1 des LEP 2013),
- Sensibilisierung der Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit für das Thema Klimawandel und Biodiversität.

Die o.g. Anpassungsmaßnahmen befinden sich bereits in der Umsetzung, sind jedoch unterschiedlich weit fortgeschritten und im Kontext Klimawandel und Naturschutz als langfristige Aufgaben anzusehen. So wurde in Sachsen ein Netz aus 270 FFH- und 77 Vogelschutzgebieten der Natura 2000-Richtlinien etabliert und rechtlich gesichert, welches eine bedeutende Rolle im großräumigen ökologischen Verbundsystem spielt. Die Umsetzung zahlreicher Maßnahmen aus den FFH-Managementplänen zur Bewahrung bzw. Erreichung eines günstigen Erhaltungszustandes der FFH-Lebensraumtypen und FFH-Arten, von denen viele als klimasensitiv bewertet werden können, bedarf weiterhin großer Anstrengungen.

In Bezug auf die Lebensraum- und Verbundfunktion der Fließgewässer und ihrer Auen tragen die Maßnahmen zur Strukturverbesserung im Zuge der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie und das Gewässer-Durchgängigkeitsprogramm auch zum Schutz der Biodiversität dieser Lebensräume bei. Die Gewässer und Auen sind schon seit langer Zeit besonders bedeutsame Wanderkorridore. Deshalb gilt es, den Anteil der für Gewässerorganismen ökologisch nicht durchgängigen Querbauwerke (derzeit noch über 60 % von über 2700) kontinuierlich weiter zu verringern.

Ebenso bedeutend sind Naturschutzstrategien, die mögliche Synergien zwischen Klimaanpassung, Klimaschutz und anderen Schutzerfordernissen wie dem Boden- und Gewässerschutz nutzen (win-win-Strategie). Ein herausragendes Beispiel dafür ist die Revitalisierung von Mooren. Die Erhaltung, Revitalisierung und Extensivierung der Moore, aber auch der Erhalt und die nachhaltige Nutzung von Wald und Grünland dienen nicht nur der Klimaanpassung, sondern auch dem Klimaschutz. Ökosysteme, wie wachsende Moore, Wald und Grünlandböden, haben eine bedeutende Funktion als Speicher und Senke von

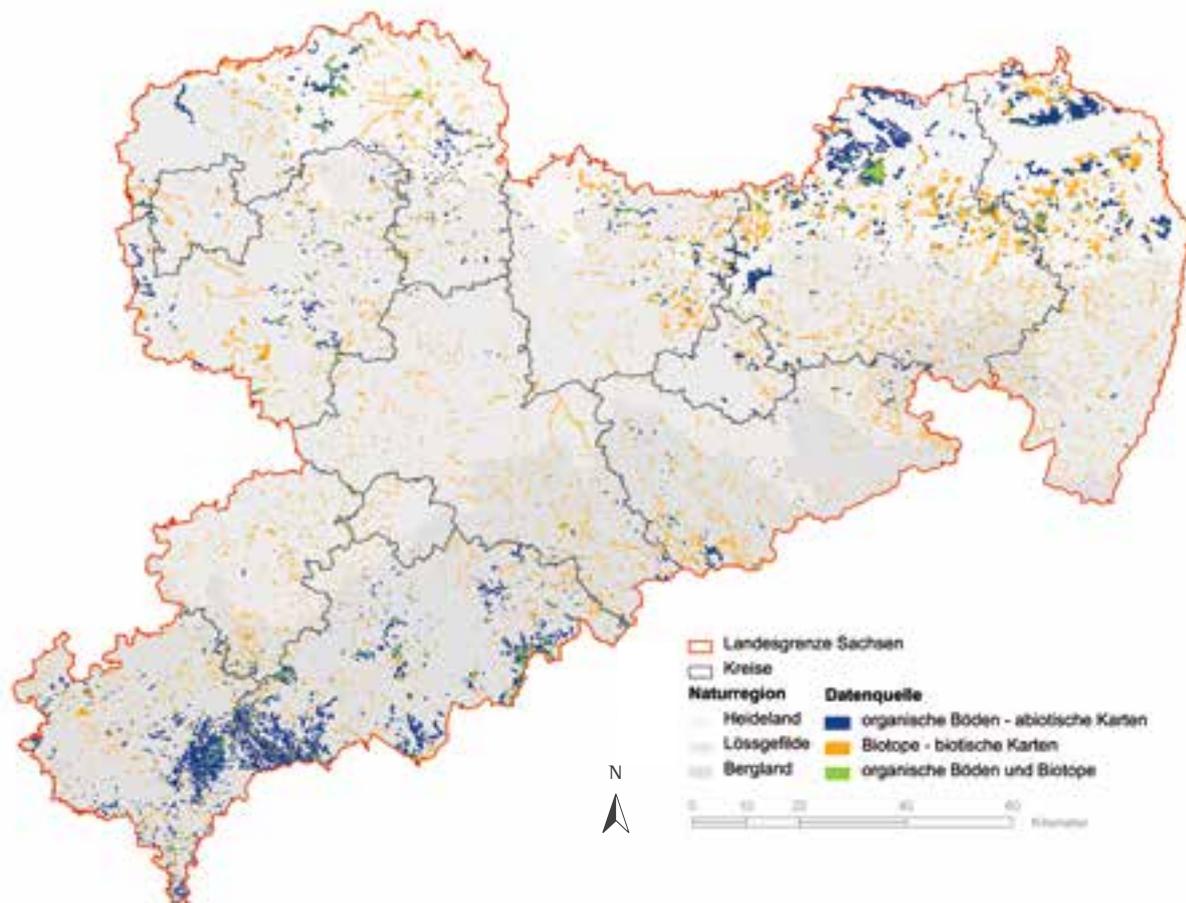


Abbildung 77: Verbreitung von Mooren und anderen organischen Nassstandorten (Anmoore, Moorbiotope) in Sachsen mit Angabe der Datenquellen (nach KEBLER et al. 2011). Datenquellen sind Geologische und Bodenkarten (=abiotische Karten) sowie Biotopkartierungen (SBK, FFH-LRT-Kartierung, =biotische Karten)

Kohlenstoff. Ihre Entwicklung kann also atmosphärischen Kohlenstoff binden. Ihre Erhaltung dient zur Vermeidung zusätzlicher CO₂-Emissionen. Die Verbreitung von Mooren wurde in einem LfULG-Projekt (KEBLER et al. 2011) dokumentiert und ist aus Abbildung 77 ersichtlich. Demnach sind in Sachsen ca. 46.800 ha bzw. 2,5 % der Landesfläche Moore und andere organische Nassstandorte (z. B. Anmoore, Moorbiotope ohne kartierte Torfauflage). Nur ca. 8 % der Moorflächen befinden sich noch in einem einigermaßen intakten und naturnahen Zustand (grüne Flächen in Abb. 77, d. h. Moorbiotope/-vegetation und organische Böden/Torfstandort befinden sich in Übereinstimmung). Die Fläche mit einem

anhaltenden Torfwachstum und damit Kohlenstofffestlegung ist noch geringer. Auch dies verdeutlicht ein großes Potenzial für Revitalisierungsmaßnahmen in Mooren. Maßnahmen zur Wiedervernässung und Revitalisierung von Mooren werden im Freistaat Sachsen z. B. auf Flächen des Staatsbetriebes Sachsenforst bereits seit Jahren erfolgreich umgesetzt.

Beispiele für solche Revitalisierungsmaßnahmen in Mooren sind das Georgenfelder Hochmoor im Osterzgebirge und die Hühnerheide bei Reitzenhain im Mittelzgebirge. In dem kürzlich abgeschlossenen bisher größten, länderübergreifenden Moorrevitalisierungsprojekt im Erzgebirge (Revitali-

sierung der Moore zwischen Hora Svatého Sebestiána und Satzung, s. Abb. 78) wurden auf einer Fläche von 242 ha in 12 Moorkomplexen diesseits und jenseits der deutsch-tschechischen Grenze ehemalige Entwässerungsgräben durch ca. 1000 Torf- und Holzdämme verschlossen. Etwa 11,5 km Gräben wurden verfüllt. Dadurch wird das Wasser wieder länger in den Torfkörpern festgehalten, so dass sich neuer Torf bilden kann. Die zukünftige Entwicklung soll durch ein wissenschaftliches Monitoring begleitet werden, um den Fortschritt bei der Regeneration wissenschaftlich zu dokumentieren.

Ein weiteres Beispiel für Synergiepotenzial ist die Erhöhung des Retentionsraumes in den Auen sowie des natürlichen Wasserrückhalts in den Einzugsgebieten. Diese Maßnahmen des natürlichen Hochwasserschutzes dienen der Anpassung an die klimabedingte Zunahme des Hochwasserrisikos. Sie haben aber auch positive Wirkungen für die Lebensbedingungen und die Belastbarkeit der Ökosysteme, u. a. indem sie dazu beitragen, dass Stresssituationen infolge extremer Ereignisse besser kompensiert werden können.

Neben den direkten Effekten des Klimawandels werden Ökosysteme und Arten mit Effekten durch eine veränderte Landnutzung zum Schutz des Klimas (Energiegewinnung aus Biomasse, Wind- und Wasserkraft) bzw. zur Anpassung an den Klimawandel (z. B. Beregnung in der Landwirtschaft) konfrontiert. Dadurch können zusätzliche Konkurrenzen und Gefährdungen für die biologische Vielfalt entstehen. Für Arten und ihre Lebensräume sind solche Veränderungen der Landnutzung aktuell sogar bedeutsamer als direkte klimatische Effekte. Es werden deshalb Strategien benötigt, die solche Konkurrenzen vermeiden bzw. minimieren und Naturschutzaspekte bei der Erzeugung und Förderung erneuerbarer Energie berücksichtigen.

So ist z. B. für eine nachhaltige Wasserkraftnutzung deren Umweltverträglichkeit (Durchgängigkeit, Mindestwasserführung) zu beachten. Die Windkraftnutzung soll so erfolgen, dass im Hinblick auf die Erhaltung der Biodiversität besonders sensible Gebiete ausgespart bzw. nicht beeinträchtigt werden. Dies erfolgt in Sachsen durch eine raumordnerische Steuerung mittels Vorrang- und Eignungsgebieten für die Windkraftnutzung in den Regionalplänen, die z. B. strenge Schutzgebiete als Tabuzonen berücksichtigt.



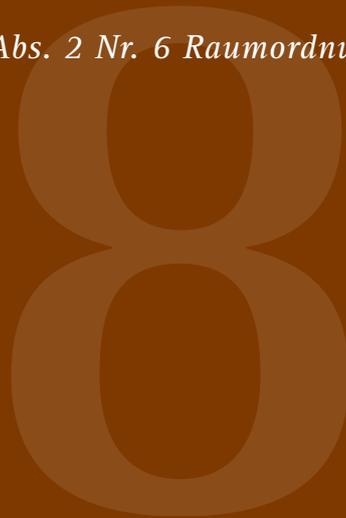
Abbildung 78: Revitalisierungsmaßnahmen in Mooren des Erzgebirges zwischen Hora Svatého Sebestiána und Satzung: Gehölzentfernung im Nordostteil der Philliphaide (September 2013, links), maschinell errichtete Torfdämme am nördlichen Hauptgraben der Philliphaide (Mai 2014, Mitte), hydrologisches Monitoring im Osten der Philliphaide nach Geländemodulation (September 2014, unten links).

