

Die Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

Kurzfassungen der Studien 2009 und 2012



Ergebnisse zu den Untersuchungen der Folgen
des Klimawandels in Sachsen-Anhalt



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Die Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

Kurzfassungen der Studien 2009 und 2012

Berichte zur Untersuchung der Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt
unter fachlicher Begleitung des
Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Berichte des
Landesamtes für Umweltschutz
Sachsen-Anhalt

2013 – Heft 2

In dieser Schriftenreihe erscheinen folgende Bände mit den Ergebnissen der beiden Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt:


Die Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt Kurzfassungen der Studien 2009 und 2012	Heft 2/ 2013
Vulnerabilitätsstudie 2009 Bericht	Heft 3/ 2013 (Band 1)
Vulnerabilitätsstudie 2009 Anhang	Heft 3/ 2013 (Band 2)
Klimafolgenstudie 2012: Klimadiagnose und Klimaprojektion, Extremereignisse	Heft 4/ 2013
Klimafolgenstudie 2012: Wasser Bericht	Heft 5/ 2013 (Band 1)
Klimafolgenstudie 2012: Wasser Folgeuntersuchungen	Heft 5/ 2013 (Band 2)
Klimafolgenstudie 2012: Naturschutz	Heft 6/ 2013
Klimafolgenstudie 2012: Landwirtschaft	Heft 7/ 2013
Klimafolgenstudie 2012: Forstwirtschaft	Heft 8/ 2013
Klimafolgenstudie 2012: Anpassungsmaßnahmen	Heft 9/ 2013



Vorwort

Die Anpassung an den Klimawandel ist neben dem Klimaschutz die zweite Säule der Klimapolitik in Sachsen-Anhalt. Nach Einschätzung der großen Mehrheit von Wissenschaft und Politik ist der Klimawandel trotz aller Bemühungen um den Klimaschutz nicht aufzuhalten. Das belegen auch die in zwei Studien erhobenen Daten und Szenarien für Sachsen-Anhalt. Das Klima in unserem Bundesland wird sich voraussichtlich regional in unterschiedlicher Weise ändern. Folglich müssen auch die Auswirkungen auf verschiedene Landesteile und Sektoren differenziert betrachtet werden. Nur ein überlegtes Handeln in Gegenwart und Zukunft erspart vermeidbare, durch den Klimawandel verursachte Kosten. Deshalb wurde im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 2009 eine Studie zum Klimawandel in Sachsen-Anhalt und der Verletzlichkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels (**Vulnerabilitätsstudie**) durchgeführt. 2012 wurden in einer weiteren Studie (**Klimafolgenstudie 2012**) die Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse, mit einem besonderen Fokus auf Extremereignisse, fortgeschrieben. Die Ergebnisse beider Studien sollen nun für die breite Öffentlichkeit zugänglich gemacht und deshalb in dieser Schriftenreihe publiziert werden.

Halle, 01.03.2013



Klaus Rehda
Präsident

Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Vulnerabilitätsstudie 2009

Teil 2: Klimafolgenstudie 2012

- Klima und Extreme, Wasser und Naturschutz

Teil 3: Klimafolgenstudie 2012

- Landwirtschaft

Teil 4: Klimafolgenstudie 2012

- Forstwirtschaft

Teil 5: Klimafolgenstudie 2012

- Anpassungsmaßnahmen

Teil 1

Teil 2

Teil 3

Teil 4

Teil 5

Teil 1

Vulnerabilitätsstudie 2009

Autoren:

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

J. Kropp, O. Roithmeier, F. Hattermann, C. Rachimow, A. Lüttger,
F. Wechsung, P. Lasch, E.S. Christiansen, C. Reyer, F. Suckow,
M. Gutsch, A. Holsten, T. Kartschall, M. Wodinski, Y. Hauf, T. Conradt,
H. Österle, C. Walther, T. Lissner, N. Lux, V. Tekken, S. Ritchie,
J. Kossak, M. Klaus, L. Costa, T. Vetter, M. Klose



POTSDAM-INSTITUT FÜR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

Klimawandel in Sachsen-Anhalt

Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels



Zusammenfassung

Studie im Auftrag des MLU



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Landwirtschaft und Umwelt

Begleitet durch das LAU

SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Durchführende Institution: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Telegraphenberg A31, 14473 Potsdam

Projektleitung: J. Kropp

Koordination: O. Roithmeier

30. November 2009

Autoren: Kropp J., Roithmeier O., Hattermann F., Rachimow C., Lüttger A., Wechsung F., Lasch P., Christiansen E.S., Reyer C., Suckow F., Gutsch M., Holsten A., Kartschall T., Wodinski M., Hauf Y., Conradt T., Österle H., Walther C., Lissner T., Lux N., Tekken V., Ritchie S., Kossak J., Klaus M., Costa L., Vetter, T., Klose M.

Bildnachweis: Deckblatt 1,3 www.pixelio.de, 2 J. Kropp, Seite 8: Zebisch/PIK, Seite 9: OakChain, Seite 12 www.pixelio.de, Seite 15 Kropp

1. Einleitung

Klimawandel ist ein globales Phänomen mit äußerst komplexen und unterschiedlichen Ausprägungen auf regionaler und/oder lokaler Ebene. Nach momentanem Kenntnisstand ist es zudem wahrscheinlich, dass sich die Geschwindigkeit der Veränderungen noch beschleunigen wird (IPCC 2007). Es müssen daher weitere Anstrengungen und Strategien zur Reduktion von Treibhausgasen unternommen werden. Gleichzeitig ist es notwendig, die gesellschaftliche Lebenswelt an die bereits jetzt unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anzupassen und in eine nachhaltige Zukunft zu führen. Die vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt initiierte Studie „Klimawandel in Sachsen-Anhalt – Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels“¹ ist bestrebt, die Wissensbasis hinsichtlich der Verletzlichkeiten spezifischer Sektoren in Sachsen-Anhalt gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verbreitern.

Es werden insgesamt drei Zukunftsszenarien für die Menschheitsentwicklung in den nächsten 100 Jahren berücksichtigt, für die mit Hilfe von drei unterschiedlichen regionalen Klimamodellen kleinräumige Klimaänderungsszenarien für Sachsen-Anhalt berechnet wurden. Solche Projektionen sind mit Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten bestehen nicht nur für die hier verwendeten Modelle, da diese die Realität immer nur vereinfacht abbilden, sondern in erheblichem Maß auch dadurch, dass langfristige Vorhersagen über die gesellschaftlichen Entwicklungen sehr schwierig sind.

Risikoreiche Regionen identifizieren und vergleichen

Ziel der vorliegenden Analyse ist es, besonders risikoreiche Regionen und/oder Sektoren zu identifizieren und zugleich eine räumliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Insgesamt wurden hierfür die Bereiche Wasser, Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Weinbau, Boden, Naturschutz und Phänologie näher untersucht. Die Studie folgt insgesamt einem hierarchischen Schema: Ausgehend von Emissionsszenarien für die Zukunft und daraus berechneten globalen Klimaänderungsszenarien, erfolgt ein Herunterskalieren anhand regionaler Klimamodelle. Die auf diesen Klimamodellen basierenden regionalen Projektionen werden schließlich für die Wirkungsanalysen der ausgewählten Sektoren verwendet.

Die Grundlage bilden zwei unterschiedliche regionale Klimamodelle: Das statistische Modell WETTREG (CEC, Potsdam) und das dynamische Modell REMO (MPI, Hamburg). Als Randbedingung werden für drei Emissionsszenarien (A2, A1B, B1; SRES-Szenarien des Weltklimarates) die Simulationen eines vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg betriebenen globalen Zirkulationsmodells verwendet. Für einige Analysen wurde zusätzlich das statistische Modell STAR II (PIK, Potsdam) unter Szenario A1B herangezogen. Die simulierten Klimadaten und Ergebnisse wurden für den vergangenen Zeitraum 1961-1990 sowie für die zukünftigen Perioden 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 ausgewertet und interpretiert. Der Vergleich der beobachteten Klimadaten mit den Daten nach den Modellen WETTREG und REMO für den Zeitraum 1961-1990 zeigt, dass die WETTREG-Daten etwas zu kühl ($-0,1^{\circ}\text{C}$ in der Jahresmitteltemperatur) und zu feucht ($+26\text{mm}$ im Jahresniederschlag) sind. Die REMO-Daten weichen mit $+0,3^{\circ}\text{C}$ und $+115\text{mm}$ deutlich stärker von den gemessenen Daten ab als die WETTREG-Daten.

¹ Der ausführliche Bericht ist unter www.klimawandel.sachsen-anhalt.de und www.pik-potsdam.de/nsp zu finden.

Zukunftsszenarien als Grundlage der Klimamodelle

Das Emissionsszenario A2 ist durch eine sich sehr heterogen entwickelnde Welt mit einer kontinuierlich anwachsenden Bevölkerung charakterisiert. Mit diesem Szenario ist am Ende dieses Jahrhunderts annähernd eine Verdreifachung der atmosphärischen Konzentration von CO₂-Äquivalenten² zu vorindustriellen Werten verbunden.

Das Szenario A1B hingegen geht von einer homogenen Welt mit raschem Wirtschaftswachstum, einer in der Mitte des Jahrhunderts den Höchststand erreichenden Weltbevölkerung und schneller Einführung neuer und effizienter Technologien mit einer ausgewogenen Nutzung aller Energiequellen aus. Dies führt zu einer Konzentration der CO₂-Äquivalente von rund 850 ppm zum Ende des Jahrhunderts.

Das Szenario B1 als optimistisches Szenario beschreibt eine konvergente Welt mit einer schnellen Einführung ressourceneffizienter Technologien sowie einer Bevölkerung von rund 7 Milliarden im Jahr 2100. Dieses Szenario unterstellt eine Stabilisierung der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf ca. 450 ppm im Jahr 2050 und erfüllt damit in etwa das politisch anvisierte Ziel, den Klimawandel auf eine Temperaturerhöhung von global 2°C zu begrenzen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Klimawandel beschleunigt, lässt sich auch aus den momentanen Emissionen ableiten, die in den letzten Jahren (mit Ausnahme des Jahres 2009) oberhalb des vom Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) definierten „Worst-Case-Szenarios“ (A1FI) lagen (Abb. 1).

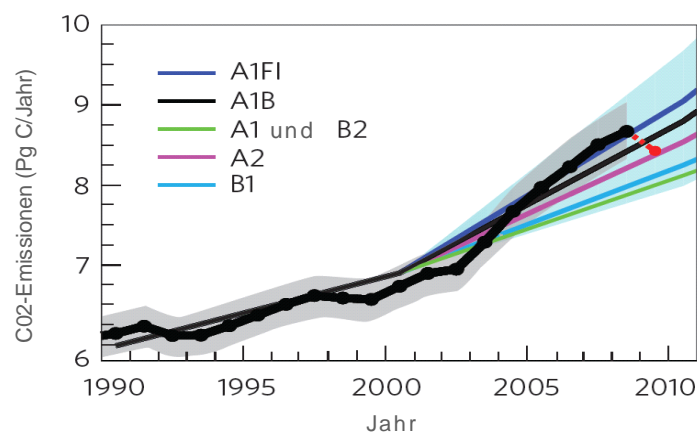


Abb. 1: Vergleich aktueller Kohlenstoffdioxid(CO₂)-Emissionen (schwarze Punkte) mit sechs IPCC-Szenarien (farbige Linien) und geschätzte Emissionen für das Jahr 2009 (rot) (Le Quéré et al. 2009) (1Petagramm (Pg)= 10⁹ Tonnen)

Das Klima Sachsen-Anhalts

Das insgesamt von trockenen Sommern und kalten Wintern geprägte Klima in Sachsen-Anhalt ist in der Vergangenheit durch eine Jahresmitteltemperatur von ca. 8,6 °C und einem Jahresniederschlag von rund 550 mm charakterisiert. Bereits heute weisen einige Teile des Landes eine negative klimatische Wasserbilanz (KWB) im Jahresmittel auf. Demnach reicht das den Pflanzen zur Verfügung stehende Wasser nicht aus, um sie während der gesamten Wachstumsphase zu versorgen.

Auch konnte man in der Vergangenheit bereits klimatische Veränderungen beobachten: So sind ohnehin von Trockenheit betroffene Gebiete in den letzten Jahrzehnten zunehmend trockener geworden, während feuchtere Regionen, wie der Harz, Niederschlagszu-

² Kohlenstoffdioxid-Äquivalente berücksichtigen auch die Klimawirksamkeit anderer Treibhausgase wie z.B. Methan.

nahmen verzeichnen (Bernhofer et al. 2008). Generell war im selben Zeitraum eine Umverteilung der Niederschläge vom Sommer hin zum Winter festzustellen. Die Jahresmitteltemperatur ist in Sachsen-Anhalt bereits großflächig um 0,5-1,5 °C gestiegen, mit der stärksten Erwärmung in den Wintermonaten.

Ansteigende Temperaturen vor allem im Winter

Die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle deuten darauf hin, dass die Niederschläge in Zukunft geringer werden und damit die Trockenheit zunehmen könnte. Die Projektionen der Modelle REMO und WETTREG zeigen, dass die Temperatur in Sachsen-Anhalt um ca. 2,1-3,0 °C (A2), 2,3-3,0 °C (A1B) bzw. 1,8-2,0 °C (B1) bis zum Ende dieses Jahrhunderts ansteigen kann. Die Temperaturunterschiede zwischen den Szenarien und Modellen sind dabei deutlich stärker als innerhalb der Regionen Sachsen-Anhalts. Die Veränderung des Jahresverlaufs der Temperatur ist für beide Modelle unter Szenario A1B in Abb. 2 dargestellt.

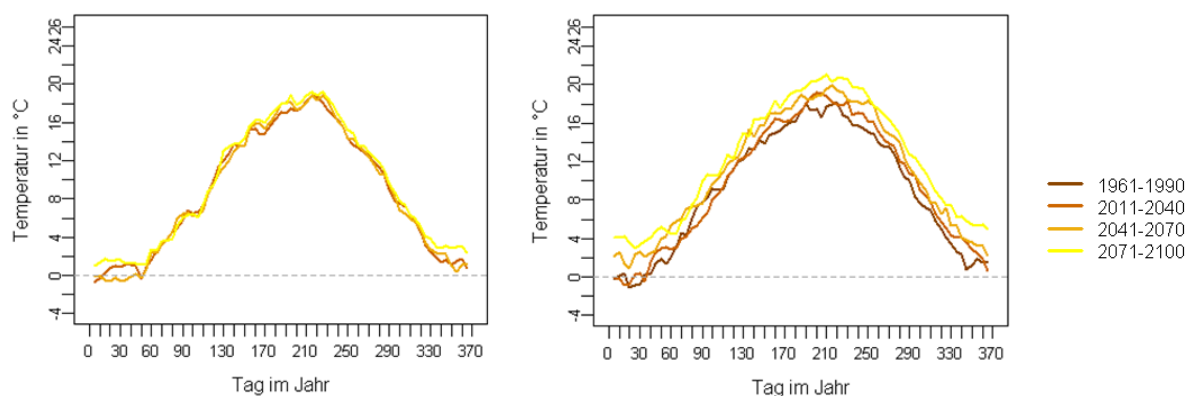


Abb. 2: Jahresverlauf der Tagesmitteltemperatur für das Emissionsszenario A1B in den Zeiträumen 1961-1990, 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 nach den Klimamodellen WETTREG (links) und REMO (rechts)

Für die Entwicklung der Niederschläge zeigen die regionalen Klimamodelle unterschiedliche Ergebnisse: In den durch REMO simulierten Szenarien steigen die Niederschläge entgegen dem bereits im 20. Jahrhundert beobachteten Trend bis zum Ende des Jahrhunderts (+21 mm, A1B), wohingegen sie in den durch WETTREG simulierten Szenarien übereinstimmend mit den Beobachtungsdaten abnehmen (-18 mm, A1B) (Abb. 3).