Raumordnung



*Den räumlichen Erfordernissen
des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen,
sowohl durch Maßnahmen, die dem
Klimawandel entgegenwirken, als auch
durch solche, die der Anpassung an den
Klimawandel dienen.*

§2 Abs. 2 Nr. 6 Raumordnungsgesetz



Autorin: Barbara Mayr-Bednarz, SMI

Raumordnung und Klimawandel



Störnthaler See im Südraum Leipzig

Die aus dem Klimawandel sich ergebenden vielfältigen, komplexen und miteinander verknüpften Prozesse und Entwicklungen betreffen nahezu alle Bereiche unseres Lebens. Wir müssen uns deshalb auf Veränderungen bei der Siedlungstätigkeit und Infrastruktur, der Land- und Forstwirtschaft, der Wasserversorgung und Hochwassergefährdung, dem Tourismus und den Lebensräumen von Tieren und Pflanzen einstellen.

Diese Entwicklungen und die daraus folgenden geänderten Nutzungsansprüche an den Raum führen voraussichtlich auch zu neuen bzw. verschärften Raumnutzungskonflikten, die eine gesamtäumliche Betrachtung erfordern.

Die Raumordnung ist eine überörtliche und fachübergreifende Gesamtplanung, deren Aufgabe es gemäß § 1 Abs. 1 Raumordnungsgesetz (ROG) ist,

1. unterschiedliche Anforderungen an den Raum aufeinander abzustimmen und die auf der jeweiligen Planungsebene auftretenden Konflikte auszugleichen,
2. Vorsorge für einzelne Nutzungen und Funktionen des Raumes zu treffen.

Sie muss daher bereits frühzeitig unter Einbeziehung aller raumrelevanten Fachplanungen und Raumnutzer eine aktiv steuernde und koordinierende Rolle bei der vorausschauenden Bewältigung der Folgen des Klimawandels übernehmen (s. Abb. 79). Sie ist darauf auszurichten, durch strategische, integrative Planungs- und Entwicklungsansätze die Nutzungs- und Infrastrukturen im Raum im Hinblick auf die raumbedeutsamen Risiken und ggf. auch Chancen des Klimawandels zu optimieren.

„Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland 2013“, die die Entwicklungsstrategien der Raumordnungspolitik von Bund und Ländern aufzeigen, wird dem Klimawandel durch die Aufnahme eines eigenen Leitbildes „Klimawandel und Energiewende gestalten“ Rechnung getragen.

Des Weiteren förderte das für Raumordnung zuständige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

(BMVBS) von 2009 bis 2013 in seinem Forschungsprogramm Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ acht Modellregionen, dabei zwei Modellregionen in Sachsen (Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge und Region Leipzig-West Sachsen). In diesen Modellregionen wurden Klimaanpassungsstrategien unter Einsatz der formellen und informellen Instrumente der Raumordnung entwickelt und mit ersten Umsetzungsschritten erprobt.

Auswirkungen des Klimawandels



Niedrigwasser der Elbe in Dresden

Berücksichtigung im Landesentwicklungsplan (LEP) 2013

Im Jahr 2010 hat die Sächsische Staatsregierung die Fortschreibung des LEP 2003 beschlossen. Ein wesentlicher Eckpunkt der Fortschreibung war dabei die Fortentwicklung einer Raumordnungsstrategie zum Klimawandel.

Im Aufstellungsverfahren zum LEP 2013 sind insbesondere auf der Grundlage des o. g. Handlungskonzeptes der MKRO und der Ergebnisse der MORO-Vorhaben sowie intensiver Einbeziehung der betroffenen Fachbereiche mit ihren aktuellen fachplanerischen Erkenntnissen die raumrelevanten Erfordernisse zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels ermittelt und nach Abwägung als landesweite Vorgaben festgelegt worden.

Da der Klimawandel als Rahmenbedingung und Querschnittsthema begriffen wird, sind die Festlegungen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung nicht in einem Kapitel des LEP gebündelt, sondern ziehen sich wie ein roter Faden durch alle vom Klimawandel berührten Kapitel.

Der LEP 2013 enthält im Hinblick auf den Klimawandel insbesondere Vorgaben zu folgenden Handlungsschwerpunkten:

- Energiesparende, integrierte Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung durch räumliche Steuerung der Siedlungsentwicklung und Abstimmung der Siedlungsentwicklung mit der Verkehrsinfrastruktur,
- klimaverträgliche Energieversorgung durch Sicherung geeigneter Flächen für die Windenergienutzung entsprechend den Zielstellungen der sächsischen Energie-

und Klimapolitik und dem Auftrag zur Erstellung Regionaler Energie- und Klimaschutzkonzepte als Grundlage für den Ausbau der Erneuerbaren Energien,

- Entwicklung natürlicher Kohlenstoffspeicher und -senken durch die Sicherung/Entwicklung/Renaturierung von Feuchtgebieten und Mooren, Waldmehrung und Waldumbau zu standortgerechten Mischwäldern mit einer hohen Anpassungsfähigkeit an die Folgen des Klimawandels sowie Hinwirkung auf die Stabilisierung der Umweltsituation landwirtschaftlich genutzter Böden,
- vorbeugender Hochwasserschutz durch Sicherung und Rückgewinnung von Retentionsräumen an den Flussläufen und Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens in der Landschaft sowie Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen, die bei Versagen bestehender Hochwasserschutzeinrichtungen oder Extremhochwasser überschwemmt werden können und Sicherung von Standorten für technische Schutzmaßnahmen (Deiche, Hochwasser- und Regenrückhaltebecken, sonstige Hochwasserschutzanlagen),
- Minimierung bioklimatischer Belastungen insbesondere in Siedlungsbereichen durch Schutz und Entwicklung klimawirksamer Ausgleichsräume und räumliche Steuerung der Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung,
- Sicherung der Wasserversorgung durch nachhaltige Sicherung geeigneter Grundwasservorkommen und Unterstützung der Erhaltung beziehungsweise Verbesserung des Wasserhaushaltes der Böden,
- Unterstützung der Anpassung von Land- und Forstwirtschaft durch Hinwirkung auf räumliche Schwerpunktsetzung von Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels, z. B. angepasste Nutzung in erosions-



A 38, Verkehrsknoten B2



Hochwasser Elbe



Elbepark in Dresden

gefährdeten Gebieten und in Gebieten mit absehbarer Wasserknappheit sowie Vorgaben für den Waldumbau zu standortgerechten Mischwäldern,

- Ermöglichung von Wanderungsbewegungen für Tiere und Pflanzen durch den Ausbau eines großräumig übergreifenden Biotopverbundsystems, die Sicherung von unzerschnittenen verkehrarmen Räumen, die Erhaltung und Entwicklung von naturnahen Gewässern mit ihren Ufern und Auen sowie grundwasserabhängigen Landökosystemen und Mooren, die Erhaltung bzw. Neuanlage von landschaftsprägenden Gehölzen und Baumbeständen an Straßen, Wegen und Gewässern und die Schwerpunktsetzung für Waldmehrungsgebiete.

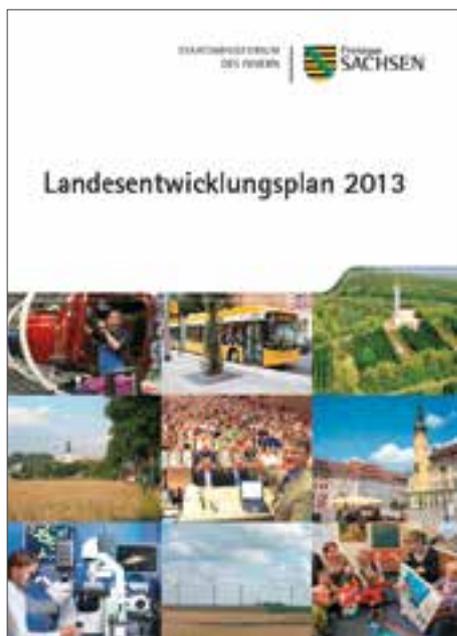
Festlegungen zu diesen Handlungsschwerpunkten gab es auch bereits im LEP 2003. Sie wurden im Hinblick auf die Anforderungen des Klimawandels aktualisiert und ergänzt. Dabei wurde deutlich, dass die durch das Raumordnungsgesetz vorgesehenen Instrumente ausreichend sind, um den Erfordernissen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung Rechnung zu tragen.

Durchführung eines Klimachecks zum LEP 2013

In Sachsen wurde erstmalig mit der Aufstellung des LEP 2013 als landesweitem Raumordnungsplan ein sogenannter „Klimacheck“ durchgeführt. Ziel des Klimachecks war es, zu überprüfen, ob die Festlegungen des LEP im Sinne einer nachhaltigen robusten Planung die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels ausreichend berücksichtigen und die notwendigen raumrelevanten Anpassungsmaßnahmen befördern. Damit sollen unangepasste Raumnutzungen soweit wie möglich vermieden und Risiken und Schadenspotenziale vermindert werden.

Der Klimacheck wurde instrumentell in die gem. § 9 ROG i. V. m. § 2 Abs. 2 Landesplanungsgesetz (SächsLPIG) durchzuführende Umweltprüfung eingebunden. Dies hat sich als sehr praktikabel erwiesen, da die Prüfung der Klimaverträglichkeit eng mit den Inhalten der Umweltprüfung verzahnt ist, d. h., die Auswirkungen der Planung auf die Umwelt auch unter den klimatischen Veränderungen in ihrer Gesamtheit zu betrachten sind.

Grundlage für den Klimacheck war eine Abschätzung der zu erwartenden klimatischen Veränderungen in Bezug auf die Temperatur- und Niederschlagsentwicklung in Sachsen mit Hilfe des Klimamodells WETTREG 2010 (A1B-Szenario). Auf



LEP 2013

Grund des relativ hohen Abstraktionsgrades der landesplanerischen Festlegungen wurde auf der Ebene des LEP auf eine differenzierte Vulnerabilitätsanalyse verzichtet. Diese wäre auf der Ebene der Regionalplanung, die gebietskonkrete Festlegungen trifft, sinnvoll und wünschenswert. Der Klimacheck selbst gliedert sich in die Bereiche Klimaanpassung und Klimaschutz.

Für den Bereich Klimaanpassung wurden

1. übergreifende Klimaanpassungsstrategien des LEP zur vorsorgenden Vermeidung der Vulnerabilität Sachsens gegenüber den Folgen des Klimawandels, d. h. steigende Temperatur und Hitzeperioden, Verringerung des Niederschlags und sommerliche Trockenperioden und Starkregen- und Hochwasserereignisse,
2. Anpassungsstrategien für die ausgewählten Raumnutzungen: Naturschutz, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserversorgung, Erholung/Tourismus, Infrastruktur/Wirtschaft

geprüft.

Für den Bereich Klimaschutz wurde der Beitrag des LEP zur Minderung von Treibhausgasen durch:

- klimaverträgliche Energiegewinnung und -versorgung,
 - klimaverträgliche Raum- und Siedlungsstruktur sowie
 - klimaverträgliche Raumnutzungen (Kohlenstoff-Senken)
- geprüft.

Die daraus abgeleiteten Vorschläge zur Optimierung der raumordnerischen Festlegungen hinsichtlich ihres Beitrages zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels bzw. zum Klimaschutz wurden zum großen Teil übernommen.

Insgesamt kam der Klimacheck zu dem Ergebnis, dass die Festlegungen des LEP 2013 eine Anpassung an den Klimawandel befördern und den Klimaschutz unterstützen. Der Klimacheck ist im Umweltbericht dokumentiert. Künftig wird zu klären sein, welche Monitoring-Indikatoren für die Überwachungsmaßnahmen bei der Umsetzung des LEP in Bezug auf den Klimawandel geeignet und zweckmäßig sein können. Dabei ist eine enge Zusammenarbeit mit der Fachplanung erforderlich, um insbesondere abzustimmen, welche bereits fachplanerisch erhobenen Indikatoren eine raumordnerische Relevanz haben können. Erste Ansätze finden sich in der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) und im Klimafolgenmonitoring Sachsen.

Umsetzung der Vorgaben des LEP im Rahmen der Regionalplanung

Im Rahmen der Regionalplanung erfolgt die Umsetzung der landesweiten raumordnerischen Vorgaben zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel in Form von konkreten räumlichen Festlegungen, wie

- Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Arten und Biotopschutz, vorbeugender Hochwasserschutz, Landwirtschaft, Waldschutz bzw. Waldmehrung, Wasserversorgung,
- regionale Grünzüge und Grünzäsuren,
- sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft bzw. Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen für besonders vom Klimawandel betroffene Gebiete, z. B. Siedlungsflächen mit Überwärmungsgefahr; von Trockenheit besonders betroffene Gebiete; erosionsgefährdete Gebiete; Gebiete, die eine Erhaltung und Verbesserung des Wasserrückhaltes besonders erfordern,
- siedlungsrelevante Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete sowie Frisch- und Kaltluftbahnen.

Der LEP 2013 gibt dafür differenzierte Kriterien vor. Für die konkrete Auswahl und Abgrenzung dieser Gebiete im Rahmen der Regionalplanung sind qualifizierte Datengrundlagen und die kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen Raumordnung und Fachplanung notwendig.

Die Regionalplanung kann des Weiteren durch den Einsatz informeller Instrumente auch die Moderations- und Koordinationsfunktion zur Umsetzung der Klimawandelminimierungs- und Anpassungsstrategien im Zusammenwirken mit den relevanten Akteuren der Region übernehmen.

Ein Beispiel für die Umsetzung der Vorgaben des LEP 2013 ist der Handlungsschwerpunkt Hitzebelastung im Regionalplan-Entwurf Leipzig-West Sachsen 2017.

Im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO) wurde für die Planungsregion Leipzig-West Sachsen eine flächendeckende Vulnerabilitätsanalyse zum Klimawandel erarbeitet, die eine Abschätzung der Verwundbarkeit der Region gegenüber zunehmenden Hitzebelastungen, Starkregen- und Hochwasserereignissen sowie einer Verringerung des sommerlichen Wasserdargebots enthält und Handlungsempfehlungen für spezifische Klimaanpassungsstrategien auf regionaler Ebene ableitet ([\[sachsen.de/projekte/modellvorhaben-der-raumordnung-moro-raumentwicklungsstrategien-zum-klimawandel/\]\(http://sachsen.de/projekte/modellvorhaben-der-raumordnung-moro-raumentwicklungsstrategien-zum-klimawandel/\)\).](http://www.rpv-west-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Der Anstieg der Hitzebelastung im Zuge des Klimawandels ist ein besonders deutliches und starkes Klimasignal mit erheblichen Auswirkungen auf die Gesundheit und Infrastrukturen insbesondere in Ballungsräumen. In diesem Zusammenhang kommt der bereits seit langem durch die Regionalplanung praktizierten Sicherung von siedlungsklimatisch bedeutsamen Bereichen (insbesondere Frisch- und Kaltluftentstehungs- und -abflussgebiete) eine besondere Bedeutung zu, da für diese Thematik eine entsprechende Fachplanung nicht vorhanden ist. Ergänzend zu den bereits im derzeit gültigen Regionalplan Westsachsen 2008 enthaltenen siedlungsklimatisch bedeutsamen Bereichen sollen bei der aktuellen Fortschreibung des Regionalplanes auf der Grundlage der genannten Vulnerabilitätsanalyse und in räumlicher Konkretisierung der Vorgaben des LEP (u. a. Auftrag zur Festlegung von Siedlungsflächen mit Überwärmungsgefahr) weitere klimawirksame Ausgleichsräume gesichert werden.

Die Vulnerabilität der Region Leipzig-West Sachsen gegenüber Hitzebelastungen ergibt sich aus dem projizierten Grad der Temperaturerhöhung und der Zunahme an Hitzetagen (Tage über 30 °C) unter Berücksichtigung der naturräumlichen, nutzungsbedingten (insbes. Versiegelungsgrad) und demografischen Sensitivität sowie der vorhandenen Anpassungskapazitäten. Besonders ausgeprägt ist die Vulnerabilität in den urbanen Räumen im Nordteil der Region, v. a. im Verdichtungsraum Leipzig, aber auch in den Teilen der Innenstadtbereiche von Torgau, Taucha, Delitzsch, Eilenburg, Markkleeberg und Schkeuditz. Für diese Siedlungsbereiche besteht der größte Handlungsbedarf, klimatische Ausgleichsräume mit sog. „Oaseneffekt“ neu zu schaffen.

Die Abbildung 80 zeigt die ermittelte Vulnerabilität im Verdichtungsraum Leipzig.

Bei der Fortschreibung des Regionalplanes Leipzig-West Sachsen sollen die ermittelten Gebiete mit höchster Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen als „Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft“, speziell als „Gebiete zur Erhöhung des Anteils an klimatischen Komfortinseln“, festgelegt werden. Diese werden mit dem Handlungsauftrag an die Bauleitplanung zur Konkretisierung und planerischen Sicherung für eine Entwicklung von Grünflächen oder Wald in diesen Gebieten – vorzugsweise auf Brachflächen – verbunden.

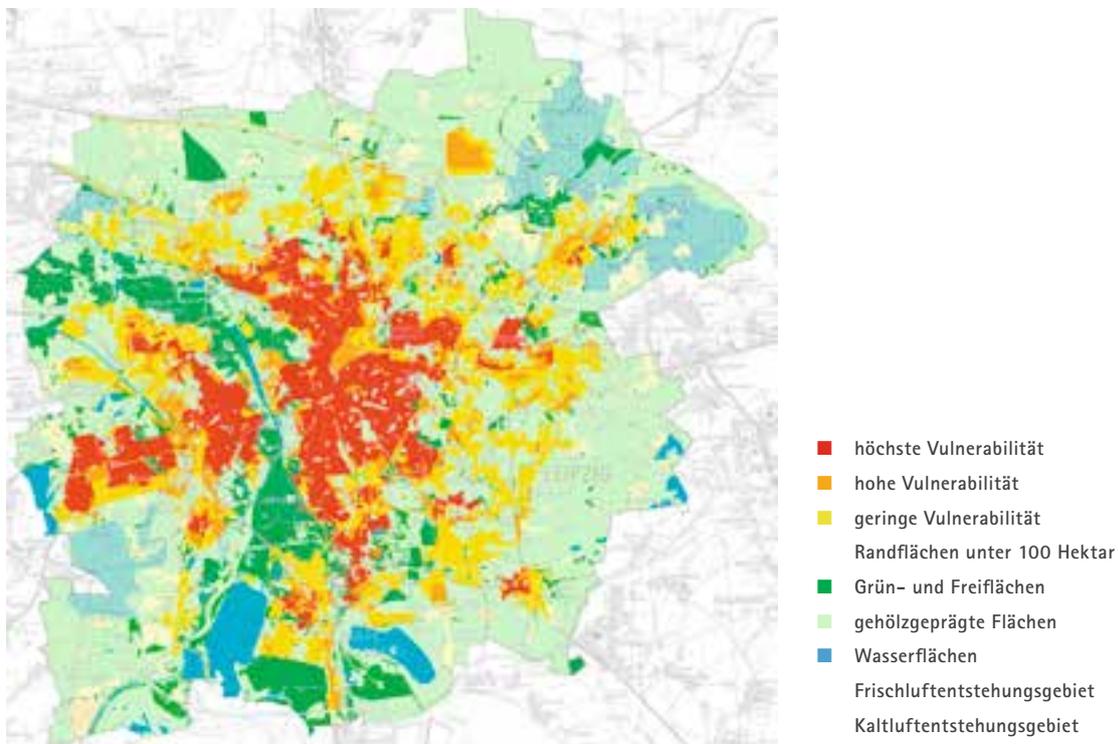


Abbildung 80: Vulnerabilität der Städte Leipzig, Markkleeberg und Taucha gegenüber Hitzebelastungen (Quelle: Schmidt, C. et al.: Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen. TU Dresden im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-West Sachsen (Hrsg.). Dresden/Leipzig, Mai 2011)

Fazit

Der Klimawandel ist ein gesamtgesellschaftliches und globales Problem, das häufig die Aufgaben und Möglichkeiten einzelner Gemeinden oder Fachbereiche überschreitet. Die Raumordnung kann mit ihren Instrumenten dazu beitragen, überörtliche und fachübergreifende Problemlösungen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung herbeizuführen.

Dabei ist es erforderlich, trotz noch bestehender Unsicherheiten in Bezug auf die künftige Klimaentwicklung sowie vorhandener Risikobreiten, möglichst verbindlich planerisch tätig zu werden. Förderlich dabei ist, dass Maßnahmen zur Klimaanpassung zumeist weitere Umweltvorteile und Synergien haben und damit als „No-Regret-Strategien“ in der Regel sinnvoll und vertretbar sind.

Informationsangebote in Sachsen

Landesentwicklung in Sachsen:

<http://www.landesentwicklung.sachsen.de/index.html>

Regionaler Planungsverband Leipzig-West Sachsen:

<http://www.rpv-west-sachsen.de/>

Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal-Osterzgebirge:

<http://www.rpv-elbtalosterz.de/>

Regionaler Planungsverband Region Chemnitz:

<http://www.pv-rc.de/>

Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien:

<http://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/nc/willkommen.html>

Klimafolgenmonitoring Sachsen



Ich betrachte den Klimawandel als eine der größten Herausforderungen dieser Zeit. Er greift in alle Bereiche des politischen, sozialen und wirtschaftlichen Lebens ein, ihn zu ignorieren ist meiner Meinung nach fahrlässig.