Weniger Niederschlag im Sommer, mehr im Winter

Insgesamt fallen die durch REMO simulierten klimatischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt deutlich feuchter und wärmer aus als nach dem Modell WETTREG. Beide Klimamodelle schreiben jedoch den beobachteten, generellen Trend zu weniger Niederschlägen im Sommer und steigenden Niederschlägen im Winter fort. Die REMO-Simulationen deuten auf eine leichte Verstärkung des extremen Niederschlagsgeschehens in der Zukunft hin. Allerdings sind Extremereignisse bis heute in Klimamodellen nur unzureichend repräsentiert.

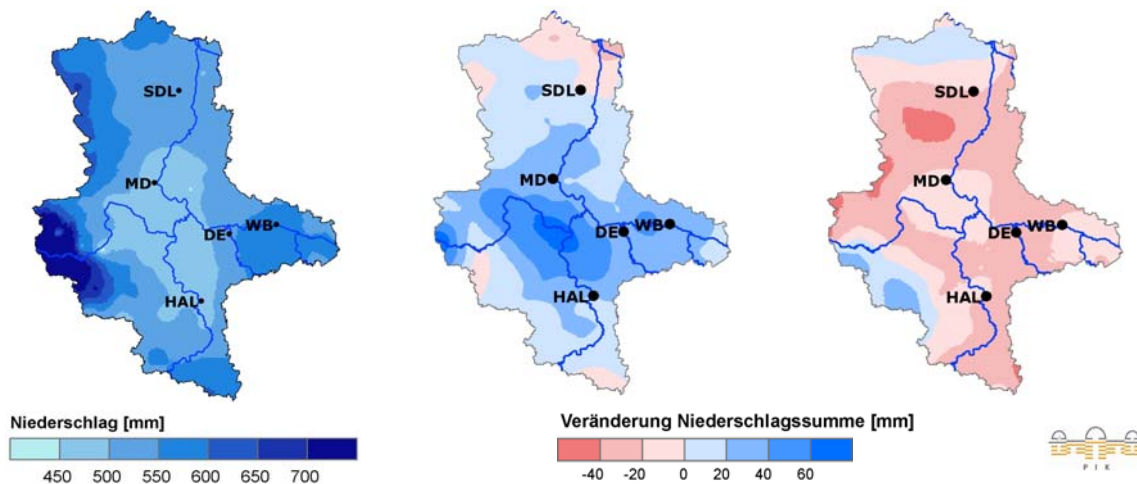


Abb. 3: Jahresniederschlag im Zeitraum 1961-1990 (links) und Veränderung für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 nach den Modellen WETTREG (Mitte) und REMO (rechts) unter Szenario A1B

Neben Temperatur und Niederschlag ist die KWB eine zentrale Kenngröße des Wasserhaushaltes und von hoher Relevanz für verschiedene in der Studie betrachtete Sektoren. Sie ist als Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Verdunstung definiert. Analog zu den erwarteten Veränderungen der Jahresniederschläge und -temperatur sind im Laufe der kommenden Jahrzehnte Veränderungen der KWB zu erwarten. Nach den Projektionen des Modells WETTREG treten die stärksten Rückgänge im Norden des Landes auf, während die Abnahmen im bereits von Wasserstress betroffenen Mitteldeutschen Trockengebiet geringer ausfallen (Abb. 4). Das Modell REMO hingegen geht bis zum Ende des Jahrhunderts von einer deutlich geringeren Verminderung der Wasserverfügbarkeit aus. Die geringsten Änderungen treten im Mitteldeutschen Tiefland auf (Abb. 4).

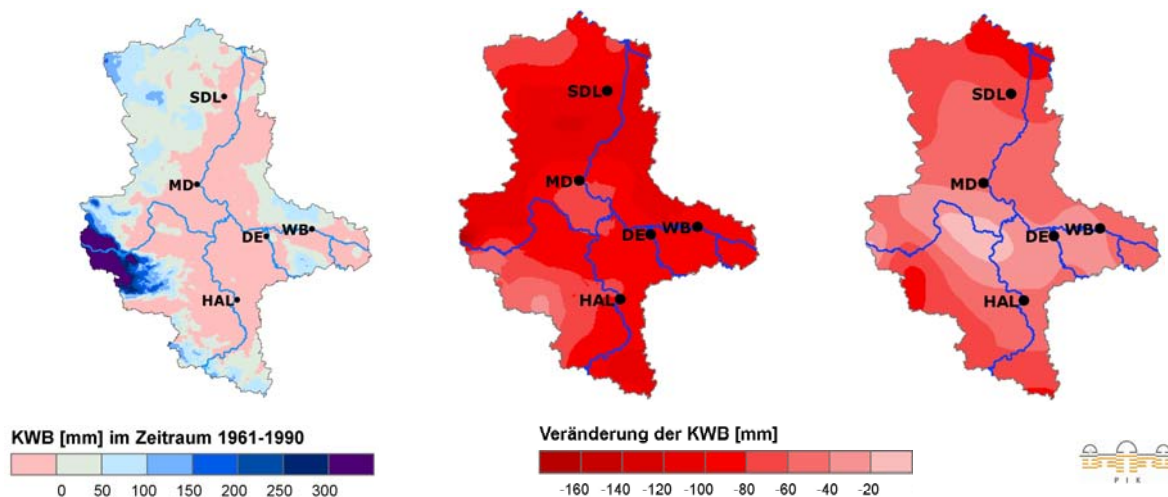


Abb. 4: Klimatische Wasserbilanz (KWB) im Zeitraum 1961-1990 (links) und Veränderung für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 nach den Modellen WETTREG (Mitte) und REMO (rechts) unter Szenario A1B

2. Wasser

Sachsen-Anhalt liegt zum größten Teil im Einzugsgebiet der Elbe, das im Vergleich mit anderen großen europäischen Flusseinzugsgebieten mit nur 700 m³ verfügbarem Wasser pro Kopf und Jahr das zweitniedrigste Wasserdargebot aufweist. Unter dem aktuellen Klimawandel sind bereits Veränderungen bezüglich häufigerer Wassermangelsituationen erkennbar. Beispiele hierfür sind Abflussrückgänge, die besonders im Sommerhalbjahr auftreten, wenn die Wasserführung der Flüsse ohnehin am geringsten ist, und die Verlagerung der Frühjahrshochwässer hin zum Spätwinter. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkungen des Klimawandels mit dem Ziel, zukünftige Entwicklungen des natürlichen Wasserdargebots und der Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwässern für das Land Sachsen-Anhalt abzuschätzen. Dies geschah mittels der Tagesdaten der Klimaszenarien der Modelle WETTREG und REMO, welche als Antrieb des ökohydrologischen Modells SWIM (Krysanova et al. 1998; Hattermann et al. 2005) dienen.

Neben Abflussganglinien liefert SWIM auf der Grundlage von Teileinzugsgebieten, Landnutzungs- und Bodeneinheiten auch Ergebnisse zu den vertikalen Wasserflüssen (z.B. Versickerung) und deren Veränderungen. In Abb. 5 (links) ist die so ermittelte Grundwasserneubildung für die Referenzperiode 1961-1990 (Szenario A1B) dargestellt. In der Vergangenheit erreicht sie lediglich im Harz größere Werte, im Regenschatten des Mittelgebirges liegt sie hingegen nur knapp über Null. In den Auenbereichen der Flüsse, wo die Vegetation direkt in Grundwasser führende Schichten wurzelt, kann sie auch negativ werden.

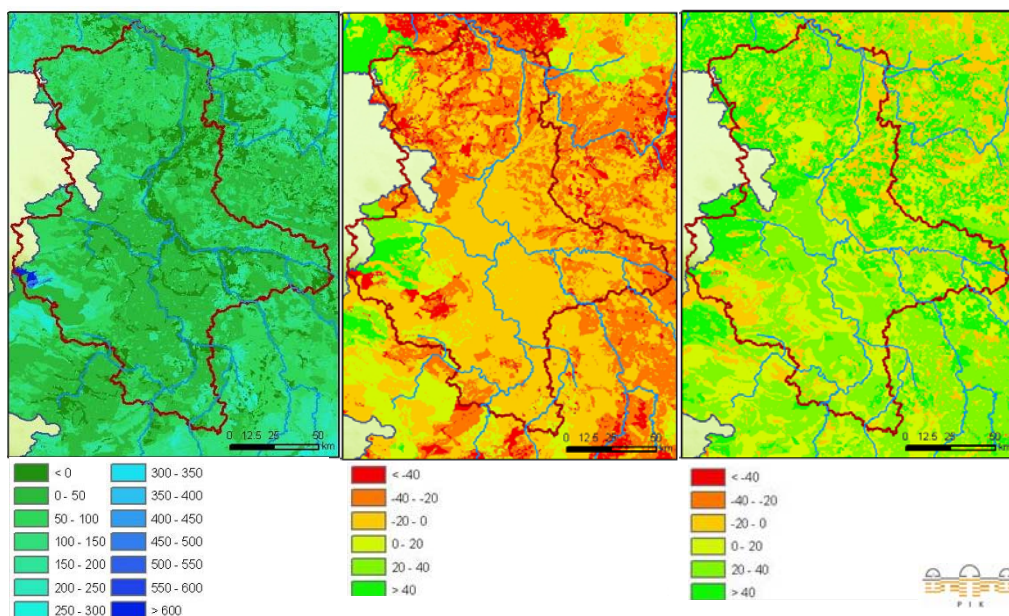


Abb. 5: Simulierte mittlere Grundwasserneubildung [mm/Jahr] im Zeitraum 1961-1990 (links) und deren Veränderung [%] für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 nach dem Modell WETTREG (Mitte) und REMO (rechts) unter dem Szenario A1B

Veränderung der Grundwasserneubildung

Hinsichtlich der Grundwasserneubildung sind in Sachsen-Anhalt überwiegend negative Veränderungen zu erwarten (Abb. 5). So sinkt nach dem Modell WETTREG zum Ende des Jahrhunderts (2071-2100) die Grundwasserneubildung landesweit um zumeist 20 % bis

40 %, ausgenommen im Harz und Regionen der nordwestlichen Altmark, in welchen Zunahmen auftreten. Unter den Annahmen des Modells REMO hingegen sind in weiten Landesteilen Zunahmen von 20 % bis 40 % zu erkennen. Hiervon sind jedoch vor allem Regionen südlich des Harzes mit einer negativen Entwicklung ausgenommen. Die Grundwasserneubildung ist das Restglied der lokalen Wasserbilanz und daher besonders sensitiv gegenüber Änderungen des Niederschlags (Abb. 3) oder der Verdunstung (Abb. 6). So steigt die Grundwasserneubildung nur dort, wo insgesamt mehr Niederschlag fällt, z.B. im Bereich des Harzes (Modell WETTREG, Abb. 6).

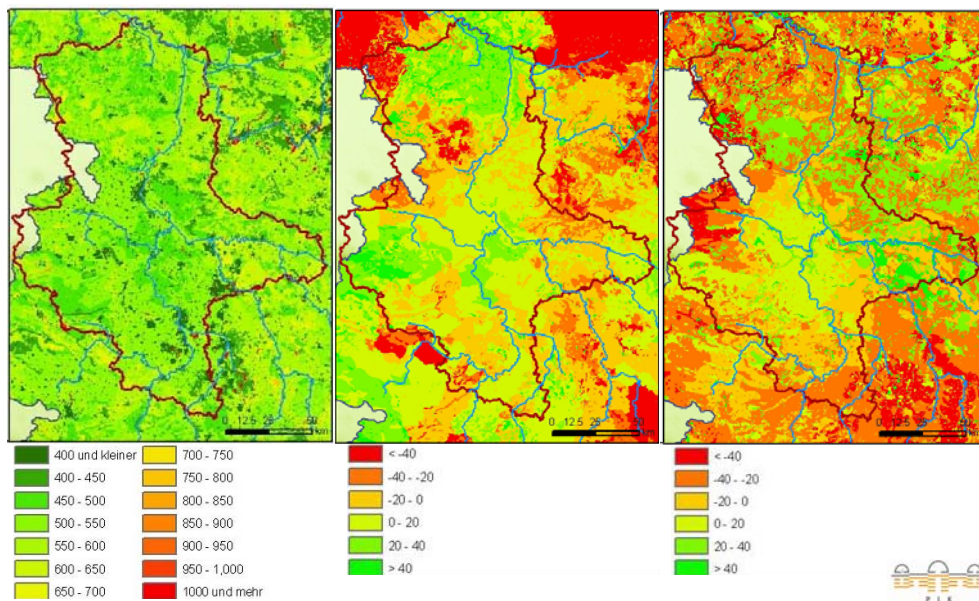


Abb. 6: Simulierte mittlere aktuelle Verdunstung [mm/Jahr] im Zeitraum 1961-1990 (links) und deren Veränderung [%] für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 nach dem Modell WETTREG (Mitte) und REMO (rechts) unter dem Szenario A1B

In Abb. 6 ist die aktuelle reale jährliche Verdunstung in der Vergangenheit (1961-1990) sowie die Veränderung für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 dargestellt. Die Verdunstung lag in der Vergangenheit zwischen 450 und 550mm im Jahr. In der Zukunft sind nach dem Modell WETTREG Abnahmen um 20 % bis über 40 % zu erkennen, beispielsweise im Osten und Nordwesten der Altmark, während im Norden des Landes und im Mittelgebirge Zunahmen auftreten. Nach dem Modell REMO überwiegen in Sachsen-Anhalt in Zukunft negative Verdunstungsraten, Zunahmen treten dennoch kleinräumig auf, beispielsweise in den Landschaften am Südrand des Tieflandes. Abnehmende reale Verdunstung trotz höherer potentieller Verdunstung kann dort vorkommen, wo die Niederschläge insgesamt stärker zurückgehen. Dies führt zu zunehmendem Trockenstress für die Vegetation. Da die Wasserverfügbarkeit in weiten Teilen Sachsens-Anhalts ein wesentlicher begrenzender Faktor für die landwirtschaftlichen Erträge darstellt, ist ein Rückgang hier wahrscheinlich.