*Arved Fuchs,
Expeditionsleiter und Schriftsteller*

Autor: Andreas Völlings, LfULG

Beobachtung des Klimawandels mittels Indikatoren – Das Klimafolgenmonitoring Sachsen

Der Klimawandel umfasst eine Vielzahl klimatischer Veränderungen, die mit Risiken und Chancen für Umwelt und Gesellschaft verbunden sind. Doch wie lassen sich derartige Veränderung von Natur und Gesellschaft beobachten und darstellen, zumal sie häufig erst langfristig eintreten? Hier hilft ein Monitoring, also die systematische Beobachtung von Prozessen. Im Rahmen des Monitorings werden wesentliche Daten und Informationen erhoben und zu Indikatoren gebündelt, die zusammen eine Gesamteinschätzung der Veränderungen liefern können. Die so gewonnenen Erkenntnisse dienen wiederum einer verbesserten Planung, Entwicklung und Umsetzung von Strategien und Maßnahmen.

Das Klimafolgenmonitoring Sachsen ist eine Maßnahme des Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012 (EKP). Der Aufbau des Monitorings in Sachsen folgt dabei dem DPSIR-Schema, einer etablierten Systematik für die Umweltbeobachtung, die auch von der Europäischen Umweltagentur (EEA) oder dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) angewendet wird. DPSIR beschreibt bei der Darstellung von Umweltbelangen eine Abfolge von Zusammenhängen zwischen Einfluss-

größen und Wirkungen auf die Umwelt (s. Abb. 81). Diese sind im Zusammenhang mit dem Klimawandel:

- Die treibenden Kräfte („Driving forces“ = D) wie gesellschaftliche oder wirtschaftliche Prozesse, die auf die Umwelt einwirken (z. B. Energieverbrauch oder Verkehrsaufkommen),
- die Belastungen („Pressure“ = P), die aus diesen Prozessen resultieren, also Umweltbelastungen wie beispielsweise Treibhausgasemissionen,
- der aktuelle Zustand („State“ = S) der Umwelt, beispielsweise wiedergespiegelt durch die Veränderungen im Klima (Temperatur – und Niederschlagsentwicklung, Extremereignisse),
- die Auswirkungen der Klimaentwicklung („Impacts“ = I) auf Umwelt und Gesellschaft, z. B. in Form von Trockenheit der Böden oder Veränderungen des Grundwasserhaushaltes sowie
- die Reaktion („Responses“ = R), also die Aktivitäten und Maßnahmen von Natur und Gesellschaft als Antwort auf beobachtete Wirkungen (z. B. Waldumbau, Sortenwahl in der Landwirtschaft).

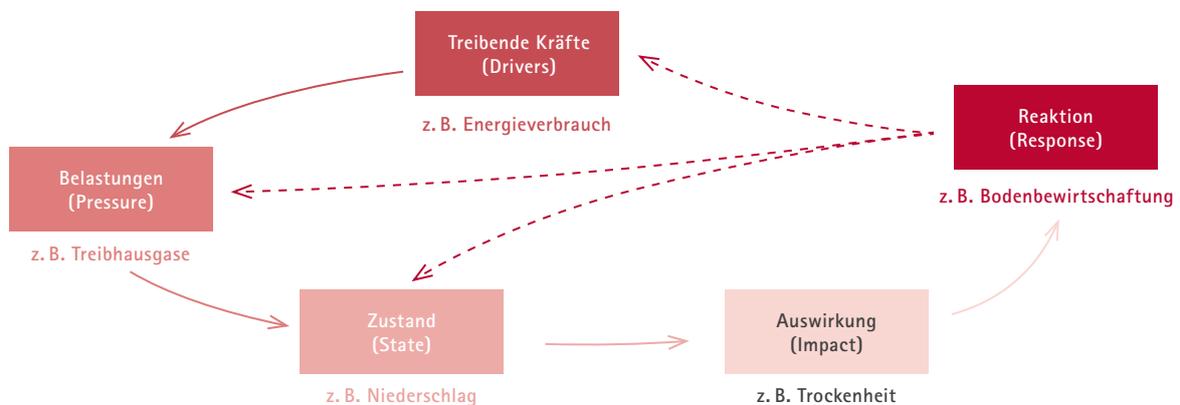


Abbildung 81: DPSIR-Schema (ergänzt nach E. Smets u. R. Weterings (1999): Environmental indicators: Typology and overview, European Environmental Agency EEA, Technical report No 25, S. 6, Copenhagen [<http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>])

Schwerpunkt des Klimafolgenmonitorings in Sachsen sind aktuell Indikatoren zu den Auswirkungen der Klimaentwicklung (»impacts«) auf die Biodiversität, die Land- und die Forstwirtschaft, den Wasserhaushalt und die Wasserwirtschaft, den Boden sowie ausgewählte übergreifende Indikatoren. Überein-

stimmungen mit den Indikatoren der deutschen Anpassungsstrategie sind vorhanden, allerdings umfasst das landeseigene Indikatorenset (s. Tab. 9) solche Indikatoren, die hinsichtlich Datenverfügbarkeit, Aussagekraft und Erhebungsaufwand für den Freistaat Sachsen von besonderer Relevanz sind.

Tabelle 9: Klimafolgenmonitoring Sachsen
Betrachtete Impact-Indikatoren (Stand Mai 2015)

Nr.	Name	Inhalte
Übergreifende Indikatoren		
I-Ü1	Veränderung phänologischer Phasen wildwachsender Pflanzen (Meldesystem)	jahreszeitlich spezifische Änderungen (z. B. Blühbeginn, Blattverfärbung) in der Phänologie (Eintrittstermin)
I-Ü2	Veränderung phänologischer Phasen forstlicher Gehölze in phänologischen Gärten	Veränderungen der Eintrittszeitpunkte phänologischer Phasen von genetisch identischen forstlichen Gehölzen
I-Ü3	Beginn und Ende der Frost-Freiheit im Pflanzenbau	Veränderung der Dauer der gesamten Vegetationsperiode als Zeitspanne zwischen Ende und Beginn der frostfreien Periode
I-Ü4	Blühbeginn beim Apfel	Veränderung des Blühbeginns von Apfelbäumen als Abbildung des Wärmeangebotes zwischen Knospenaufbruch und Beginn der Blüte
I-Ü5	Klimatische Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationszeit	Bodenfeuchteverhältnisse in der forstlichen Vegetationszeit aufgrund höchster physiologischer Aktivität in Waldökosystemen
Biodiversität / Naturschutz		
I-N1	Änderung der Artenvielfalt und –zusammensetzung	Auswirkung der Temperaturentwicklung; Community Temperature Index (CTI) z. B. Libellen oder Tagfalter
I-N2	Arealveränderungen klimasensitiver Arten	Temperaturentwicklung auf die Arealgrenzen; Veränderung des Areal Index (AI)
Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft		
I-W1	Jahreszeitliche Auflösung der Abflüsse	Änderungen der Abflüsse; Hoch-, Mittel- und Niedrigwasser an weitgehend anthropogen unbeeinflussten Fließgewässern
I-W2	Schichtungsverhalten von Talsperren und Speichern im Frühjahr	Beginn und Länge der Frühjahrsvollzirkulation (Verweis auf Wassergüte)
I-W3	Entwicklung des Grundwasserstands	Trendaussagen des Grundwasserstandes und der Quellschüttung an weitgehend anthropogen unbeeinflussten Meßstellen
Boden		
I-B1	Entwicklung des Humusvorrates	Veränderung des Humusvorrates im Oberboden
I-B2	Langfristige Entwicklung des Bodenwasservorrates	Häufigkeit des Erreichens des permanenten Welkepunkts (PWP) des Bodenwassergehaltes für das jeweilige Jahr im Oberboden
I-B3	Langfristige Entwicklung der Bodentemperatur	Häufigkeit (N) des Erreichens von Grenzwerten der Bodentemperatur
I-B4	Regen-Erosivität (R-Faktor)	Berechnung der kinetischen Energie von Starkregenereignissen als Maß der Bodenerosionsgefährdung durch Wasser
Landwirtschaft		
I-L1	Ertragsausfallrisiko landwirtschaftlicher Kulturen (insb. Getreide und Raps)	Standortspezifisches Risiko für Ertragsausfälle in Sachsen auf Basis bodenkundlicher und klimatischer Kennwerte

Nr.	Name	Inhalte
I-L2	Ertragsentwicklung der Hauptfruchtarten	Daten der Ertragsentwicklung (dt/ha) für Gesamtsachsen
I-L3	Veränderung des Spektrums und Auftretens von Schaderregern	langjährige Befallserhebungen der Schaderregerüberwachung (%-Angaben für Beobachtungsflächen)
Wald und Forstwirtschaft		
I-F1	Insektenkalamitäten insb. Buchdrucker (Fläche und Schadholzanfall)	Ausbreitung forstlichwirtschaftlich relevanter, wärmeliebender Insektenarten
I-F2	Waldbrand (Waldbrandgefahr)	Anzahl aufgetretener Waldbrände (N), Waldbrandfläche (in ha); Anzahl der Tage mit erhöhter witterungsbedingter Waldbrandgefährdung
I-F3	Ausprägung und Auswirkung physiologisch wirksamer Trockenheit	Erfassung ertragskundlicher, physiologischer und hydrologischer Kenngrößen in repräsentativen Waldbeständen
I-F4	Wuchsverhalten einheimischer und eingeführter Baumarten	räumliche und zeitliche Veränderung von Wachstums-, Resistenz- und Überlebensparametern
I-F5	Entwicklungszyklen von forstlich relevanten Insekten	Veränderung von Entwicklungszyklen forstlich relevanter Insekten (Veränderung von Dichtewerten [Anzahl/m ²])
I-F6	Ausbreitung forstlichwirtschaftlich relevanter, wärmeliebender Insektenarten	Arealverschiebungen bzw. -ausweitungen forstlichwirtschaftlich relevanter, Wärme liebender Insektenarten (künftige Schädigungen)

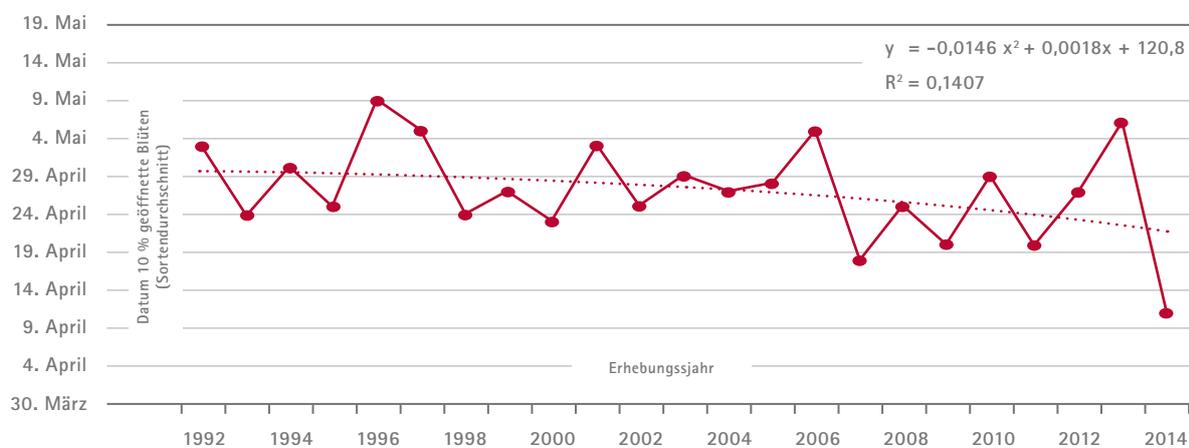


Abbildung 82: Mittlerer Blühbeginn des Apfels in Dresden-Pillnitz 1992 bis 2014

Übergreifende Indikatoren spiegeln unmittelbar die Auswirkungen des Klimawandels wieder, da direkte Kopplungen zur Temperatur- oder Niederschlagsentwicklung bestehen. Hierzu gehören beispielsweise Darstellungen von Ereignistagen (z.B. Sommertage, Heiße Tage, Tropennächte) oder der klimatischen Wasserbilanz. Aussagekräftig sind auch phänologische Indikatoren, die jahreszeitliche Entwicklungsstadien der Tier- und Pflanzenwelt wiedergeben. Auch hier bestehen hohe Sensitivitäten zu den Klimaelementen. Ein häufig verwendeter Phänologie-Indikator ist die Verände-

rung des Blühbeginns beim Apfel (s. Abb. 82), der das Wärmeangebot zwischen Knospenaufbruch und Beginn der Blüte erfasst und langfristig die Temperaturentwicklung im Frühjahr wiedergibt. Datengrundlage in Sachsen bilden die langjährigen Beobachtungen der Versuchsstation Dresden-Pillnitz für die Hauptapfelsorten.

Vorliegende Daten zeigen einen schwachen Trend hin zu früherem Blühbeginn. Eine eindeutige Trendaussage ist auf Basis dieser Beobachtungsreihe noch nicht möglich. Jedoch zeigen

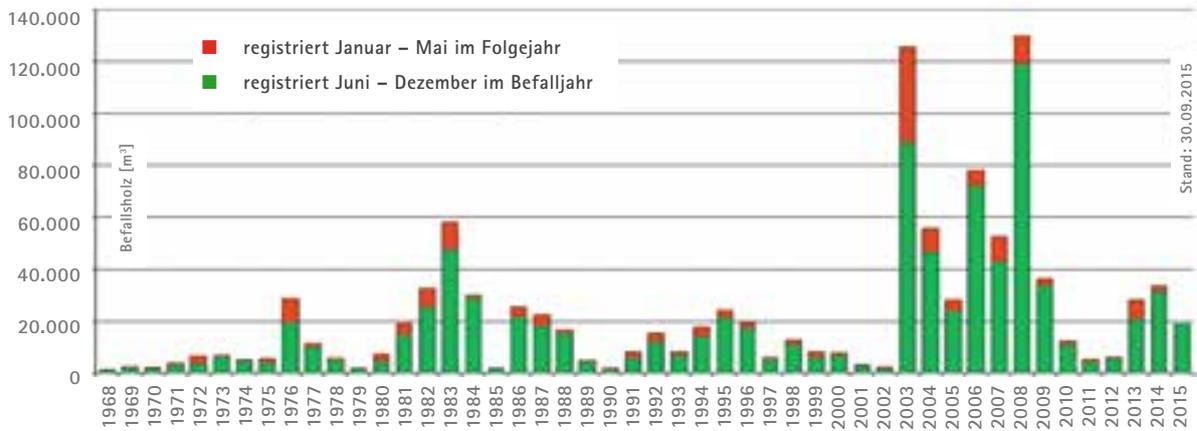


Abb. 83: Befallsholzmenge durch Buchdrucker (*Ips typhographus*) in Sachsen 1968 bis 2015

parallele Auswertungen langjähriger phänologischen Reihen des DWD gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Zeitraum 1992 – 2014 eine deutliche Verfrühung der Aufblüte von 3 bis 10 Tagen an. Der frühere Blühbeginn eröffnet zu einem die Chance, Apfelsorten mit längerer Vegetationsdauer anbauen zu können, beinhaltet aber auch das Risiko einer steigenden Gefahr von Spätfrostschäden mit dem früheren Blühtermin. Geeignete Anpassungsmaßnahmen sind z.B. die Installation von Technik für eine Frostberegnung.

Aufwändiger sind Indikatoren mit Aussagen zu sektoralen Klimafolgen, z. B. im Naturschutz, der Landwirtschaft oder im Wasserbereich. Zum einen sind oftmals umfangreichere, teilweise auch zusätzliche Datengrundlagen für die Darstellung der Indikatoren erforderlich, zum anderen sind komplexere fachliche Beurteilungen erforderlich, um die tatsächliche Rolle des Klimawandels neben anderen Einflussgrößen einschätzen zu können.

So erfordert beispielsweise der Indikator „Insektenkalamitäten insb. Buchdrucker (Fläche und Schadholzanfall)“ für eine flächenhafte Aussage des durch den Buchdrucker verursachten Schadholzanfalls jährliche Schätzungen durch Revierleiter des Staatsbetriebs Sachsenforst und untere Forstbehörden. Diese werden durch Verkaufszahlen von Schadholz präzisiert.

Die fachliche Auswertung verdeutlicht zum einen die besondere Klimasensitivität des Buchdruckers durch temporäre Maxima der Befallsholzmenge in Jahren mit trocken heißen Sommern wie 1976, 2003 oder 2006. Abbildung 83 verdeutlicht aber auch die Bedeutung weitere Einflussfaktoren wie z. B. die Vitalitätsverluste durch SO₂-Immissionen in den 80er Jahren oder die Anstiege der Befallsmengen durch gute Brutbedingungen in den Folgejahren von Sturmereignissen („Wiebke“ 1990, „Kyrill“ 2008).



Boden-Dauerbeobachtungsfläche Hilbersdorf bei Freiberg



Agrarmeteorologisches Messnetz, Station Dresden-Pillnitz

Ausblick



*Wir haben kein Erkenntnisproblem mehr,
sondern ein Umsetzungsproblem.*

*Mojib Latif,
Klimaforscher, Leibniz-Institut für
Meereswissenschaften an der Universität Kiel,
November 2011*

10

Autoren: Werner Sommer, SMUL; Bettina Miersch, SMUL

Die Ausführungen zu den Auswirkungen und Handlungserfordernissen auf die verschiedenen Umweltmedien und Landnutzungen in dieser Broschüre haben deutlich gemacht, dass sich auch Sachsen sowohl rechtzeitig als auch wirksam an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anpassen muss und kann, um Gefahren zu mindern, irreparable Schäden zu vermeiden und die Kosten für die Umsetzung notwendiger Maßnahmen einzudämmen.

Auch wenn sich aufgrund der Komplexität des Klimasystems zukünftige Folgen des Klimawandels heute nur teilweise abschätzen lassen ist jedoch klar: Der Klimawandel und seine Folgen werden sich in Zukunft eher noch verstärken. Anpassung an den Klimawandel erfordert damit als eine interdisziplinäre Aufgabe mehr noch als bisher die Zusammenarbeit aller betroffenen Entscheidungsträger und Akteure in Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft, ob auf Bundes-, Landes-, regionaler oder kommunaler Ebene.

Den Handlungsrahmen für eine vorsorgende Klimapolitik bis 2020 steckt das Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012 (EKP) ab. Auf dieser Grundlage gilt es, die im Maßnahmenplan zum EKP aufgeführten Maßnahmen vorzubereiten und umzusetzen.

Die Länder sind in Deutschland zentrale Akteure für die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Auch der Freistaat Sachsen stellt sich dieser

Aufgabe. Im regionalen Maßstab ermittelt er die Betroffenheit der verschiedenen Handlungsfelder vom Klimawandel, identifiziert den Handlungsbedarf, entwickelt notwendige Anpassungsstrategien und setzt die entsprechenden Maßnahmen in Kooperation mit weiteren Entscheidungsträgern und Akteuren um.

Unabdingbar ist aber auch künftig die Unterstützung der Anpassungsstrategien der Länder durch den Bund im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS). Der Bund kann die benötigten deutschlandweiten Klimainformationen bereitstellen, den bundesweiten Informations- und Erfahrungsaustausch koordinieren und die Anpassungsprozesse in den Ländern durch weitere Maßnahmen unterstützen.

Sachsen wird den eingeschlagenen Weg der Entwicklung und Umsetzung von integrierten Anpassungsstrategien auf der Grundlage der jeweils aktuellen Erkenntnisse zum regionalen Klimawandel, der Vorgaben des Landesentwicklungsplans 2013 und der Ergebnisse aus dem landesweiten Klimafolgenmonitoring weitergehen. Dabei wird nach den Umweltmedien und Landnutzungen künftig das Augenmerk stärker auf die Infrastruktur, die menschliche Gesundheit und die kommunale Ebene zu legen sein.

Die Anpassung an den Klimawandel bildet gemeinsam mit dem Klimaschutz auch künftig die Schwerpunkte der sächsischen Klimapolitik.





Glossar, Tabellen-, Abbildungs- und Literaturverzeichnis



*Wir sind die erste Generation,
die den Klimawandel spürt. Und die letzte,
die etwas dagegen tun kann.*

*Barack Obama,
Präsident der Vereinigten Staaten, 2014*



Glossar

Klimaentwicklung in Sachsen

Kryosphäre:	Die Kryosphäre umfasst die Gesamtheit des Vorkommens von Eis (festen Wassers) auf einem Himmelskörper (z.B. Erde).
Omega-Wetterlage:	Die Omega-Wetterlage wird von einem Hochdruckgebiet charakterisiert, das von einem westlich und einem östlich davon liegenden Höhentief flankiert wird. Das Druckgebilde gleicht dem griechischen Großbuchstaben Omega Ω und gehört zu den blockierenden Wetterlagen. Daher ist diese Konstellation im Hochdruck- und im Tiefdruckbereich stets über vergleichsweise lange Zeiträume stabil.
Klimanormalperiode:	Die Klimanormalperiode ist ein 30jähriger Mittelungszeitraum für Klimabeobachtungen. Die aktuelle Klimanormalperiode läuft seit 1991 und dauert bis 2020. Die gegenwärtige Bezugsperiode umfasst den Mittelungszeitraum 1981–2010 und die Referenzperiode, zur Bewertung von Klimaänderungen, umfasst den Mittelungszeitraum 1961–1990.
R90p, R95p:	Die Symbolik R90p, R95p bezeichnet hier Perzentile in der Niederschlagsverteilung und wird zur Definition von Starkregen verwendet, wobei die Verteilung nur Werte ≥ 1 mm pro Tag enthält. Perzentile zerlegen eine Verteilung in 100 Teile identischen Umfangs. Die Perzentile geben Schwellenwerte derart an, dass ein bestimmter Anteil von Werten aus der Niederschlagsverteilung kleiner als das Perzentil und der Rest größer ist. Demnach ist das 90%-Perzentil (R90p) der Niederschlagswert in der Verteilung, für den gilt, dass 90% aller Niederschlagswerte kleiner sind als dieser.
Emissionsszenarien, insbesondere die im Text verwendeten A1B und E1:	s.u. C20-Kontrolllauf
WMO-Indizes:	Von der WMO empfohlener Katalog von Indizes zur Analyse von Extremen in einem sich ändernden Klima (http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php). Hinsichtlich der Aussagekraft wurden Eigenschaften gemessener und simulierter Datensätze bei der Definition der Indizes berücksichtigt.
C20-Kontrolllauf:	Der C20-Kontrolllauf simuliert das Klima für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts (z.B. 1961–2000) und ist Bestandteil einer Klimaprojektion. Durch den Vergleich mit Beobachtungen (Messungen) lässt sich ableiten wie gut das Klima in seinen Eigenschaften durch die Simulation abgebildet wird. Ein weiterer Bestandteil sind Simulationen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, die auf Annahmen (Emissionsszenarien) beruhen. Zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels wird ein Vergleich mit den C20-Simulationen vorgenommen, um Änderungssignale zu identifizieren. In der Wissenschaft wird versucht über möglichst plausible Annahmen und Näherungen eine sozio-ökonomische Entwicklung der Menschheit in Emissionsszenarien (SRES, RCP, s. www.ipcc.ch) abzubilden. Beispielsweise bedeutet das mittlere Emissionsszenario A1B (SRES) eine Zunahme der global gemittelten, bodennahen Lufttemperatur für 2090–2099 vs. 1980–1999 von 2,8°C (beste Schätzung, Unsicherheitsbereich: 1,7 – 4,4°C). Das politisch angestrebte 2,0°C-Ziel wird durch das Emissionsszenario E1 (SRES) abgebildet.