Abflussentwicklung in den Flüssen

In Abb. 7 ist der Haupttrend der Abflussentwicklungen am Beispiel der Abflussganglinien der Saale illustriert. Unter den WETTREG-Szenariobedingungen treten Frühjahrshochwässer früher auf und abgesehen vom Winter verringern sich die Abflüsse. Die Niederschläge erhöhen sich zwar noch leicht im Winter, aber der Anstieg der Verdunstung ist stärker.



Diese Verschiebungen treten im gesamten Land auf; allein im Westen (Harz und Wesereinzugsgebiet) sind die Abflussrückgänge etwas geringer. Mit REMO ergeben sich deutlich steigende Niederschläge. Dies führt zu einem, trotz zunehmender Verdunstung, Zuwachs der Abflusssimulation, welcher sich auf den Winter konzentriert. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die WETTREG-Ergebnisse durch die bisher beobachteten Trends sowie die

Szenarienergebnisse des GLOWA-Elbe-Projekts (Wechsung et al. 2008) gestützt werden, die Ergebnisse des Modells REMO nicht.

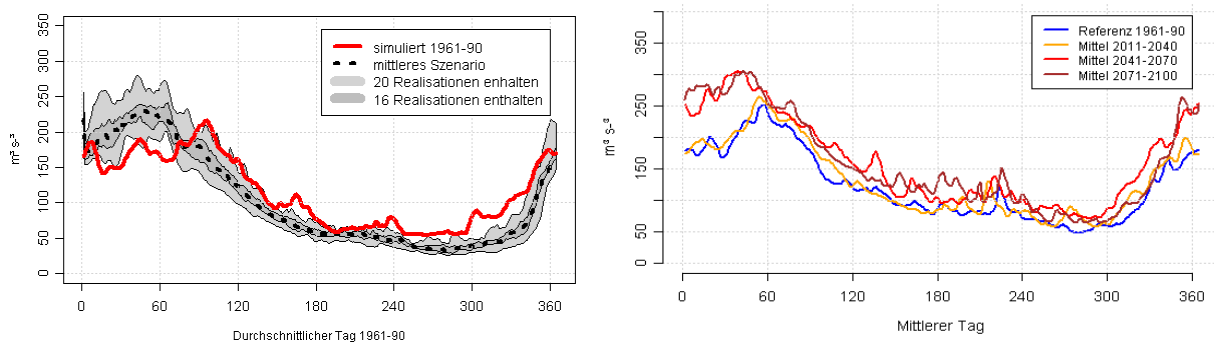


Abb. 7: Änderungen der durch das Modell SWIM simulierten, mittleren täglichen Abflüsse der Saale im Jahresverlauf am Pegel Calbe unter Szenario A1B

links: Vergleich der mittleren simulierten Abflüsse des Zeitraums 1961-1990 mit 2071-2100 (20 Realisationen des Modells WETTREG), rechts: Vergleich aller vier Untersuchungszeiträume (nur 1 Realisation des Modell REMO verfügbar)

Die Entwicklung der Hochwasserereignisse ist unsicher. Nach den WETTREG-Ergebnissen gibt es bei kleinen und mittleren Hochwässern nur geringe Verschiebungen, während die Wahrscheinlichkeitsverteilung der extremen Hochwässer zu kleineren Wiederkehrintervallen hin tendiert, dies allerdings bei ebenfalls extremer Unsicherheit. Trotzdem zeichnen sich einige robuste Trends ab, insbesondere die sommerliche Trockenheitsproblematik im Windschatten der Mittelgebirge sowie das im Jahreslauf frühere und gegebenenfalls häufigere Auftreten von Hochwasserspitzen. Hochwasserschutz und Vorsorgemaßnahmen für Trockenperioden sollten daher kombiniert werden. Mögliche Handlungsoptionen sind:

- Veränderte Talsperrensteuerungen, die dem Hochwasserschutz und der Wassermangelvorsorge gerecht werden
- Vergrößerung von Wasserrückhalteräumen durch beispielsweise Renaturierungen natürlicher Auenlandschaften und die Reaktivierung ehemaliger Stauwerke
- Förderung der Grundwasserneubildung durch Entsiegelung, Freigabe von Versickerungsflächen und Veränderung der Landnutzung (z.B. Waldumbau)
- Hochwasserschutzmaßnahmen mit Risikozuschlag nach dem Beispiel Bayerns, wo 15 % „Klimazuschlag“ auf die Bemessungshochwässer addiert wird.

3. Forstwirtschaft

Die Folgen des zu erwartenden Klimawandels für die Wälder in Sachsen-Anhalt wurden anhand charakteristischer Größen des Wachstums und des Stoffhaushalts von Waldbeständen für die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche untersucht. Dazu wurde das prozessbasierte Waldwachstumsmodell 4C („**FORESEE** – **FORESt** Ecosystems in a changing Environment“) eingesetzt (Lasch et al. 2005). Mit diesem Modell wurden an zwei Level-II-Dauerbeobachtungsflächen (ICP Forests) und 62 Standorten der „Ökologischen Waldzustandskontrolle“ (ÖWK) in Sachsen-Anhalt Analysen der Produktivität, des laufenden jährlichen Stammholzzuwachses, der Kohlenstoffspeicherung, des Wasserhaushalts und der klimatischen Waldbrandgefahr durchgeführt.

Produktivität der Wälder hängt stark vom Wuchsgebiet und Artenspektrum ab

Die Nettoprimärproduktion und die relative Änderung des Stammholzzuwachses zeigen ähnliche Tendenzen (für den Stammholzzuwachs dargestellt in Tab. 1). Die Wuchsgebiete im Norden und (Süd-)Osten mit dominierenden Kiefern- und Eichenbeständen zeigen eine Produktivitätssteigerung, die allerdings im Zeitraum 2071-2100 für die meisten REMO-Szenarien und das A2-WETTREG-Szenario wieder zurückgeht. Zwei im Süden betrachtete Fichtenbestände reagieren mit geringfügigen Produktivitätssteigerungen bzw. Rückgängen im Zeitraum 2071-2100 unter dem Szenario A2 (REMO und WETTREG). In den Wuchsgebieten der Harzregion (auch Harzvorland) sind Fichte, Kiefer und Eiche ebenfalls meist produktionsstärker und erst am Ende des Jahrhunderts (2071-2100) wieder unproduktiver. Die Buche zeigt hier allerdings ein breites Spektrum an Reaktionen, von höherer Produktivität an den niederschlagsreicheren Standorten bis hin zu deutlichen und kontinuierlichen Produktivitätsrückgängen an den niederschlagsärmeren Standorten.



Die Kohlenstoffspeicherung ist in der Zukunft (Zeiträume 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100) im Vergleich zur Vergangenheit (1961-1990) vor allem in den Regionen höher, in denen für Fichte und Kiefer deutliche Produktivitätssteigerungen simuliert werden, d.h. in den Wuchsgebieten des Harzes (Fichte) und in den Wuchsgebieten im Norden und Osten (Kiefer) des Landes (Abb. 8). Für einige Buchenbestände nehmen die Kohlenstoffvorräte insbesondere unter REMO-Szenarien ab. Die betrachteten vier Eichenbestände zeigen mehr oder weniger deutliche Erhöhungen der Kohlenstoffvorräte für WETTREG und zum Teil leichte Rückgänge unter REMO (z.B. für den Zeitraum 2011-2040).

Tab. 1: Qualitative Bewertung der Änderungen des Stammholzzuwachses der vier betrachteten Baumarten unter den Klimaszenarien A2, A1B und B1

Wuchsgebiet	WETTREG			REMO		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
<i>Kiefer</i>						
Westprignitz-Altmarkisches Altmoränenland	+/-	++	+/-	+/-	++	+/-
Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland	+/-	++	++	+/-	++	+/-
Düben-Niederlausitzer Altmoränenland, Harz, Nordöstliche Harzvorländer, Nordwestliches Harzvorland	+/-	++	++	+/-	++	+/-
Hoher Fläming, Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	+/-	+/o	+/o	+/-	++	+/-
<i>Fichte</i>						
Harz	+/-	+/-	+/-	++	++	++
Nordthüringisches Trias-Hügelland, Nordwestliches Harzvorland, Sächsisch-Thüringisches Löß-Hügelland	+/-	o	o	+/-	+/o	+/o
<i>Eiche*</i>						
Westprignitz-Altmarkisches Altmoränenland	+/-	++	++	o	o	o
Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	+/-	++	++	+/o	o	o
Nordöstliche Harzvorländer	+/-	++	++	+/o	+/o	+/o
Harz	+/-	o	o	-/o	-/o	+/o
<i>Buche*</i>						
Westprignitz-Altmarkisches Altmoränenland	+/-	++	++	+/o	+/o	+/o
Nordöstliche Harzvorländer	+/-	+/-	+/-	--	--	--
Mittleres Unterharz-Plateau**	+/-	++	++	++	++	++
Östlicher Unterharz**	--	--	-/+	--	--	--
Ostharzer Abdachung**	o	+/-	+/o	+/-	+/-	++
Südharz**	--		-/+	+/-	--	+/-

++ = eindeutiger Anstieg

+/- = genereller Anstieg mit Reduktionen (einzelner) Wuchsbezirke in einer oder mehreren Perioden

o = keine klare Reaktion

-/+ = generelle Reduktion mit Anstieg (einzelner) Wuchsbezirke in einer oder mehreren Perioden

-- = eindeutige Reduktion

+/o = genereller Anstieg mit einzelnen Wuchsbezirken ohne eindeutige Reaktion

-/o = generelle Reduktion mit einzelnen Wuchsbezirken ohne eindeutige Reaktion

* = Einzelbestände

** = Wuchsbezirke

Der Einfluss der angenommenen Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt der Waldbestände, beschrieben durch die Versickerungsraten, zeigt sich regional differenziert und stark abhängig von den Niederschlagsverhältnissen (Abb. 8). Für das Klimamodell WETTREG kommt es unter allen Szenarien und in allen Perioden zu Rückgängen der Versickerung, insbesondere aber in den Wuchsgebieten im Norden und (Süd-)Osten Sachsen-Anhalts, die von Kiefernbeständen dominiert sind. Für die niederschlagsreicheren REMO-Szenarien sind die Rückgänge in der Versickerung wesentlich geringer. Anstiege in den Versickerungsraten sind möglich, wenn in Szenarien und/oder Perioden die Niederschläge in einem größeren Maße zunehmen als die Evapotranspiration durch höhere Temperaturen.

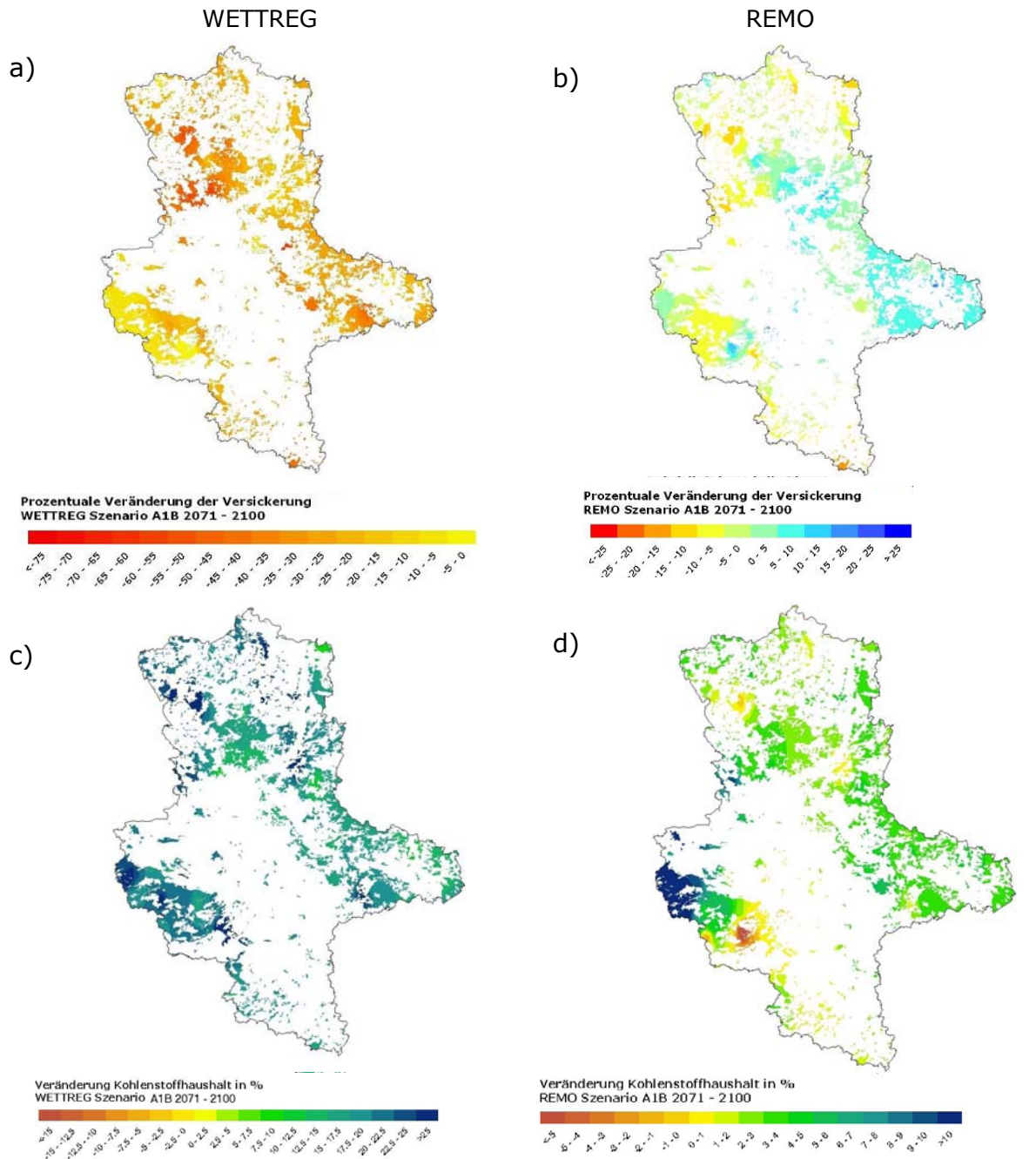


Abb. 8: Prozentuale Veränderung der Versickerung nach den Modellen WETTREG (a) und REMO (b) sowie prozentuale Veränderung der Gesamtkohlenstoffspeicherung nach den Modellen WETTREG (c) und REMO (d) als Vergleich des Zeitraums 2071-2100 gegenüber 1961-1990, Szenario A1B

Die klimatische Waldbrandgefahr wird sowohl von den regionalen Niederschlags- als auch Temperaturverhältnissen, vor allem aber vom Auftreten lang anhaltender Trockenperioden im Frühjahr und Sommer, bestimmt. Es zeigen sich vor allem für die WETTREG-Szenarien steigende Risiken für die Regionen Altmark und Fläming, die von einer Abnahme der Sommerniederschläge verbunden mit höheren Temperaturen betroffen sind. Für die REMO-Szenarien fallen die Risiken der klimatischen Waldbrandgefährdung wesentlich geringer aus, nur im Fläming und Teilen des forstlichen Wuchsgebietes Mittleres nordost-

deutsches Altmoränenland wird ein leichter Anstieg in der klimatischen Waldbrandgefahr simuliert.