Landwirtschaft

Virusvektoren:	Überträger von Viruskrankheiten
Esparsette:	mehnjährige Futterpflanze, Schmetterlingsblütler
Triticale:	Getreideart- Kreuzung aus Weizen und Roggen

Boden

- R-Faktor:** Der R-Faktor steht für die Erosionskraft von Regenereignissen. Er wird aus zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsreihen berechnet.
- permanenter Welkepunkt:** Wassergehalt des Bodens, bei dem die meisten Pflanzen zu welken beginnen. Der Welkepunkt setzt ein, wenn das Bodenwasser unter einer Saugspannung von etwa 15 bar steht.

Biologische Vielfalt und Naturschutz

- Neophyten:** „Neu-Pflanzen“, d.h. Pflanzenarten, die von Natur aus nicht in Deutschland vorgekommen sind, sondern sich erst nach dem Jahr 1492 durch den Einfluss des Menschen hier ansiedeln konnten bzw. eingeschleppt wurden
- Neozoen:** „Neu-Tiere“, d.h. Tierarten, die von Natur aus nicht in Deutschland vorgekommen sind, sondern sich erst nach dem Jahr 1492 durch den Einfluss des Menschen hier ansiedeln konnten bzw. eingeschleppt wurden
- phänologische Phasen:** in jedem Jahr periodisch wiederkehrende Phasen mit bestimmten Entwicklungserscheinungen in der Natur, die sich z. B. durch phänologische Zeigerpflanzen abgrenzen lassen (z. B. der Beginn des Vorfrühlings durch die Blüte von Schneeglöckchen und Sal-Weide)
- FFH-Lebensraumtypen:** Lebensraumtypen des Anhanges I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der EU von 1992, wie z. B. Hainsimsen-Buchenwälder oder Artenreiche Borstgrasrasen
- Stratigraphie:** Schichtenabfolge in der Geologie, z. B. auch die Schichtenabfolge verschiedener Torfe in Mooren
- CTI:** englisch: Community Temperature Index; ein über die gesamte Artengemeinschaft einer Region gewichteter mittlerer Temperaturwert, der als arithmetisches Mittel der nach ihrer Häufigkeit gewichteten Species Temperature Indices (STI) der Arten in einer Zeiteinheit (z. B. ein Jahr) berechnet wird
- STI:** englisch: Species Temperature Index; ein Temperaturwert, der als arithmetisches Mittel aus den Mitteltemperaturen des Verbreitungsgebietes einer Art in einer Referenzperiode berechnet wird

Raumordnung

- Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO):** Gremium der Bund-Länder-Zusammenarbeit, in dem die für Raumordnung und Landesplanung zuständigen Minister und Senatoren des Bundes und der Länder über grundsätzliche Fragen der Raumordnung und Landesplanung gemeinsam beraten und Empfehlungen abgeben.
- Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland:** Bund und Länder entwickeln in der Ministerkonferenz für Raumordnung Leitbilder für die räumliche Entwicklung des Bundesgebietes. Die MKRO wird Anfang 2016 nach einem umfassenden Konsultationsverfahren die neuen „Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland“ als weiterentwickelte gemeinsame Strategie der Leitbilder aus dem Jahr 2006 für die Raumordnungs- und Raumentwicklungspolitik von Bund und Ländern verabschieden.
- Landesentwicklungsplan (LEP) 2013:** Zusammenfassender und übergeordneter Raumordnungsplan für das gesamte Gebiet des Freistaates Sachsen. Er enthält Grundsätze und Ziele der Raumordnung zur räumlichen Ordnung und Entwicklung und stellt unter Einbeziehung der raumbedeutsamen Fachplanungen eine raumordnerische Gesamtkonzeption für das Land mit Vorgaben für die Regionalplanung dar.
- Regionalplanung:** Die Aufgabe der Regionalplanung ist in Sachsen den vier Regionalen Planungsverbänden (RPV Leipzig-West-sachsen, PV Region Chemnitz, RPV Oberes Elbtal/Osterzgebirge, RPV Oberlausitz-Niederschlesien) übertragen. Mitglieder sind die kreisfreien Städte und die

	Landkreise. Der Regionalplan formt den Landesentwicklungsplan für die Planungsregion räumlich und sachlich aus. Er ist das wesentliche Bindeglied zwischen den überörtlichen Entwicklungsvorstellungen des Landes und den konkreten Festlegungen der Raumnutzung auf der örtlichen Ebene (Bauleitplanung).
Umweltprüfung:	Auf Grund von § 9 ROG i. V. m. § 2 Abs. 2 SächsLPlG bei der Aufstellung und Fortschreibung von Raumordnungsplänen obligatorisch durchzuführende Prüfung über voraussichtlich erhebliche Umweltauswirkungen, welche sich in der Folge der Umsetzung der Ausweisungen des Planes ergeben können.
Vulnerabilitätsanalyse:	Ermittlung der Empfindlichkeit/Verletzbarkeit und Anpassungskapazität eines Planungsraumes gegenüber den zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf der Grundlage von regionalen Klimaszenarien mit dem Ziel der regional differenzierten Abgrenzung von Räumen und Raumnutzungen bzw. Raumfunktionen mit hohem Klimafolgenrisiko aber auch mit Chancen aus dem Klimawandel.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Flächenmittel für Klimaelemente und -größen und deren Änderungen gegenüber der Referenzperiode 1961-1990 in Sachsen	10
Tabelle 2:	Übersicht zu Risiken und Chancen des Klimawandels in Sachsen	23
Tabelle 3:	Fördermaßnahmen und ihre Wirkungen	42
Tabelle 4:	Betroffenheiten des Natur- und Wirtschaftswaldes vom Klimawandel	59
Tabelle 5:	Einfluss des Klimawandels auf die Populationsentwicklung von Schädlingen	68
Tabelle 6:	Das Ausmaß und die räumliche Verteilung bewirken eine unterschiedliche Gefährdung von Waldwirkungen	69
Tabelle 7:	Handlungsrahmen forstlicher Entscheidungen am Beispiel der Baumartenwahl	77
Tabelle 8:	Statistische Auswertung von anthropogen weitgehend unbeeinflussten Grundwassermessstellen	83
Tabelle 9:	Klimafolgenmonitoring Sachsen Betrachtete Impact-Indikatoren (Stand Mai 2015)	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Jahresmitteltemperatur in Sachsen, 1881-2014 (11-jährig gleitendes Mittel)	9
Abbildung 2:	Abweichungen der Jahresmitteltemperatur (in K) gegenüber 1961 – 1990 für die Dekaden 1881 bis 2010 in Sachsen, Deutschland und global	9
Abbildung 3:	Jahresmittel der Lufttemperatur (°C) in Sachsen, links: 1961-1990 (Flächenmittel: 8,1 °C), rechts: 1981-2010 (Flächenmittel: 8,7 °C, d. h. +0,6 K)	11
Abbildung 4:	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 %)	11
Abbildung 5:	Kerngebiete der Änderungen für Starkregenereignisse (R90p und R95p) 1981-2010 vs. 1961-1990 in Sachsen, links: Anzahl der Überschreitungstage (Verhältnis Zu-/Abnahme 12:1), rechts: mittlere Intensität pro Ereignis (Verhältnis Zu-/Abnahme 6:1)	11

Abbildung 6:	Niederschlag (korrigiert) und klimatische Wasserbilanz (mm) in Sachsen, Vegetationsperiode I, links: 1961-1990, rechts: 1981-2010.....	12
Abbildung 7:	Niederschlag (korrigiert) und klimatische Wasserbilanz (mm) in Sachsen, Vegetationsperiode II, links: 1961-1990, rechts: 1981-2010.....	13
Abbildung 8:	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.....	14
Abbildung 9:	Klimaräume (n. Kronenberg et al., 2015) und Klimaregionen (n. Mannsfeld und Syrbe, 2008) in Sachsen (aus Kronenberg et al., 2015, geändert).....	16
Abbildung 10:	Jahresmittel der Lufttemperatur (°C) in Sachsen, Dekaden 1961-2010.....	17
Abbildung 11:	Mittlere Anzahl von Sommertagen (TX > 25 °C) im Jahr, Dekaden 1961-2010.....	17
Abbildung 12:	Mittlere korrigierte Niederschlagssumme (mm) in der Vegetationsperiode I, Dekaden 1961-2010.....	18
Abbildung 13:	Mittlere korrigierte Niederschlagssumme (mm) in der Vegetationsperiode II, Dekaden 1961-2010.....	18
Abbildung 14:	Mittlere klimatische Wasserbilanz (mm) in der Vegetationsperiode I, Dekaden 1961-2010.....	19
Abbildung 15:	Mittlere klimatische Wasserbilanz (mm) in der Vegetationsperiode II, Dekaden 1961-2010.....	19
Abbildung 16:	Entwicklung der Erträge [dt/ha] von Winterweizen (oben) und Silomais (unten) sowie Abweichungen vom Trend in Sachsen für die Zeiträume 1955 – 2014 (Quelle LfULG).....	29
Abbildung 17:	Regional differenzierte Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge in Sachsen.....	30
Abbildung 18:	Ertragsausfallrisiko in Sachsen (heute).....	31
Abbildung 19:	Ertragsausfallrisiko in Sachsen (2021-2030).....	31
Abbildung 20:	Maiszünsler-Auftreten in Sachsen 1997 bis 2013 (im Rahmen der Schaderregerüberwachung, Boniturtermin Mitte September).....	34
Abbildung 21:	Direktsaat.....	36
Abbildung 22:	Streifenbearbeitung.....	37
Abbildung 23:	Dauerbegrünung einer erosionsgefährdeten Abflussbahn.....	37
Abbildung 24:	Stickstoff-Injektionsdüngung.....	38
Abbildung 25:	Streifenbearbeitung mit Gülle-Unterflurdüngung.....	38
Abbildung 26:	Linearberechnungsmaschine als Beispiel für ein ressourcenschonendes Berechnungsverfahren.....	39
Abbildung 27:	Einreihen Hagelschutznetz im Apfelanbau.....	40
Abbildung 28:	Tropfenbewässerung als Beispiel für ein ressourcenschonendes Bewässerungsverfahren.....	41
Abbildung 29:	Qualitäts-Mischung für Grünland unter anderem mit Chicorée und blühender Esparsette.....	41
Abbildung 30:	Bodenerosion durch einen Starkregen im Mai.....	46
Abbildung 31:	Langjährig mittlerer Jahresgang der erosiven Niederschläge (R Faktor nach DIN 19708), Mittelwert aus Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes in Sachsen.....	47
Abbildung 32:	Verschlämmung einer ungeschützten Bodenoberfläche bei Niederschlag.....	47
Abbildung 33:	Verlauf der R Faktoren von 1952 bis 2012, abgeleitet nach DIN 19708 für die DWD Station Chemnitz.....	48
Abbildung 34:	Potenzielle Bodenerosionsgefährdung nach DIN 19708.....	48
Abbildung 35:	Bodenerosion durch Wasser auf Ackerland.....	50
Abbildung 36:	Erosionsschäden durch Starkregen.....	51
Abbildung 37:	Winderosion.....	51
Abbildung 38:	Lage der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in den Bodengroßlandschaften (BGL).....	52
Abbildung 39:	Bodenfeuchteverlauf in den oberen Horizonten der BDF II im Frühjahr in den Monaten April und Mai.....	53
Abbildung 40:	Mulchsaat Mais.....	53
Abbildung 41:	Jahresmittelwerte (durchgezogene Linien) und langjährige Mittelwerte (gestrichelte Linien) der Bodentemperatur in den oberen Bodenhorizonten bei den BDF II.....	54
Abbildung 42:	Häufigkeit des Auftretens von Bodentemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$ an 7 aufeinanderfolgenden Tagen in den oberen Horizonten der BDF II.....	54

Abbildung 43: Räumliche Verteilung maximaler Kohlenstoffvorräte der BDF innerhalb der Bodengroßlandschaften Sachsens.....	55
Abbildung 44: Eichenverjüngung.....	61
Abbildung 45: Aktuelle Klimaausprägung (Klimaklassen des Basisklimas 1971-2000).....	63
Abbildung 46: „Großraumversuch“ Fichte.....	65
Abbildung 47: Waldbrandgefährdung.....	67
Abbildung 48: Anpassung der Waldbewirtschaftung.....	71
Abbildung 49: Bilanz und Ziel des Waldumbaus.....	72
Abbildung 50: Zielzustandskarte für den Waldumbau.....	73
Abbildung 51: Einordnung von 21 verschiedenen Lokalbodenformen (Buchstabenkombinationen), die Sandböden im sächsischen Tiefland charakterisieren in den 9-stufigen Gliederungsrahmen der Substratfeuchte.....	75
Abbildung 52: Einschätzung der Umbaunotwendigkeit nach Landschaftseinheiten.....	76
Abbildung 53: Trendanalyse und räumliche Muster der Entwicklung der Grundwasserstände (Zeitraum 1971-2014).....	83
Abbildung 54: Abweichung des Grundwasserabflusses der Quelle Zschopau (Mittelgebirge) vom langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1961-1990.....	84
Abbildung 55: Abweichung des Oberflächenwasserabflusses im Schwarzbach (Tiefland) vom langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1961-1990.....	85
Abbildung 56: Die Abbildung zeigt, dass die Häufigkeit von mittleren Niedrigwasserabflüssen im Winterhalbjahr (WHJ) und Sommerhalbjahr (SHJ) in den beispielhaft betrachteten Klimaprojektionen zunimmt.....	85
Abbildung 57: Räumliche Verteilung des langjährigen mittleren Abflusses R (1961-1990, oben links; 1981-2010, oben rechts; 2021-2050, unten links; 2071-2100, unten rechts) für das Klimamodell WETTREG 2010 (A1B) in Sachsen.....	86
Abbildung 58: Talsperren-Verbundsystem Mittleres Erzgebirge und Osterzgebirge zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung.....	88
Abbildung 59: Stauraumaufteilung einer Talsperre mit Reserveraum, Betriebsraum, Hochwasserrückhalteraum einschl. Kennzeichnung von Epilimnion und Hypolimnion.....	89
Abbildung 60: Wasserseite Talsperre Saidenbach beim Einbau des Schützes 2012 (links) und Luftseite Talsperre Saidenbach beim Juni-Hochwasser 2013 (rechts).....	90
Abbildung 61: Überwachungsnetz der Grund- und Oberflächenwasserkörper.....	92
Abbildung 62: Stauanlagen der Landestalsperrenverwaltung.....	93
Abbildung 63: Hochwasserrückhaltebecken Oberlungwitz im Hochwasserfall (links) und bei durchschnittlichem Durchfluss des Kirchberger Dorfbaches, auch Rehbach genannt (rechts).....	94
Abbildung 64: Mobile Hochwasserschutzwände während des Hochwassers 2013 in Dresden-Pieschen.....	94
Abbildung 65: Abriss der alten Industrieanlagen (links) mit Entsiegelung der Flächen als Grundlage für natürliche Regenerationsprozesse (rechts).....	95
Abbildung 66: Areal der ehemaligen Volltuchfabrik in Görlitz.....	95
Abbildung 67: Uferrevitalisierung an der Großen Mittweida in der Gemeinde Raschau-Markersbach (links: Zustand 2009, rechts: Zustand nach Baumaßnahme 2012).....	96
Abbildung 68: Naturnah ausgeprägter Bereich des Hoyerswerdaer Schwarzwassers (links) im Vergleich mit einem Abschnitt, der durch intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen fließt (rechts).....	96
Abbildung 69: Naturnahe Gewässerverläufe und Anbindung an Auen im Röderauald und im Mündungsbereich der Lossa zur Vereinigten Mulde nahe Eilenburg.....	98/99
Abbildung 70: Hochmontane naturnahe Fichtenwälder im Erzgebirge (Zechengrund bei Oberwiesenthal) und Moore (Zadlitzbruch in der Dübener Heide).....	102
Abbildung 71: Bestandsentwicklung Neophyten – Mittlerer Zeigerwert nach ELLENBERG (N=Stickstoff, T=Temperatur) für Neophyten mit unterschiedlicher Bestandsentwicklung in Sachsen nach HARDTKE & IHL (2000) (aus SCHLUMPRECHT et al. 2005).....	104

Abbildung 72: Betroffenheit ausgewählter FFH-LRT des Offenlandes durch den Klimawandel.....	105
Abbildung 73: Beispiele für Tagfalterarten mit ihrer europäischen/sächsischen Verbreitung und STI-Werten	107
Abbildung 74: Großer Feuerfalter (Männchen) als Beispiel einer durch den Klimawandel wahrscheinlich begünstigten, in Ausbreitung befindlichen Tagfalterart (links) und Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling als Beispiel für eine Tagfalterart, deren Lebensräume (v.a. Feuchtwiesen) vom Klimawandel ungünstig beeinflusst werden (rechts).....	108
Abbildung 75: Feuerlibelle (links oben) und Südliche Mosaikjungfer (links unten) als Beispiele südlich verbreiteter, in Sachsen sich ausbreitender Libellenarten, und Mond-Azurjungfer (rechts, sogenanntes „Paarungsrad“) als Beispiel einer stark im Rückgang befindlichen eurosibirischen Libellenart.....	109
Abbildung 76: Verlauf des Community Temperature Index (CTI) für Libellen (unten) und Tagfalter (oben) im Vergleich zur Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Sachsen.....	110
Abbildung 77: Verbreitung von Mooren und anderen organischen Nassstandorten (Anmoore, Moorbiotope) in Sachsen mit Angabe der Datenquellen. Datenquellen sind Geologische und Bodenkarten sowie Biotopkartierungen	112
Abbildung 78: Revitalisierungsmaßnahmen in Mooren des Erzgebirges zwischen Hora Svatého Sebestiána und Satzung: Gehölzentfernung im Nordostteil der Philliphaid (September 2013, links), maschinell errichtete Torfdämme am nördlichen Hauptgraben der Philliphaid (Mai 2014, Mitte), hydrologisches Monitoring im Osten der Philliphaid nach Geländemodulation (September 2014, rechts).	113
Abbildung 79: Von den Auswirkungen des Klimawandels betroffene Bereiche und integrative Rolle der Raumplanung...	117
Abbildung 80: Vulnerabilität der Städte Leipzig, Markkleeberg und Taucha gegenüber Hitzebelastungen	123
Abbildung 81: DPSIR-Schema	126
Abbildung 82: Mittlerer Blühbeginn des Apfels in Dresden-Pillnitz 1992 bis 2014.....	128
Abbildung 83: Befallsholzmenge durch Buchdrucker (<i>Ips typhographus</i>) in Sachsen 1968 bis 2015.....	132

Literaturverzeichnis

Wald und Forstwirtschaft

- Eisenhauer, D.-R.; Sonnemann, S. (2008): Waldentwicklungstypen –Grundlage für die Entwicklung regionaler Waldbaurichtlinien in Sachsen. Forst und Holz. 63, Heft 10, 12–17
- Feemers, M.; Blaschke, M.; Skatulla, U.; Gulder, H.-J. (2003): Klimaveränderungen und Biotische Schäden im Wald. LWF aktuell 37, S. 19-22.
- Fussi, B., Cremer, E., Konnert, M. (2014): Auf der Suche nach anpassungsrelevanten Genen bei Waldbäumen, LWF Wissen, Heft 74, S. 27-31
- Gemballa, R. & A. Schlutow (2007): Überarbeitung der forstlichen Klimagliederung Sachsens. AFZ/Der-Wald 15: 822-826
- Gömann H., Bender A., Bolte A., Dirksmeyer W., Englert H., Feil J.-H., Frühauf C., Hauschild M., Kregel S., Lilienthal H., Löpmeier F.-J., Müller J., Mußhoff O., Natkhin M., Offermann F., Seidel P., Schmidt M., Seintsch B., Steidl J., Strohm K., Zimmer Y. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Abschlussbericht: Stand 3.6.2015. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 312 S., Thünen Rep 30, doi:10.3220/REP1434012425000
- Knoke T. (2007): Finanzielle Risiken von Rein- und Mischbeständen. LWF Wissen 58, S. 34 – 37
- Knoke T. (2009): Die ökonomische Zukunft der Fichte. LWF Wissen 63, S. 16 – 21
- Kätzel, R. (2009): Möglichkeiten und Grenzen der Anpassung an Klimaextreme – eine Betrachtung zu baumartenspezifischen Risiken aus Sicht der Ökophysiologie, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 42, S. 22-34