Anpassungsmaßnahmen müssen lokale Gegebenheiten berücksichtigen und im Rahmen der nachhaltigen Waldbewirtschaftung durchgeführt werden. Aufgrund der Unsicherheiten über die lokal vorherrschenden Klimawirkungen und deren Zusammenwirken, erscheint es daher sinnvoll, auf ein Portfolio an Maßnahmen zurückzugreifen (Seppälä et al. 2009). Eine Strategie der Risikodiversifizierung ist auch unter Berücksichtigung offener Forschungsfragen zu empfehlen. Diese betreffen vor allem biotische und abiotische Extremereignisse sowie unklare ökophysiologische Mechanismen wie z. B. die Wirkung steigender atmosphärischer CO₂-Konzentration auf Pflanzen.

4. Landwirtschaft

In Sachsen-Anhalt werden ca. 60% der Flächen landwirtschaftlich genutzt. Ansteigende Temperaturen unter dem Einfluss des Klimawandels führen zu einer Erhöhung der potenziellen Verdunstung. In Kombination mit möglichen Niederschlagsrückgängen (Abb. 3) und der in einigen Regionen negativen Entwicklung in der Wasserbilanz kann die Ertragsfähigkeit sowohl der Sommer- als auch der Winterkulturen auf Ackerstandorten negativ durch den Klimawandel beeinflusst werden. Im vorliegenden Bericht wurde daher der Einfluss des Klimawandels bezüglich der klimatischen Ertragspotenziale der Ackerstandorte unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien am Beispiel der Kulturen Winterweizen, Winterraps und Silomais untersucht. Auch der möglicherweise kompensierend wirkende Einfluss des Anstiegs der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf die Erträge wurde betrachtet.



Für die Vergangenheit sind Ertragszunahmen für Winterweizen, Winterraps und Silomais in Sachsen-Anhalt festzustellen (Abb. 9), für die unter anderem Entwicklungen in der Züchtung wesentlich waren. Um die Effekte des zukünftigen Klimawandels abzuschätzen, wurden statistische Modelle verwendet, die an Praxisdaten der Vergangenheit kalibriert wurden (statistische Mitteilungen zu den landwirtschaftlichen Erträgen in

den Landkreisen seit 1952; meteorologische Reihen für das Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes). Die Abschätzung wurde für das Bundesland sowie für vier Unterregionen (s. Boden-Klima-Räume, Abb. 10) vorgenommen.

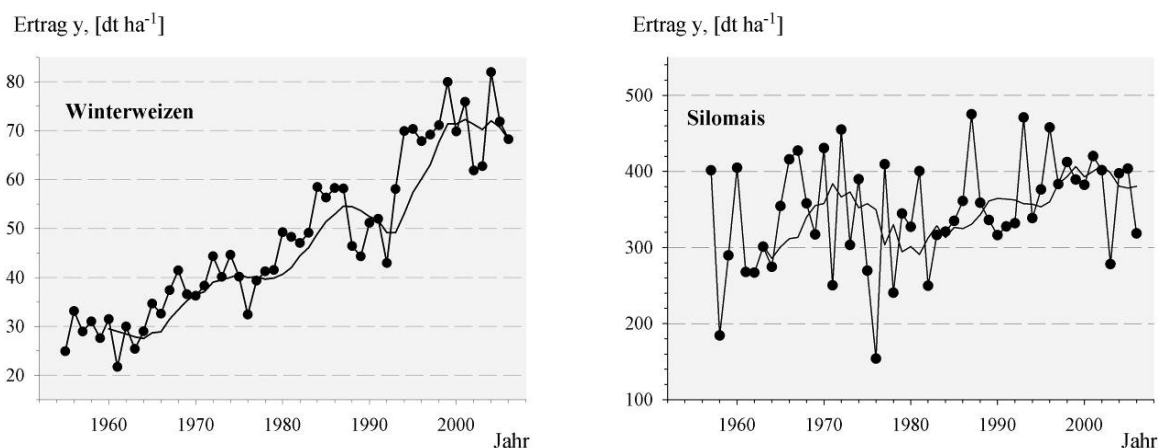
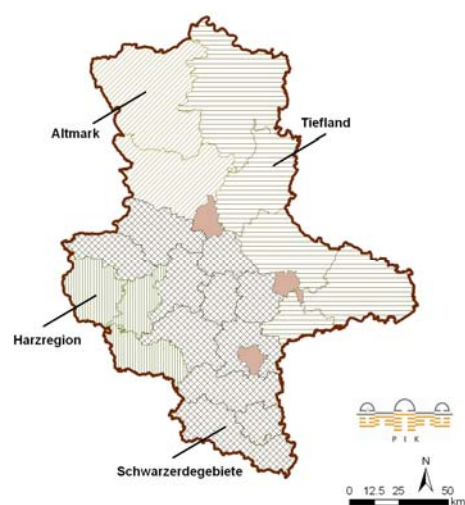


Abb. 9: Entwicklung der Erträge für Winterweizen (links) und Silomais (rechts) (Verlaufslinien und gleitende 7-Jahresmittel) in der Vergangenheit im Landesmittel in Sachsen-Anhalt

Der Klimawandel führt in den betrachteten Szenarien nicht zu deutlichen Änderungen in den simulierten mittleren klimatischen Erträgen für Silomais und Winterweizen. Wenn Ertragsrückgänge auftreten, dürften diese durch den CO₂-Düngungseffekt weitgehend kompensiert werden. Die relative Wirksamkeit des Effektes ist unter Wasserstress größer als unter Bedingungen ausreichender Wasserverfügbarkeit. Die für die einzelnen Regionen erhaltenen Ergebnisse deuten auf Ertragsvorteile unter Klimawandel für die Schwarzerderegion und mit Abstrichen für die Altmark hin.



BKR	Kultur	WETTREG	REMO
Altmark	WW	4	10
	SM	-17	18
Tiefland	WW	-5	19
	SM	-27	-20
Schwarzerde	WW		
	SM	-8	38
Harz	WW		
	SM	-25	-45
Sachsen-Anhalt	WW	-7	1
	SM	-6	14

Abb. 10: Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in Boden-Klima-Räume (BKR) (links) sowie (rechts) simulierte Ertragsänderungen (ohne CO₂-Düngungseffekt, Emissionsszenario A1B, 2071-2100/ 1961-1990) für Winterweizen (WW) und Silomais (SM) in den BKR und Sachsen-Anhalt (leere Zellen: keine valide Modellabschätzung möglich)

Der Düngungseffekt, durch den Anstieg des Kohlenstoffdioxid-Gehalts der Atmosphäre, für die Sicherung eines stabilen Ertragsniveaus kann nur bei ausreichender Stickstoffversorgung der Pflanzen voll zum Tragen kommen. Eine höhere Stickstoffeffizienz als ein Zuchtziel stellt aus dieser Sicht eine wichtige Anpassungsmaßnahme dar, da davon auszugehen ist, dass der Einsatz von Stickstoffdünger sich in den nächsten Jahren nicht zuletzt aus Klimaschutzgründen erheblich verteuern wird.

Spezifische neue Anpassungserfordernisse, die über die in der landwirtschaftlichen Praxis im Land bekannten Probleme unter Klimawandel hinausgehen, werden nicht gesehen. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass die bereits etablierten Dauer- und Sortenversuche des Landes und der Praxis sowie das wetterbezogene Monitoring von Wachstumsverläufen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in den nächsten Jahren erheblich an Bedeutung gewinnen werden. Sie können helfen, Klimaeffekte frühzeitig zu identifizieren und Anpassungsstrategien zu bewerten.

5. Weinbau

Das Weinbaugebiet Saale-Unstrut gehört mit etwa 676 ha Gesamtfläche zu den kleinen Anbaugebieten Deutschlands. Die Weingüter konzentrieren sich im äußersten Süden Sachsens-Anhalts überwiegend an den Hängen der Flusstäler von Saale und Unstrut (Abb. 11). Zum überwiegenden Teil werden Weißweinsorten (Müller-Thurgau, Weißburgunder, Grüner Silvaner und Riesling) angebaut. Die wichtigsten Erzeuger sind die Winzervereinigung Freyburg eG und das Landesweingut Kloster Pforta GmbH.

Die Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf das Weinbaugebiet Saale-Unstrut erfolgt auf drei Ebenen:

- summarische Bewertung der möglichen Änderung der thermischen Anbaubedingungen mit Hilfe des Huglin-Index (Abb. 11)
- Abschätzung der Veränderung der phänologischen Phasen der Rebe vom Austrieb, Blühbeginn, Blühende, Reifebeginn bis zur Lesereife
- Bewertung von weinbaulich relevanten Kenngrößen in den (veränderten) phänologischen Phasen

Die eingeschränkte Datenlage für Bad Kösen, das Fehlen von phänologischen Beobachtungsdaten und die benötigten Eingangsgrößen für die Beschreibung der Phänologie ließ diese Auswertungen ansatzweise nur für die im Unstruttal nächstgelegene Hauptstation Artern unter Nutzung der Daten des regionalen Klimamodells STAR II zu. Die Ergebnisse sind bei Beschränkung auf thermische und Strahlungsverhältnisse auf Bad Kösen übertragbar. Bei komplexeren Fragestellungen, wie die Beurteilung der Feuchteverhältnisse ab Blühende und das Fäulnisrisiko in der Reifephase ist dies nicht möglich.

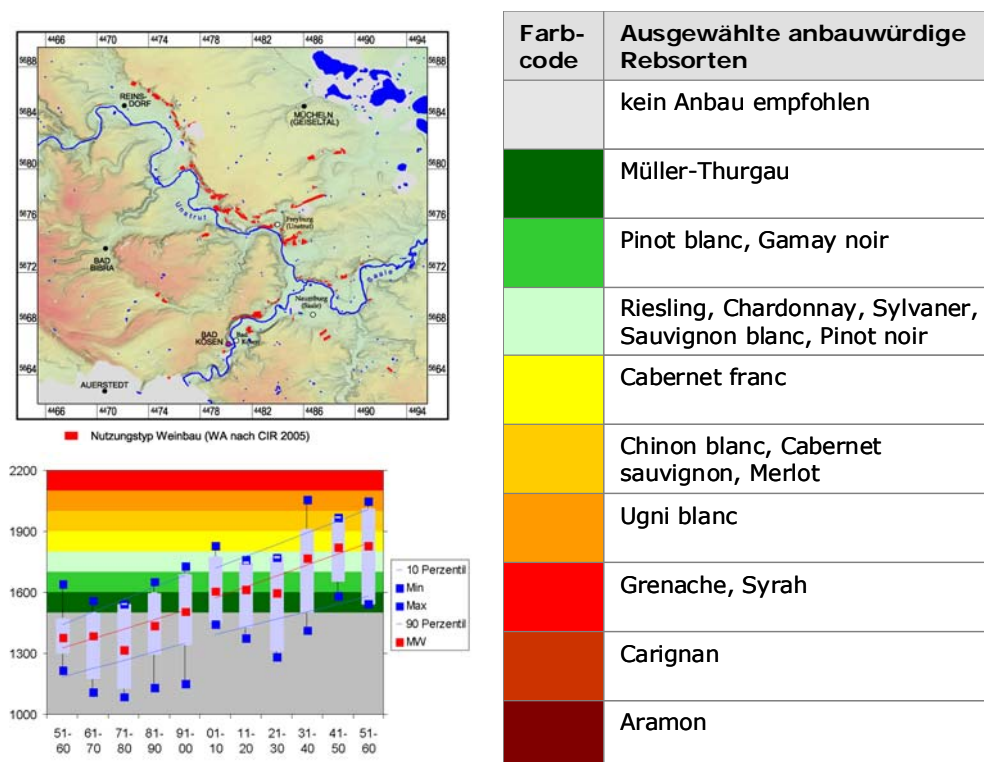


Abb. 11: Das Weinbaugebiet in Sachsen-Anhalt (oben links), die Entwicklung des HUGLIN-Indices an der Station Artern (unten links, Modell STAR II, Szenario A1B, Jahrzehnte 1951-2060) sowie die Erläuterung des HUGLIN-Index (Tabelle rechts)

Einige Bedingungen für den Weinbau werden sich in Sachsen-Anhalt in den nächsten Jahrzehnten ändern. Der Qualitätsweinbau wird weiterhin möglich sein und aus Sicht der Studienergebnisse überwiegen die positiven Wirkungen. Insbesondere die thermischen Bedingungen werden sich verbessern. Der Huglin-Index (Abb. 11) zeigt in allen Szenarien eine Zunahme um 2-3 Klassen. Wachstum und Reife werden in Zukunft häufiger unter günstigeren bis hin zu optimalen Temperaturverläufen stattfinden.



Es werden jedoch weiterhin einige der spezifischen und bisher typischen Gefährdungen (z. B. Spätfröste) bestehen bleiben. Durch die erwartete Verbesserung der thermischen Bedingungen während der Vegetationsperiode erweitert sich die Bandbreite der für den Anbau geeigneten Sorten wie Riesling, Sauvignon blanc und Spätburgunder.

Während der Bearbeitung zeigte sich, dass die Datengrundlage (Meteorologie und Phänologie wichtiger Sorten) für detaillierte Untersuchungen und insbesondere die Erstellung/Nutzung fundierter Zukunftsszenarien nicht ausreichend war. Es wird im Ergebnis der Studie empfohlen, meteorologische Beobachtungen an wichtigen Weinbaustandorten

aufzunehmen bzw. weiterzuführen. Für wichtige bzw. potentiell wichtige Sorten wird die Aufnahme (bzw. Weiterführung) von Sortenprüfungen mit Beobachtungen wichtiger phänologischer Phasen und der wichtigsten weinbaulichen Parameter (mindestens Zucker- und Säuregehalt in der Reifephase; Schädlingsbefall) empfohlen. Darüber hinaus wird für weitergehende Untersuchungen ein gemeinsames Vorhaben durch das Landesweingut Klosterpforta GmbH, das Institut für Weinbauforschung e.V. der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und das PIK e.V. zum Weinbau an Saale-Unstrut unter den Bedingungen des Klimawandels vorgeschlagen.

6. Boden

Böden erfüllen verschiedene wichtige Funktionen wie die Lebensraum- oder Regelungsfunktion. Bodenprozesse sind stark von Temperatur und Wasserverfügbarkeit abhängig, so dass veränderte Klimabedingungen negative Auswirkungen auf Bodenprozesse und -funktionen nach sich ziehen können (Blum 2005; Nortcliff 2009). Hiervon können beispielsweise Erträge der Land- und Forstwirtschaft betroffen sein. Darüber hinaus sind Böden als weltweit zweitgrößter Kohlenstoffspeicher selbst ein zentraler Klimafaktor (Schils et al. 2008). Wind- und Wassererosion, welche stark von klimatischen Faktoren beeinflusst werden, verursachen einen großflächigen Abtrag oberflächennaher humus- und nährstoffreicher Bodenschichten, was die Funktionserfüllung des Bodens beeinträchtigt und hohe Regenerationskosten nach sich zieht (Scheffer & Schachtschabel 2002; UBA 2008).

Gefährdung durch Wassererosion

In der Studie wurde die Gefährdung in den Bodenregionen Sachsen-Anhalts durch Wassererosion, auf Basis der bisher vorhandenen potentiellen Gefährdung und dem Auftreten von Tagen mit Starkniederschlag in der Zukunft untersucht. Nach Auswertung der Daten der beiden verwendeten Klimaszenarien wird sich die potentielle Gefährdung der Böden durch Wassererosion in Zukunft wenig verändern. Allerdings könnte die Harzregion zumindest vorübergehend von einer Zunahme der Gefährdung betroffen sein. Nach dem Modell REMO sind möglicherweise zum Ende des Jahrhunderts (2071-2100) auch die Löss- und Sandlösslandschaften von einer Zunahme der potentiellen Wassererosionsgefährdung betroffen.

Gefährdung durch Winderosion

Die Analyse der Winderosion beschränkte sich auf Ackerflächen in Sachsen-Anhalt, da eine Vegetationsbedeckung bei Winderosion noch effektiver wirkt als bei Wassererosion und Ackerflächen im Jahresverlauf vorübergehend oft vegetationsfrei sind, z.B. im Frühjahr und Herbst. (Scheffer & Schachtschabel 2002). Aufgrund der großen Unsicherheiten hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten im Modell REMO, wurde die Analyse nur mit den Daten des Modells WETTREG durchgeführt. In die Untersuchung gingen die trockenen Tage und Tage mit einer negativen klimatischen Wasserbilanz sowie Tage mit mittleren Windgeschwindigkeiten $\geq 5,5$ m/s ein. Dies ergab die „klimatische Winderosionsgefährdung“, welche mit der „potentiellen Winderosionsgefährdung der Bodenarten“ verschnitten wurde. Die entstandene „potentielle klimatische Winderosionsgefährdung der Ackerflächen“ wies die Monate Dezember, Januar, Mai, Juli, September und Oktober als im

Vergleich zu den anderen Monaten besonders gefährdet aus. Entsprechend wurde die potentielle Winderosionsgefährdung der Ackerflächen für die Zeiträume der Monate Dezember-Januar, Mai-Juli sowie September-Oktober eingehender ausgewertet (Abb. 12). Demnach sind Ackerflächen mit unzureichender Vegetationsbedeckung als Schutz vor Winderosion in den Monaten Mai-Juli stärker gefährdet als im Dezember-Januar oder September-Oktober. Die Analyse der drei Zeiträume Dezember-Januar, Mai-Juli sowie September-Oktober zeigte vergleichsweise geringe Unterschiede zwischen den drei Szenarien eines Zeitraumes sowie bis zum Ende des Jahrhunderts, insbesondere in den Monaten Dezember-Januar. Hingegen sind Zunahmen der potentiellen Gefährdung im Mai-Juli in Regionen der Altmoränenlandschaften (z. B. der Altmark) und in den Löss- und Sandlösslandschaften südlich von Halle zu verzeichnen.

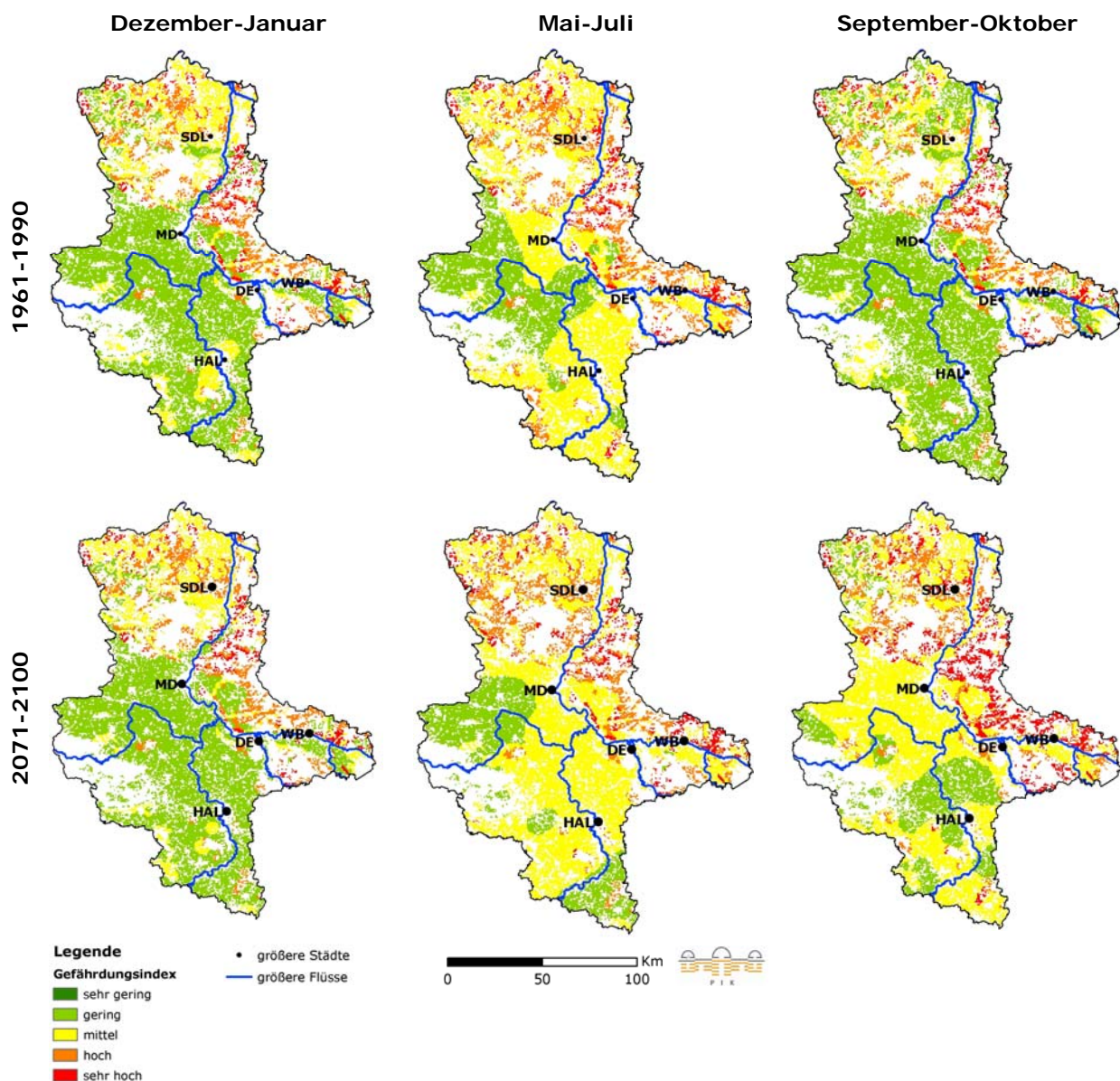


Abb. 12: Die potentielle Gefährdung der Ackerflächen in Sachsen-Anhalt gegenüber Winderosion in den Monaten Dezember-Januar, Mai-Juli und September-Oktober (v.l.n.r.) in der Vergangenheit (1961-1990, oben) und in der Zukunft (2071-2100, unten) Szenario A1B, Modell WETTREG

Mögliche Anpassungsoptionen des Sektors Boden sind:

- Sicherung wertvoller Kohlenstoffsenken durch die Erhaltung und Wiedervernäsung von Feuchtgebieten und Mooren (Succow & Joosten 2001; Moore 2002)
- Anwendung erosionsmindernder landwirtschaftlicher Anbausysteme, wasser- und winderosionsmindernder Maßnahmen (z.B. ganzjährige Bodenbedeckung, Heckenstreifen, Flurgehölze als Windschutzstreifen, Pflügen quer zur Hangneigung oder Hauptwindrichtung) sowie Beobachtungsprogramme bezüglich der Erosionsraten des Bodens (MLU 2009)
- Verringerung der Flächenversiegelung und Vermeidung der Bodenversauerung, Verdichtung und Schadstoffeinträge in Böden (Mahrenholz 2008).

7. Naturschutz

Der Klimawandel verändert abiotische Standortbedingungen und beeinflusst das Vorkommen standortspezifischer Arten sowie in der Folge das Artenspektrum von Lebensräumen. Die Klimatische Wasserbilanz (KWB) ist in der Vergangenheit (1961-1990) bereits in weiten Regionen Sachsens-Anhalts negativ, insbesondere im mitteldeutschen Trockengebiet (Abb. 4). Ist die KWB negativ, ist beispielsweise die Wasserverfügbarkeit verringert und Pflanzen könnten unter Trockenstress geraten. Dies kann sich negativ auf feuchtesensitive Lebensräume wie Moor- und Auenwälder sowie Moore (Abb. 13) auswirken. Nach den Projektionen der Klimamodelle WETTREG und REMO wird sich der Trend für das Jahresmittel (Abb. 4) sowie die Vegetationsperiode (April-September) (Abb. 14) in der Zukunft fortsetzen. Für die vorliegende Studie wurden exemplarisch für den Naturschutz in Sachsen-Anhalt die Schutzgebiete der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) sowie deren FFH-Lebensraumtypen herangezogen. Es wurde ein landesspezifisches System von Lebensraumklassen zur Zusammenfassung der FFH-Lebensraumtypen entwickelt. Das Vorkommen dieser Lebensraumklassen (Abb. 13) sowie der FFH-Schutzgebiete wurde mit der räumlichen Ausprägung der KWB im Jahr und der Vegetationsperiode (Abb. 14) in Zusammenhang gestellt.

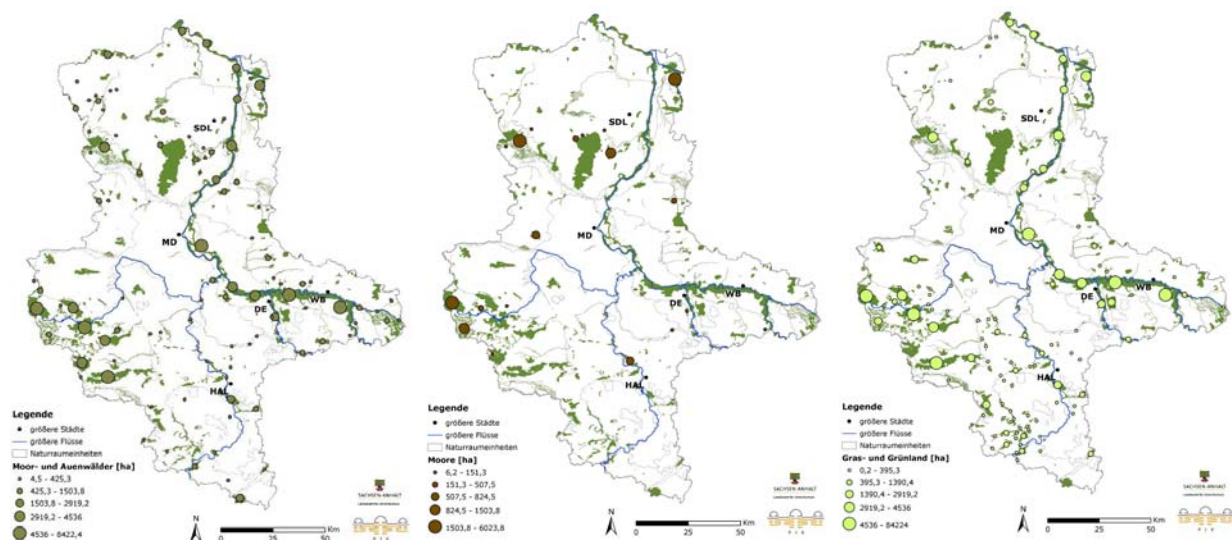


Abb. 13: Lage der FFH-Schutzgebiete mit Moor- und Auenwäldern, Mooren sowie Gras- und Grünland in Sachsen-Anhalt (die Größe der Kreise spiegelt die Größe der FFH-Schutzgebiete mit diesen Lebensraumklassen wieder)

FFH-Schutzgebiete, die von einem Rückgang der KWB besonders stark betroffen sind, befinden sich beispielsweise in der Altmark, dem Harz sowie in Regionen des Fläming. In diesen FFH-Schutzgebieten kommen vor allem Gewässer, Feuchtwiesen, Moore sowie Moor- und Auenwälder vor (Abb. 13). Andere Lebensräume wie z.B. Gras- und Grünlandschaften sind auch häufig außerhalb von FFH-Schutzgebieten in diesen von einem vergleichsweise starken Rückgang der KWB betroffenen Regionen zu finden (Abb. 14).

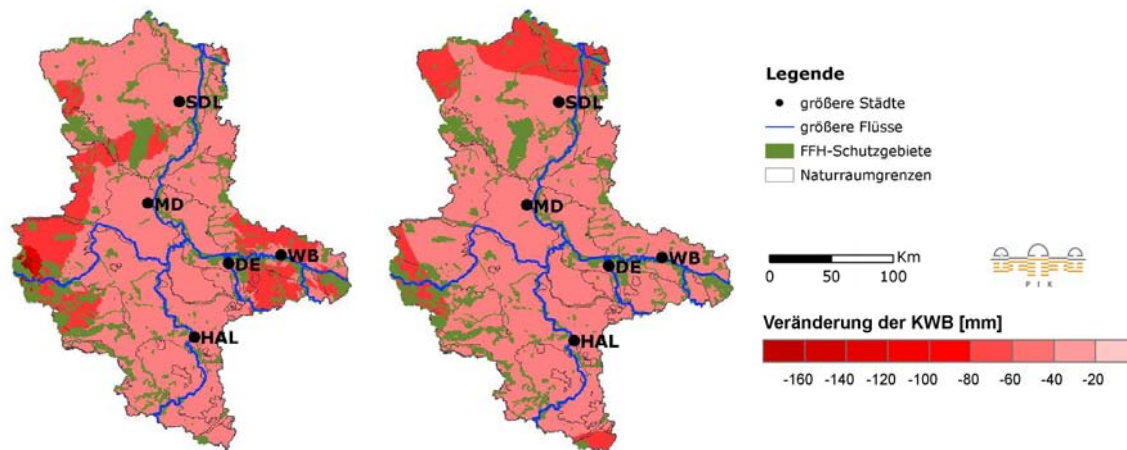


Abb. 14: Veränderung der klimatischen Wasserbilanz (KWB) in der Vegetationsperiode (April-September) (Szenario A1B, 1961-1990 gegenüber 2071-2100, Modell WETTREG (links), REMO (rechts)) und FFH-Schutzgebiete in Sachsen-Anhalt

Besonders vom Klimawandel betroffene Lebensräume

Des Weiteren wurde die Sensitivität der FFH-Lebensraumtypen gegenüber einer Zunahme der Temperatur und Trockenheit abgeschätzt. Grundlage dessen war ein System aus Sensitivitätsindikatoren (nach Holsten 2007; Petermann et al. 2007; Kropp et al. 2009), welches spezifisch auf Sachsen-Anhalt angepasst wurde. Die Untersuchung zeigt eine geringe bis sehr geringe Sensitivität für je 15 der 49 untersuchten FFH-Lebensraumtypen, eine mittlere und hohe Sensitivität für je 7 FFH-Lebensraumtypen, sowie eine sehr hohe Sensitivität für 5 FFH-Lebensraumtypen. Zu den besonders gefährdeten Lebensräumen gehören beispielsweise „Lebende Hochmoore“ und „Moorwälder“. Unter den FFH-LRT mit einer sehr geringen Sensitivität befinden sich „Trockene, kalkreiche Sandrasen“ oder „Subpannonische Steppen-Trockenrasen“.