- Kätzel, R., Schmidt, S. & Löffler, S. (2008): Gewinner und Verlierer - Wer profitiert von der Vielfalt im Eichenwald?, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 36, S. 31-40.
- König, T. (2011): Substratfeuchte - wichtige Auswertereinheit der Standortserkundung am Beispiel Sachsens. Freiburger Forstliche Forschung 88. S. 90-100
- Konnert, M. und Schirmer, R. (2011): Weißtanne und Küstentanne - Herkunftsfragen und weitere genetische Aspekte, LWF Wissen 66, S. 20-27
- Kopp, D. & W. Schwanecke (1996): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechte Forstwirtschaft - Grundzüge von Verfahren und Ergebnissen der forstlichen Standortserkundung in den fünf ostdeutschen Bundesländern. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin;
- Kreyling, J., Bittner, T., Jaeschke, A., Jentsch, A., Steinbauer, M.J., Thiel, D., Beierkuhnlein, C., (2011): Assisted colonization - a question of focal units and recipient localities. Restor. Ecol. 19, S. 433-440
- Kreyling, J., Wiesenberg, G.L.B., Thiel, D., Wohlfart, C., Huber, G., Walter, J., Jentsch, A., Monika Konnert, M., Beierkuhnlein, C. (2012): Cold hardiness of *Pinus nigra* Arnold as influenced by geographic origin, warming, and extreme summer drought, Environmental and Experimental Botany 78, S. 99-108
- Küster, H. (2014): Vegetationsgeschichte der Eiche, LWF Wissen 75, S. 21-24
- LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2014): Kompendium Klima - Sachsen im Klimawandel, Klimaprojektionen PJ1, 6 S.
- Martens, S. (2015): Eingeführte Baumarten in Sachsen - eine waldbauliche Retro und Perspektive, forstarchiv 86, S. 92-98
- Otto, H.-J. (1994): Waldökologie, UTB. E.Ulmer, Stuttgart, 391 S.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E. und Rötzer, T. (2014): Veränderte Dynamik von süddeutschen Waldbeständen seit 1870, LWF-Wissen 76, S. 72-87
- Renger, M., Bohne, K., Facklam, M., Harrach, T., Riek, W., Schäfer, G., Wessolek, Zacharias, S. (2009): Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges2 zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. IN: Wessolek, G., Kaupenjohann, Renger, M. (Hrsg.): Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis. Bodenökologie und Bodenogenese Heft 40 : S. 5-51
- Renner, M., Brust, K., Schwärzel, K., Volk, M., Bernhofer, C. (2014): Separating the effects of changes in land cover and climate: a hydro-meteorological analysis of the past 60 yr in Saxony, Germany, Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, S. 389-405
- Röder, M. und Beyer, C. (2002): Abflussbildung und vorbeugender Hochwasserschutz in der Landes- und Regionalplanung - dargestellt am Beispiel Sachsens. Naturschutz und Landschaftsplanung, Stuttgart, Bd. 34, H. 7, S. 197-202.
- Roloff, A. und Meyer, M. (2008): Eignung der heimischen und möglicher nichtheimischer Gehölze in der Landschaft und Konsequenzen für die Verwendung, Hrsg. Bund deutscher Baumschulen, Klimawandel und Gehölze. Sonderheft Grün ist Leben, S. 4-29
- Schlutow, A. und R. Gemballa (2008): Sachsens Leitwaldgesellschaften, Anpassung an den prognostizierten Klimawandel, AFZ-Der Wald, Nr. 1, S. 28-31
- Schopf, A., Baier, P., Pennerstorfer, J.. (2012): Modellbasierte Abschätzung der Prädisposition fichtenreicher Waldbestände gegen biotische Kalamitäten insbesondere durch rindenbrütende Borkenkäfer, Staatsbetrieb Sachsenforst, Forschungsbericht S. 109
- Schütz, Jean-Philippe (1997): Waldbauliche Behandlungsgrundsätze in Mischbeständen, Schweiz.Z.Forstwesen, 145 Heft 5, S. 389-399
- Schwanecke, W. (1993): Merkmalstabellen für Haupt- und Lokalbodenformen der forstlichen Standortserkundung (Bodenformenkatalog). Staatsbetrieb Sachsenforst Graupa, 124 S.
- SBS - Staatsbetrieb Sachsenforst (2013): Richtlinie zu den Waldentwicklungstypen im Staatswald des Freistaates Sachsen / Teil 1
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2013): Waldstrategie 2050 für den Freistaat Sachsen
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2013): Landesentwicklungsplan 2013
- Svenning, J-C. und Skov, F. (2004): Limited filling of the potential range in European tree species, Ecology Letters, Heft 7, S. 565-573
- Thiel, D., Kreyling, J., Backhaus, S., Beierkuhnlein C., Buhk, C., Egen, K., Huber, G., Konnert, M., Nagy, L., Jentsch, A. (2014): Different reactions of central and marginal provenances of *Fagus sylvatica* to experimental drought, European Journal of Forest Research, Heft 2, S. 247-260

Biologische Vielfalt, Naturschutz und Klimawandel

- Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (LANA) (2011): Thesenpapier „Klimawandel und Naturschutz“
- EDOM, F., DITTRICH, I., KEBLER, K., MÜNCH, A. & PETERS, R. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme II. Teilprojekt Erzgebirgsmoore. Abschlussbericht des FuE-Vorhabens im Auftrag des LfULG. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz (siehe auch Schriftenreihe des LfULG, Heft 1/2011)
- EDOM, F., DITTRICH, I., KEBLER, K., MÜNCH, A., PETERS, R., THEUERKAUF, M. & WENDEL, D. (2011): Klimatische Stabilität von Mittelgebirgsmooren. Schriftenreihe des LfULG, Heft 1/2011
- FESKE, N. (2006): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Verbreitung ausgewählter Pflanzenarten in Sachsen. TU Dresden, Lehrstuhl für Landeskultur und Naturschutz, Masterarbeit.
- KEBLER, K., EDOM, F., DITTRICH, I., WENDEL, D. & FEGER, K.-H. (2011): Erstellung eines Fachkonzepts für ein landesweites Informationssystem zur Lage und Verbreitung von Mooren und anderen organischen Nassstandorten (SIMON). Schriftenreihe des LfULG, Heft 14/2011
- OTT, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa – die Folge einer Klimaänderung?. NNA-Berichte 13. Jg. Heft 2/2000: 13–35
- SCHLUMPRECHT, H., FLEMMING, D., SCHNEIDER, P., TUNGER, B. & LÖSER, R. (2005): Folgewirkungen der Klimaänderungen für den Naturschutz – Ausgewählte Ökosysteme und Arten. Büro für ökologische Studien - BFÖS, Chemnitz. Anschlussbericht zum FuE im Auftrag des LfUG
- SCHLUMPRECHT, H., LAUBE, J., SCHNEIDER, P. & LÖSER, R. (2006): Auswirkungen des Klimawandels auf wasserabhängige Ökosysteme I (Wildenhainer Bruch). Abschlussbericht des FuE-Vorhabens im Auftrag des LfULG. Büro für ökologische Studien - BFÖS, Chemnitz. Anschlussbericht zum FuE im Auftrag des LfUG
- WIEMERS, M., MUSCHE, M., STRIESE, M., KÜHN, I., WINTER, M. & DENNER, M. (2013): Naturschutzfachliches Monitoring Klimawandel und Biodiversität: Weiterentwicklung des Monitoringkonzeptes und Auswertung ausgewählter vorhandener Daten. Schriftenreihe des LfULG, Heft 25/2013
- WINTER, M., MUSCHE, M., STRIESE, M. & KÜHN, I. (2013): Naturschutzfachliches Monitoring Klimawandel und Biodiversität, Teil 1: Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität, Ziele und Grundlagen des Monitorings. Schriftenreihe des LfULG, Heft 24/2013

Raumordnung

- Gesetz zur Raumordnung und Landesplanung des Freistaates Sachsen (Landesplanungsgesetz – SächsLPIG) vom 11. Juni 2010 (SächsGVBl. S. 174), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Wiederaufbaubegleitgesetzes vom 02. April 2014 (SächsGVBl. S. 234, 237)
- Landesentwicklungsplan Sachsen (LEP 2013) vom 14. August 2013 (SächsGVBl. S. 582), in Kraft getreten am 31.08.2013
- Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) (2013): Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien im Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StadtUndLand/LaendlicherRaum/mkro-handlungskonzept-klima.pdf?__blob=publicationFile
- Raumordnungsgesetz (ROG) vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585)
- Regionalplan-Entwurf Leipzig-West Sachsen 2017 – Entwurf für das Verfahren nach § 9 ROG i. V. m. § 6 Abs. 1 SächsLPIG (Stand: 29.05.2015)
- Schmidt, C.; Seidel, A.; Kolodziej, J., Klama, K.; Schottke, M.; Friedrich, M.; Berkner, A.; Chmielewski, S.: Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen. TU Dresden im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-West Sachsen (Hrsg.). Dresden/Leipzig, Mai 2011.

**Herausgeber:**

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)
Postfach 10 05 10, 01076 Dresden
Bürgertelefon: +49 351 564-6814
Telefax: +49 351 564-2059
E-Mail: info@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de

Redaktion:

SMUL, Ref. 52 Gebietsbezogener Immissionsschutz, Klimaschutz

Gestaltung und Satz:

Heimrich & Hannot GmbH

Fotos:

www.thinkstock.com: Liane Matrisch (132), i_compass (133), johnnydevil (133), kelifamily (133), Dmitry Chulov (133);
www.123rf.com: Luis Eduardo Varela Solari (41); **www.fotolia.com:** trendobjects (Titel), marcrossmann (Titel), sdecoret (8), Cecilia Lim (39), A_Bruno (97), @nt (100), Soru Epotok (106), gena96 (134); **Einzelnachweise:** SMUL (22, 28, 29, 35); Bernd März – SMUL (Titel, 6, 15, 20, 26, 124, 130); Sven Martens – SMUL (61, 76); LfULG (33, 36, 37, 38, 41, 47, 80, 82, 96, 129,); Johannes Herhold – LfULG (25, 87); Dr. Arnd Bräunig – LfULG (32); Michael Zimmermann – LfULG (44, 51, 53); Jörg Döring – LfULG (46); Bernd Spänhoff – LfULG (98); Michaela Schönherr – LfULG (99); Holger Forberg – LfULG (129); Dr. Erhard Albert (51); Christoph Moormann – LfULG (94); Marco Lorenz (40); SBS (56); Lutz-Florian Otto – SBS (60); Franz Matschulla – SBS (66); Thomas Rother – SBS (79); Wolfgang Riether (58); Raphael Benning (61); Patrick Ribeiro (70); LTV (90, 94, 95); Landratsamt Erzgebirgskreis, Gemeinde Raschau-Markersbach (96); J. Kiebling (102); M. Denner (102); M. Wiemers (107, 108); J. Settele (108), H. Blischke (109); Jürgen von Zitzewitz (113); Jens Stöckel (114, 118, 119, 120); Regionaler Planungsverband Leipzig-West Sachsen (116); Barbara Mayr-Bednarz (119)

Druck:

SDV Direct World GmbH

Redaktionsschluss:

10. November 2015

Auflagenhöhe:

3.000 Exemplare

Papier:

Gedruckt auf 100 % Recycling-Papier

Bezug:

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 2103671
Telefax: +49 351 2103681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

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.

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdruckes von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Diese Broschüre beruht auf Ergebnissen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Vorhabens REGKLAM (Entwicklung und Erprobung eines integrierten regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden). Die hier dargestellten Ergebnisse entstammen dem Modul 3.3 „Landnutzung“. Weitere Ergebnisse finden Sie unter www.regklam.de.