Aspekte des Naturschutzes berühren auch andere Sektoren, wie beispielsweise die Land- oder Forstwirtschaft z.B. durch das Einbringen oder Einwandern (nicht)heimischer Arten. Veränderungen in der oft klimatisch bedingten Verbreitung von Arten wie dem Gemeinen Holzbock oder dem Beifußblättrigen Traubenkraut können zu gesundheitlichen Problemen führen. Konflikte können u.a. mit der Wasserwirtschaft durch die Nutzung von naturschutzfachlich wertvollen Flächen für Überflutungen im Rahmen des vorsorgenden Hochwasserschutzes auftreten (AG KW 2009; MLU 2009).

Anpassungsoptionen des Naturschutzes umfassen unter anderem die (Langzeit) Beobachtung von Arten und Ökosystemen, um Veränderungen rechtzeitig erkennen und gegebenenfalls regulierend eingreifen zu können. Darüber hinaus können die Wiedervernässung und der Erhalt von Feuchtlebensräumen sowie die Verminderung menschlicher Eingriffe zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen beitragen. Der Klimawandel

wird jedoch sichtbare Folgen für Biodiversität (BfN 2004; BfN 2006) und Ökosysteme nach sich ziehen, so dass es notwendig sein kann, Schutzziele auf ihre Umsetzbarkeit unter dem Einfluss des Klimawandels zu überprüfen und alternative Konzepte zu entwickeln.

8. Phänologie

Neben räumlichen Änderungen von Arten und Ökosystemen kann es auch zu phänologischen Veränderungen kommen, also Verschiebungen des jahreszeitlichen Entwicklungsganges und der Wachstumsphasen von Arten.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Organismen unterschiedlich auf Klimaänderungen reagieren. Eine gleichmäßige Verschiebung aller biologischen Phasen ist auch zukünftig nicht zu erwarten. Eine langfristige Änderung der Phänologie einer oder auch mehrerer Arten kann damit zu Entkopplungen biologischer Prozessketten führen. Dies wurde beispielsweise bereits für die Nahrungskette Blätter - Schmetterlingsraupen – Vögel beobachtet (Visser & Holleman 2001; Pampus 2005). Auch könnte eine längere Vegetationszeit grundsätzlich die Produktivität von natürlichen oder durch den Menschen beeinflussten Ökosystemen erhöhen (Sparks & Menzel 2002). Sollten die zu erwartenden Veränderungen jedoch nicht kontinuierlich, sondern vielmehr mit starken zeitlichen Schwankungen voranschreiten, beispielsweise beeinflusst durch Spätfröste, könnten Störungen im Wachstumsrhythmus von Pflanzen auftreten (Chmielewski 2007). Eine Betrachtung einzelner Beispielarten muss daher auch vor dem Hintergrund von Wechselwirkungen zwischen Arten sowie im Kontext innerhalb eines Lebensraumgefüges gesehen werden.

In Sachsen-Anhalt sind bereits deutliche phänologische Verschiebungen einzelner Arten beobachtet worden. Eine Analyse verschiedener Arten, welche phänologische Jahreszeiten definieren (nach Bissolli et al. 2007; Kolodziej 2007; DWD 2008), zeigte deutliche Verschiebungen der Hauptjahreszeiten innerhalb der vier naturräumlichen Einheiten zwischen den Zeitperioden 1967-1986 und 1987-2006 (Abb. 15). Der Vorfrühling begann beispielsweise in den einzelnen Regionen rund 7-12 Tage früher. Der Beginn des Frühlommers verfrühte sich insgesamt um 6-12 Tage, der Frühherbst um 3-14 Tage. Der Beginn des Spätherbstes hat sich dagegen um durchschnittlich einen Tag leicht verspätet.

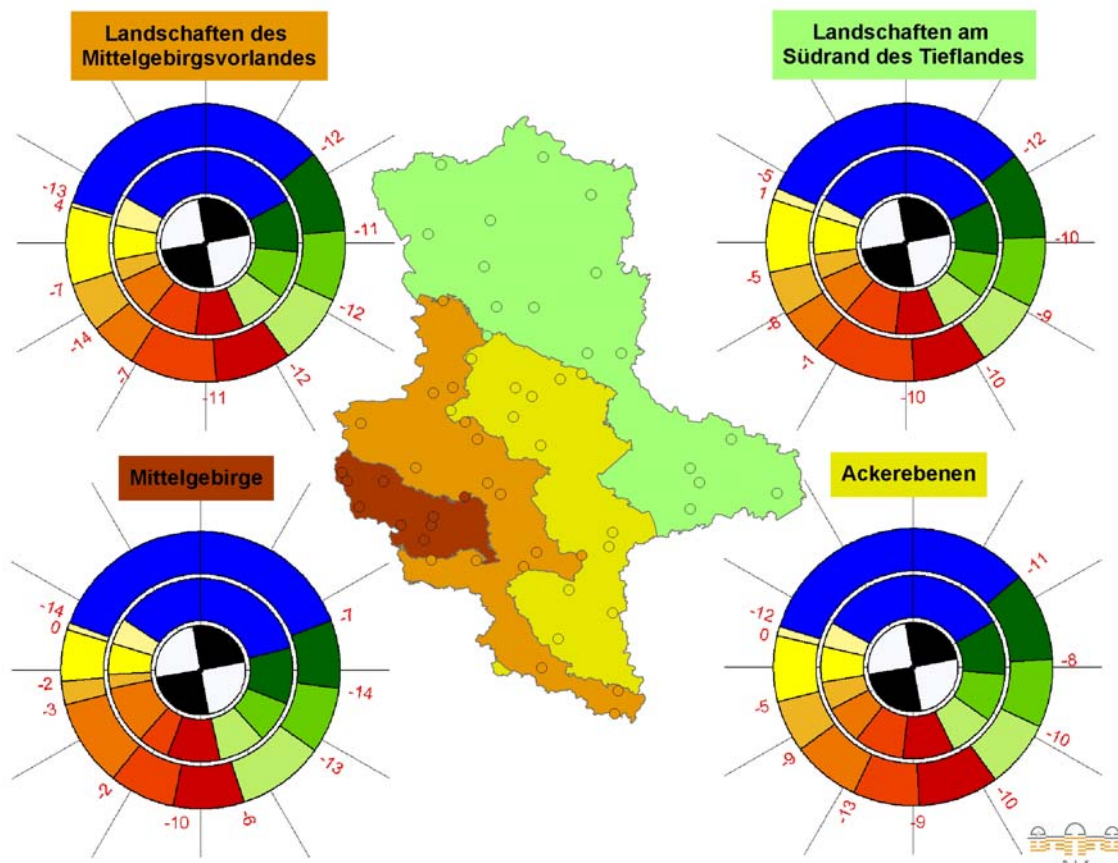


Abb. 15: Phänologische Uhren³ der vier untersuchten Naturräume Sachsen-Anhalts für die Zeiträume 1967-1986 (innerer Ring) und 1987-2006 (äußerer Ring). Die zugrunde liegenden phänologischen Stationen sind durch entsprechend farbige Kreise markiert. Zeitliche Veränderungen in Tagen zwischen den betrachteten Zeiträumen sind am Rand des äußeren Rings der entsprechenden Jahreszeiten dargestellt.

Um eine Aussage über zukünftige phänologische Entwicklungen zu treffen, müssen beobachtete Veränderungen der Vergangenheit, klimatischen Veränderungen im selben Zeitraum zugeordnet werden können. Hierbei sollten auch die Wechselwirkungen mit weiteren Einflussgrößen betrachtet werden.

³ Phänologische Uhren verwenden 10 Jahreszeiten, welche durch individuelle Farben gekennzeichnet sind. Der Winter (blau) besteht nur aus einer Jahreszeit; Frühjahr (Grüntöne), Sommer (Rottöne) und Herbst (Gelbtöne) hingegen aus jeweils drei, z.B. Vorfrühling (dunkelgrün), Erstfrühling (mittelgrün) und Vollfrühling (hellgrün).

9. Zusammenfassung

Die unterschiedlichen Ausprägungen, der aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie abgeleiteten Klimafolgen, lassen sich qualitativ anhand von drei Großregionen in Sachsen-Anhalt zusammenfassen: Für die Region Harz, die Region nordöstliches Sachsen-Anhalt sowie für das zentrale und südliche Sachsen-Anhalt. Eine Synthese der Auswirkungen auf die betrachteten Sektoren innerhalb dieser Regionen und auf die Flusseinzugsgebiete der Elbe, Saale und Bode ist in Abb. 16 dargestellt.

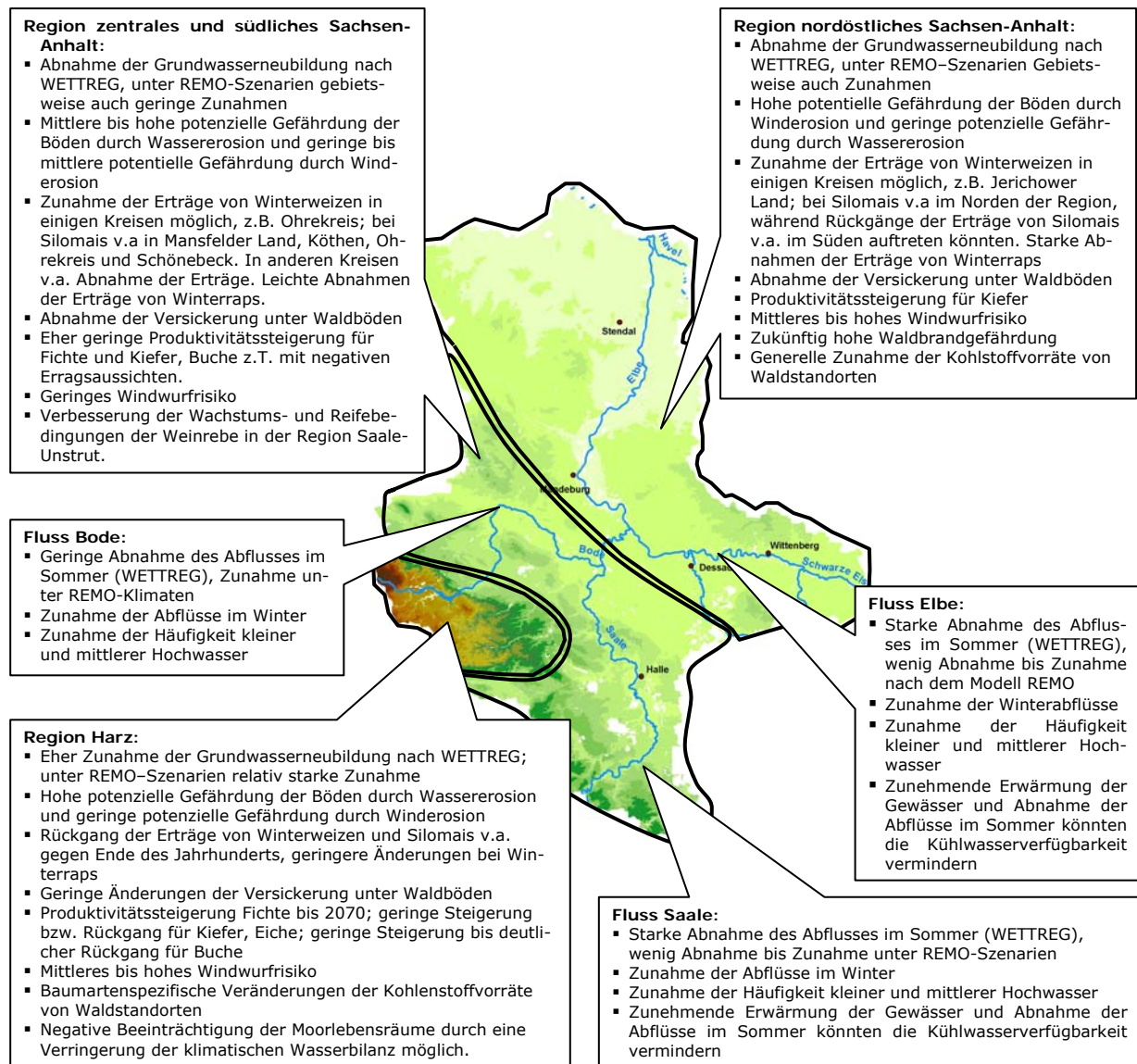


Abb. 16: Räumliche Synthese der Auswirkungen der zu erwartenden klimatischen Veränderungen auf die betrachteten Sektoren Sachsens-Anhalts, differenziert nach drei Großregionen sowie den Flüssen Bode, Elbe und Saale

10. Literatur

- AG KW (2009): "Abschlussbericht der Unter-Arbeitsgruppe „Modellregionen“." Arbeitsgruppe Klimawandel Sachsen-Anhalt (AG KW) (Hrsg.). Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle/Saale.
- Bernhofer, C., V. Goldberg, J. Franke, M. Surke und J. Adam (2008): "REKLI - Sachsen-Anhalt II, Regionale Klimadiagnose für Sachsen-Anhalt, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt." Institut für Hydrologie und Meteorologie und T. U. Dresden (Hrsg.). Dresden.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (2004): "Daten zur Natur 2004. Hintergrundinformation zur Pressekonferenz." Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.).
http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/hintergrundinfo_dzn_2004.pdf.
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (2006): "Biologische Vielfalt und Klimawandel- Gefahren, Chancen und Handlungsoptionen." BfN-Skripten. H. Korn, Epple, C. (Hrsg.).
<http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript148.pdf>
- Bissolli, P., G. Müller-Westernermeier und C. Polte-Rudolf (2007): "Aufbreitung und Darstellung phänologischer Daten " *Promet* 33(1/2): 14-19.
- Blum, W. H. E. (2005): " Soils and Climate Change." *JSS- J Soils & Sediments* 5(2): 67-68.
- Chmielewski, F.-M. (2007): "Phänologie - ein Indikator zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biosphäre." *Promet* 33(1/2): 28-35.
- DWD (2008): "Die phänologische Uhr." Letzter Zugriff am: 07.10.08, www.dwd.de.
- Hattermann, F., M. Wattenbach, V. Krysanova und F. Wechsung (2005): "Runoff simulations on the macroscale with the ecohydrological model SWIM in the Elbe catchment-validation and uncertainty analysis." *Hydrological Processes* 19(3): 693-714.
- Holsten, A. (2007): "Ökologische Vulnerabilität von Schutzgebieten gegenüber Klimawandel – exemplarisch untersucht für Brandenburg." Institut für Geowissenschaften. Tübingen, Universität Tübingen: 135 S.
- IPCC (2007): "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, und M. T. a. H. L. Miller (Hrsg.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 987 S.
- Kolodziej, A. (2007): "Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen." Berichte des Deutschen Wetterdienstes No. 231. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main.
- Kropp, J. P., A. Holsten, T. Lissner, O. Roithmeier, F. Hattermann, S. Huang, J. Rock, F. Wechsung, A. Lüttger, L. Costa, M. Steinhäuser, S. Pompe, I. Kühn, C. Walther, M. Klaus, S. Ritchie und M. Mezger (2009): "Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren - Abschlussbericht für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW." Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Potsdam.
- Krysanova, V., D. I. Müller-Wohlfeil und A. Becker (1998): "Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds." *Ecological Modelling* 106(2-3): 261-289.
- Lasch, P., F. W. Badeck, F. Suckow, M. Lindner und P. Mohr (2005): "Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany)." *Forest Ecology And Management* 207(1-2): 59-74.
- Le Quéré, C., M. R. Raupach, J. G. Canadell, G. Marland, L. Bopp, P. Ciais, T. J. Conway, S. C. Doney, R. A. Feely, P. Foster, P. Friedlingstein, K. Gurney, R. A. Houghton, J. I. House, C. Huntingford, P. E. Levy, M. R. Lomas, J. Majkut, N. Metz, J. P. Ometto, G. P. Peters, I. C. Prentice, J. T. Randerson, S. W. Running, J. L. Sarmiento, U. Schuster, S. Sitch, T. Takahashi, N. Viovy, G. R. van der Werf und F. I. Woodward (2009): "Trends in the sources and sinks of carbon dioxide." *NATURE Geosciences* 2: 831-836.

- Mahrenholz, P. (2008): "Arbeiten an der Nationalen Strategie zur Klimaanpassung." UBA-Workshop: "Böden im Klimawandel - Was tun?!" 22./23.1.2008, Forum II. Umweltbundesamt. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3495.pdf>.
- MLU (2009): "Entwurf der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel." Fach- und ressortübergreifende Arbeitsgruppe „Anpassung an den Klimawandel". Magdeburg, Ministerium für Landwirtschaft Umwelt Sachsen-Anhalt (MLU). 81 S.
- Moore, P. D. (2002): "The future of cool temperate bogs." *Environmental Conservation* 29(1): 3-20.
- Nortcliff, S. (2009): "The Soil: Nature, Sustainable Use, Management, and Protection - An Overview." *Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society* 18(1): 58-68.
- Pampus, M. (2005): "Einschätzungen zu möglichen und bereits nachweisbaren Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen." 151 S.
- Petermann, J., S. Balzer, G. Ellwanger, E. Schröder und A. Ssymank (2007): "Klimawandel - Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000." In: S. Balzer, M. Dieterich und B. Beinlich: "Natura 2000 und Klimaänderungen." Bonn - Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und Biologische Vielfalt. Vol. 46.
- Scheffer, F. und P. Schachtschabel (2002): "Lehrbuch der Bodenkunde." 15. Ausg. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- Schils, R., P. Kuikman, J. Liski, M. v. Oijen, P. Smith, J. Webb, J. Alm, Z. Somogyi, J. v. d. Akker, M. Billett, B. Emmett, C. Evans, M. Lindner, T. Palosuo, P. Bellamy, J. Alm, R. Jandl und R. Hiederer (2008): "Review of existing information on the interrelations between soil and climate change - ClimSoil Project." Alterra, Wageningen UR, The Netherlands, CEH, United Kingdom, SYKE, Finland, UNAB, United Kingdom.
http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/climsoil_report_dec_2008.pdf.
- Seppälä, R., A. Buck und P. Katila (2009): "Adaptation of Forests and People to Climate Change - A Global Assessment Report." IUFRO World Series. IUFRO. Helsinki.
- Sparks, T. H. und A. Menzel (2002): "Observed changes in seasons: An overview." *International Journal of Climatology* 22(14): 1715-1725.
- Succow, M. und H. Joosten (2001): "Landschaftsökologische Moorkunde." 2. Ausg. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 622 S.
- UBA (2008): "UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23. Januar 2008. Texte 25/08."
- Visser, M. E. und L. J. M. Holleman (2001): "Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology." *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 268(1464): 289-294.
- Wechsung, F., S. Kaden, H. Behrendt und B. Klöcking (2008): "Integrated Analysis of the Impacts of Global Change on Environment and Society in the Elbe River Basin." Weißensee Verlag. Berlin. 401 S.

Teil 2

Klimafolgenstudie 2012

Klima und Extreme,
Wasser und Naturschutz

Autoren:**Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH**

F. Kreienkamp, A. Spekat, W. Enke

Büro für Angewandte Hydrologie

B. Pfützner, B. Klöcking, A. Schumann, P. Hesse

biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH

V. Thiele, A. Luttmann, K. Liebe Edle von Kreutzner, B. Degen,
A. Berlin, A. Lipinski, J. Niederstraßer, R. Koch, J. von dem Bussche



Institut für ökologische Forschung und Planung

Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

Zusammenfassung: Klima und Extreme, Wasser und Naturschutz

Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt
unter fachlicher Begleitung des
Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Vergabe 1.2-44761-02-2011

Bearbeiter Klima und Extreme:

Dr. Frank Kreienkamp, Dipl.-Met. Arne Spekat, Dr. Wolfgang Enke

Bearbeiter Wasser:

Dr. Bernd Pfützner, Dr. Beate Klöcking, M.Sc. A. Schumann, Dipl. Geogr. P. Hesse

Bearbeiter Naturschutz:

Dr. Volker Thiele, Dipl.-Geogr. Anne Luttmann, Dipl.-Ing. (FH) Karoline Liebe Edle von Kreutzner, Assessor Bodo Degen, Dipl.-Biol. Angela Berlin, Dipl.-Ing. (FH) Andrea Lipinski, Dipl.-Biol. Jens Niederstraßer, M. Sc. Ralf Koch, Dipl.-Geoökol. Jens von dem Bussche

Aktualisierte Fassung vom 22. März 2013

Ausführende:

Für den Abschnitt Klima und Extreme

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC)

David-Gilly-Straße 1

14469 Potsdam

Für den Abschnitt Wasser

Büro für Angewandte Hydrologie (BAH)

Köberlesteig 6

D-13156 Berlin

Für den Abschnitt Naturschutz

biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH

(Institut biota GmbH)

Nebelring 15

D-18246 Bützow

Dieser Text sollte so zitiert werden:

F. Kreienkamp, A. Spekat, W. Enke, B. Pfützner, B. Klöcking, A. Schumann, P. Hesse, V. Thiele, A. Luttmann, K. Liebe Edle von Kreutzner, B. Degen, A. Berlin, A. Lipinski, J. Niederstraßer, R. Koch, J. von dem Bussche, 2013: Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt. Zusammenfassung: Klima und Extreme, Wasser und Naturschutz. Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH, Büro für Angewandte Hydrologie und biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrage des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt unter fachlicher Begleitung des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle (Saale).

Zusammenfassung

Für das Land Sachsen-Anhalt wurden im Rahmen des Vorhabens *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt* die möglichen Auswirkungen des Klimawandels erforscht und dokumentiert. Grundlage dafür sind Szenarios möglicher zukünftiger Entwicklungen des Ausstoßes an Treibhausgasen, wie sie das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) erarbeitete. Für das Vorhaben wurde dazu ein Szenario gewählt, das die folgende globale Entwicklungslinie postuliert: (i) schnelles wirtschaftliches Wachstum, (ii) Entwicklung der Weltbevölkerung, die zur Mitte des 21. Jahrhunderts ihren Höhepunkt erreicht und dann rückläufig wird, (iii) schnelle Einführung von neuen und auf mehr Effizienz abzielenden Technologien, (iv) Balance zwischen der Nutzung fossiler und nicht fossiler Energiequellen und (v) Vernetzung der Regionen im Zuge der Globalisierung. In der Terminologie des IPCC handelt es sich dabei um das Szenario A1B.

Auf Basis der oben genannten Entwicklungen wurden im Rahmen des IPCC-Prozesses durch das Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI) und dem Deutschen Klima-Rechenzentrum (DKRZ) Simulationsrechnungen mit dem globalen Atmosphären-Ozean-Modell ECHAM5/MPI-OM durchgeführt. Damit die ECHAM5-Ergebnisse für ein Bundesland interpretiert werden können, ist die Untersetzung mit so genannten Regionalisierungen notwendig. Diese erfolgten im Auftrage des Umweltbundesamtes unter Berücksichtigung der methodischen Vielfalt (Einsatz sowohl von statistischer als auch dynamischer Regionalisierung). Somit konnten die Aussagen des Vorhabens durch Ergebnisse von zwei Regionalisierungsverfahren unterstützt werden: Die Empirisch-Statistische Regionalisierung von WETTREG (v2010) und das Regionale Klimamodell REMO.

Im Vorhaben wurde eine Kette von Modellen eingesetzt. Unter Nutzung der von WETTREG regionalisierten Klimadaten wurden mittels hydrologischer Modellsimulationen die Auswirkungen künftiger Klimaentwicklungen auf den Bodenwasserhaushalt und die Abflussverhältnisse in Sachsen-Anhalt untersucht. Unter Verwendung der klimatologischen Merkmale Kälteverfügbarkeit, Feuchtegrad des Lebensraumes und Wärmeverfügbarkeit erfolgte überdies eine Modellierung der bioklimatischen Reaktion von geschützten Arten.

In den Folgeabschnitten werden die zentralen Aussagen des Vorhabens vorgestellt, die die Bereiche Klima, Wasserwirtschaft und Naturschutz umfassen.

Hinweis zu Unsicherheiten:

Jedes Modell der Kette verarbeitet Wissen, das mit Unsicherheit behaftet ist. Das Klima besitzt zudem natürliche Schwankungen, die zu untersuchen aber nicht Gegenstand des Vorhabens ist. Szenarios basieren auf unsicheren Annahmen zu einer Vielzahl von Faktoren, wie Ökonomie, Technologieentwicklung, Bevölkerungswachstum oder Globalisierung. Globale Klimamodelle nutzen diese Information als Antriebsgröße und fügen spezifische raumzeitliche Unsicherheiten hinzu. Regionalisierungen und weitere, darauf aufbauende Impact-Modellierungen besitzen ihrerseits spezifische Unsicherheiten. Die Belastbarkeit der Ergebnisse wird dadurch gewährleistet, dass die Plausibilität der zu Grunde liegenden Annahmen geprüft wird und, wo möglich, mehrere Modelle eingesetzt werden.

Klima und Extreme

Welches Klima wird in der Zukunft wahrscheinlich und worauf sollten sich Betrachtungen von Klimafolgen beziehen? Die Analysen für diesen Abschnitt umfassen eine Darstellung der Charakteristika des gegenwärtigen und des zukünftigen Klimas für die Perioden 1971–2000, 2011–2040, 2041–2070 und 2071–2100. Mehrere Wetterelemente wie Temperatur, Feuchte und Wind werden für die Orte von 22 Klimastationen der WETTREG (v2010)-Regionalisierungen und 470 Gitterpunkte der REMO-Regionalisierungen analysiert. Des Weiteren wird in der Untersuchungsregion die Klimatische Wasserbilanz, eine zentrale Größe Aussagen zum Wasserhaushalt, in Gegenwarts- und Zukunftsperioden, bestimmt. Die Abschätzung von Klimaänderungen anhand relevanter Kenngrößen wie dem Auftreten von Eistagen, Sommertagen, Trockentagen sowie vegetationsbezogenen Größen (Beginn, Ende und Dauer der Vegetationsperioden) stellt eine weitere Informationsquelle dar, mit deren Hilfe Entscheidungsprozesse unterstützt werden.

Der Schwerpunkt dieses Abschnitts des Vorhabens liegt auf der Erarbeitung und Dokumentation von Grundlagen für die weiteren Abschnitte des Gesamtvorhabens. Als wichtige Erkenntnisse sind hervorzuheben:

Mittelwerte von verschiedenen Klimagrößen

- Die **Entwicklung der mittleren Temperatur** unterstreicht, dass die Erwärmung nicht in allen Jahreszeiten gleichmäßig ist, sondern sich für den Sommer und den Winter stärker abzeichnet. Beide untersuchten Regionalisierungen WETTREG und REMO unterstützen dies.
- In Untersuchungen des **mittleren Niederschlags** findet sich für die Untersuchungsregion im Vergleich der Perioden 1971–2000 und 2071–2100 ein Rückgang um 10–30% im Sommer, der im Bereich des Harzes sowie westlich davon bis 40% betragen kann.
- Untersuchungen der **relativen Feuchte** weisen ebenfalls auf eine ausgeprägte Neigung zu größerer Austrocknung in der Zukunft hin. Dies wird unterstützt durch die Resultate der Klimatischen Wasserbilanz (KWB).

- Schon in der Referenzperiode ist die Klimatische Wasserbilanz als Kennwert der hydrometeorologischen Situation eines Gebietes fast flächendeckend in Sachsen-Anhalt deutlich negativ. Durch die Zunahme der Lufttemperatur und die Abnahme der relativen Feuchte ist mit einer Zunahme der potenziellen Verdunstung zu rechnen, die in Verbindung mit der Abnahme des Niederschlages zu einem weiteren, beträchtlichen Absinken der Klimatischen Wasserbilanz führt.
- Aus Ergebnissen zur mittleren **Windgeschwindigkeit** lässt sich darauf schließen, dass in einem zukünftigen Klima eine sommerliche Abschwächung und eine winterliche Zunahme wahrscheinlich wird. Hier ist bei der Interpretation zu beachten, dass die Erdoberfläche von einem Gitterpunktmodell wie REMO mit einer Auflösung von 10×10 km wiedergegeben wird, was insbesondere beim Wind zu Unterschätzungen führen kann.
- Wird die **mittlere tägliche Sonnenscheindauer** analysiert, so zeigen sich abgesehen von einer leichten Zunahmetendenz im Sommer keine deutlichen Änderungen.

Klimaindikatoren

- Bei der klimatischen Entwicklung der Kenntage zeigen die Projektionen, dass im Mittel die **Zahl der Eistage** (Dauerfrost) zum Ende des 21. Jahrhunderts um rund 40-45 Tage zurückgeht. Spiegelbildlich nimmt die **Zahl der Heißen Tage** (Maximum über 30°C) um rund 30 (bei WETTREG) bzw. rund 10–20 (bei REMO) zu.
- Es wurden auch **Schwachwind- und Starkwindtage** in die Analyse einbezogen, wobei anzumerken ist, dass *tägliche Mittelwerte* nur bedingt geeignet sind, diese Größen zu erfassen. Die Änderungssignale weisen bei WETTREG zum Ende des 21. Jahrhunderts auf eine leichte Zunahme der Starkwindtage (mit Ausnahme der starkwindigen Brockenregion) und eine etwas deutlichere Zunahme der Schwachwindtage hin, während bei REMO, z.T. methodisch bedingt (s.o.), keine deutlichen Veränderungen erkennbar sind.
- Bezüglich der **thermischen Vegetationsperiode** ist in den Regionalisierungen zweierlei erkennbar: (i) eine deutliche Neigung zu früherem Beginn und (ii) eine Neigung zu späterem Ende. Die Verlängerung der gesamten Vegetationsperiode bis zum Ende des 21. Jahrhunderts liegt dabei im Bereich von 70 Tagen (WETTREG), bzw. 40 Tagen (REMO).

Was ist der Charakter eines zukünftigen Klimas bezüglich der Extreme?
Nachdem im Abschnitt *Klima* die Analysen und Zukunftsaussagen den Blick verstärkt auf die Entwicklung des *mittleren* Klimas richteten, vertieft dieser Abschnitt einen Aspekt, der für die Abschätzung von Klimafolgen besonders bedeutungsvoll ist: Extreme und ihre Veränderungen. Dazu wird, in der Begrifflichkeit

der Extremwertuntersuchungen, eine Analyse von so genannten *Perzentilstufen* durchgeführt. Sie dient dazu, ein Bild von den mit zunehmender Stufe immer seltener auftretenden Extremen zu gewinnen. Die Untersuchungen erstrecken sich auf die Extreme der Größen *Tagesmaximumtemperatur*, *Niederschlag* und *Wind*. Es wird für die Jahreszeiten und das Jahr dokumentiert, ob sich Verschiebungen in den Werteniveaus zeigen.

Eine typische Betrachtung ist z.B., oberhalb welcher Menge ein Tagesniederschlag zu den extremsten 5% (oder 2%) zu rechnen ist und ob sich im Zuge des Klimawandels eine Veränderung dieser Zuordnung entwickelt. Ein ebenso wichtiger Aspekt der Extremwerte wurde analysiert: Veränderungen in den Extremstufen. Dabei wird zum Beispiel untersucht, ob ein gegenwärtig selten auftretendes Temperaturextrem in einem geänderten Klima häufiger wird, wobei sich die Analyse auf unterschiedliche „Seltenheiten“ (Extremstufen) erstreckt.

- Bezüglich der **Tagesmaximumtemperatur** ist ein wichtiges Ergebnis, dass sich in allen untersuchten Extrem-Kategorien eine Zunahme abzeichnet. Sie ist in den Jahreszeiten unterschiedlich ausgeprägt und die Zuspitzung der Klimaentwicklung wird daraus ersichtlich, dass sie am deutlichsten bei den *hohen Extremstufen*, d.h. den relativ selten auftretenden aber folgenreichen Ereignissen, erkennbar ist. Dabei ist die Begrifflichkeit, insbesondere mit Bezug zu *Extremstufen* und *Schwellwerten* zu beachten.
Ein Beispiel: Ein Tag mit einem Höchsttemperatur-Ereignis von 38°C mag im derzeitigen Klima nur sehr selten, z.B. in 2% aller Fälle (d.i. die Perzentilstufe P98) auftreten; in einem zukünftigen, gewandelten Klima ist aber der Charakter so verändert, dass Tage mit 38°C möglicherweise an 10% aller Tage auftreten, d.h. zur Perzentilstufe P90; die *zukünftige* Schwelle, bei der P98 beginnt, liegt dann höher, z.B. bei 40°C.
- Bei den **Niederschlagsextremen** ist das Bild nicht ganz so einheitlich - Veränderungen beim *mittleren Niederschlag* (s.o. beschriebener erster Abschnitt des Vorhabens) im Zuge des Klimawandels treten in den Analysen zwar zu Tage, besonders drastische Entwicklungen zeichnen sich aber insbesondere bei den Extremen ab. So zeigen die Simulationen von REMO in der höchsten untersuchten Extremstufe und für einzelne Jahreszeiten Zunahmen, die in der Größenordnung einer Verdoppelung liegen können.
- Werden **Windextreme** analysiert, so zeigen die Untersuchungen bei WETTREG und REMO ähnliche Zunahmen im Winter sowie in der *höchsten Extremstufe*.

Wasser

Methodik

Es wurde eine **mehrstufige Simulationsstudie** mit dem ökohydrologischen Modell ArcEGMO (www.arcegmo.de) durchgeführt, um lokal differenzierbare Aussagen zum gegenwärtigen quasi-natürlichen Wasserdargebot und seiner zu erwartenden klimabedingten Veränderungen bis 2100 abzuleiten.

- Entsprechend der naturräumlichen Gliederung Sachsen-Anhalts erfolgte die Auswahl repräsentativer **Standorttypen** (Klima, Boden, Landnutzung) und **Flusseinzugsgebiete**. Diese Einzugsgebiete repräsentieren die Landschaftsräume Altmark und Drömling, Elbetal und glazialer Osten, Harz, Schwarzerdegebiet und Schwarzerderegion im Regenschatten des Harzes. Als räumliche Basis für die Standorttypen wurden darüber hinaus die 33 landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG) Sachsen-Anhalts gewählt. Die Landnutzung wurde mit den derzeit typischen Fruchtfolgen und den Bestandeszusammensetzungen in diesen LVG simuliert. Anhand der gegenwärtig (1971–2010) beobachteten phänologischen Entwicklung der Hauptfruchtarten und der Gewässerabflüsse erfolgte die Modellkalibrierung und Überprüfung der Simulationsergebnisse zur Vegetationsdynamik und dem Boden- und Gebietswasserhaushalt.
- Auf Basis des für die heutigen Bedingungen validierten Simulationsmodells erfolgte die detaillierte Analyse des Bodenwasservorrats, der Grundwasserneubildung in den Abflussbildungsräumen sowie der Abflüsse in den Gewässern bis 2100 unter den Bedingungen des Klimaszenarios WETTREG 2010.
- Analysiert wurden die Veränderungen der mittleren Kenngrößen des Wasserhaushaltes, deren innerjährliche Dynamik wie u.a. Dürre- und Sättigungsperioden, Niedrig- und Hochwasser-Kennwerte.
- Darauf aufbauend erfolgten **landesweite** Wasserhaushalts- und Abflusssimulationen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Charakterisierung regionaler Unterschiede in den Auswirkungen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt.

Es wird darauf hingewiesen, dass die diskutierten Änderungen im Wasserhaushalt und den Abflussverhältnissen Modellergebnisse sind und jedes Modell naturgemäß nur eine generalisierte Beschreibung der realen Naturprozesse liefern kann. Durch den methodischen Ansatz, künftig zu erwartende Änderungen gegenüber dem Referenzzustand zu bewerten, heben sich einige Modellunschärfen auf. Es verbleiben jedoch Modellunsicherheiten, die bei der Bewertung der folgenden Ergebnisse berücksichtigt werden müssen:

- Die zeitliche Auflösung der Niederschläge ist zu gering, um Änderungen in der Starkregencharakteristik (Häufigkeiten, Intensitäten) abzubilden. Da

Starkregen die maßgebenden Hochwasser in kleinen und mittleren Einzugsgebieten auslösen, führen die hier verwendeten Tagesniederschläge zu einer Unterschätzung der Hochwasserabflüsse in den betreffenden Gebieten.

- Die Grundwasserstände als Randbedingung für die Wasserhaushaltsbetrachtungen wurden als stationär angesetzt. Auswirkungen der simulierten Grundwasserneubildungsraten auf die Grundwasserdynamik wurden somit nicht abgebildet und damit auch nicht das Absinken der Grundwasserstände auf grundwassernahen Flächen in lang anhaltenden Zehrperioden. Dies führt zu einer Überschätzung der Grundwasserzehrung und Unterschätzung der Niedrigwasserabflüsse in Tieflandeinzugsgebieten.
- Landwirtschaftliche Anpassungsstrategien wurden nicht berücksichtigt. Das heißt, dass die heutige Land- und Wassernutzung als konstante Randbedingung mit den derzeit typischen Fruchtfolgen und Bestandeszusammensetzungen und den Saat- und Erntetermine der heutigen Sorten angesetzt wurden.

Bodenwasserhaushalt

- Entsprechend der hydrometeorologischen Bedingungen werden schon in der Referenzperiode für alle Standortkombinationen recht geringe Sickerwasserspenden simuliert. Die höchsten Werte ergeben sich für die Mittelgebirgsregionen mit den im Landesdurchschnitt vergleichbar hohen Niederschlägen und für die durchlässigen Böden (Braunerden, Lessivés, Podsole). Hier zeigen sich auch die stärksten Veränderungen hinsichtlich Menge und Dauer der jährlichen Sickerwasserspenden. In der Schwarzerderegion wird für die hier dominierenden ackerbaulich genutzten Tschernoseme schon gegenwärtig nur eine geringe Grundwasserneubildung simuliert, die unter Szenariobedingungen zum Erliegen kommt. Die grundwasserbeeinflussten Gleye und Auenböden wirken bereits in der Referenzperiode zumeist als Zehrstandorte. Unter der Annahme, dass die Grundwasserverhältnisse vergleichbar bleiben, kommt es in Zukunft auf diesen Standorten zu einem kontinuierlich starken Anstieg der Grundwasserzehrung.
- Schon heute besteht auf vielen grundwasserfernen Standorten Sachsen-Anhalts ein Dürrierisiko. Besonders auf den Schwarzerdeböden liegt entsprechend des Referenzzeitraums an mehr als 100 Tagen pro Jahr die Bodenfeuchte im Hauptwurzelraum unter 30 % der nutzbaren Feldkapazität. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird sich die Situation drastisch verschärfen. Besonders auf den untersuchten Ackerstandorten im nördlichen Harzvorland/Harzrandmulde sind die Böden quasi ganzjährig trocken.
- Eine zu hohe Bodenfeuchte ist heute besonders auf den grundwasserbeeinflussten Standorten ein Problem. Da bei den Untersuchungen die der-

zeitigen Grundwasserflurabstände ohne Veränderung auch für die Zukunft angenommen wurden, konnte keine wesentliche Verbesserung dieser Situation unter den Bedingungen des WETTREG-Szenarios festgestellt werden. Hier sind weitere Studien bei angemessener Berücksichtigung der zu erwartenden Veränderungen der Grundwasserstände durch die landesweit absinkenden Sickerwasserspenden erforderlich.

- Aufgrund der Bracheperioden ist die zukünftige Bodenwasserhaushaltssituation auf ackerbaulich genutzten Standorten etwas besser als unter anderen Nutzungsbedingungen. Kritisch wird die Lage bei den Forststandorten bewertet, sofern keine klimaangepasste Bewirtschaftung bis hin zum Umbau von nicht standortangepassten Nadelreinbeständen stattfindet.

Gebietswasserhaushalt und Gewässerabflüsse

- Der **mittlere Abfluss** wird in allen betrachteten Landschaftsräumen kontinuierlich zurückgehen. Die Auswirkungen sind in den Gebieten am gravierendsten, für die bereits in der Vergangenheit (1971–2000) ein starkes Feuchtedefizit vorlag.

Im Harzvorland, in der Lößregion, vor allem im mitteldeutschen Trockengebiet sinken die ohnehin geringen Niederschläge weiter ab. Die Zunahme der Verdunstung wird durch die zur Verfügung stehende Feuchte limitiert. Die schon derzeit sehr geringen Abflüsse sinken weiter.

Für den Festgesteinsbereich, insbesondere für die Hochlagen im Harz, ist ausgehend von derzeit recht hohen Niederschlägen künftig mit einer moderaten Abnahme des Niederschlages aber einer beachtlichen Zunahme der realen Verdunstung zu rechnen. Dies führt zu einer Reduktion der mittleren Abflüsse um bis zu 35% bis zum Zeitraum 2071–2100.

Im Tiefland sinken in Gebieten, die schon derzeit sehr geringe Niederschläge aufweisen, diese moderat weiter. In den Gebieten mit derzeit mittleren Niederschlägen kommt es zu einer starken Abnahme bei gleichzeitiger Zunahme der potenziellen Verdunstung. Hier ergeben sich beträchtliche Verschlechterungen der klimatischen Wasserbilanz. Auf grundwasser-geprägten Standorten steigt die reale Verdunstung sehr stark an. Es ergeben sich negative Grundwasserneubildungen (Zehrungen), was langfristig zu einem großräumigen Absinken der Grundwasserstände führen muss. Auf grundwasserfernen Standorten steigt die reale Verdunstung an, wird aber durch die zur Verfügung stehende Feuchte limitiert. Grundwasserneubildung und Abfluss verringern sich in Abhängigkeit von den lokalen Bodeneigenschaften (Speicherkapazität).

- Die betrachteten **Hochwasserkennwerte** (Scheitelabflüsse) werden in naher Zukunft (2011–2040) im Harzvorland und in der Schwarzerderegion ansteigen, während in den anderen Regionen keine signifikanten Änderungen gegenüber den derzeitigen Verhältnissen zu verzeichnen sind. In der entfernten Zukunft zeigte sich für alle Regionen eine Abnahme

der Hochwasserkennwerte. Die zunehmende Trockenheit erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass ein erster Anteil des hochwasserauslösenden Starkniederschlags zunächst zur Gebietsauffeuchtung beiträgt, bevor es zur Abflussbildung kommt. Zusätzlich führt die Erwärmung dazu, dass die Schneeschmelze, die insbesondere im Harz und im Harzvorland maßgeblich zur Hochwassergenese beiträgt, künftig geringer ausfällt.

- Die **Niedrigwasserkennwerte** weisen auf eine Verringerung der Niedrigwasserabflüsse und teilweise starke Zunahme des Andauerns von Niedrigwasserperioden hin. Hier ist die Entwicklung im Regenschatten des Harzes am gravierendsten, wo für die entfernte Zukunft 2071–2100 ein temporäres Trockenfallen von Gewässern angezeigt wird.

Anpassungsoptionen

Strategien mit hydrologischem Fokus zur Anpassung an den Klimawandel reichen von Maßnahmen zur Reduzierung der Gebietsverdunstung durch eine angepasste Bewirtschaftung land- und forstwirtschaftlicher Flächen bis hin zu klassischen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Minderung der Abflussextrême durch die Anlage von Speichern. Analysen zur Wirksamkeit solcher Maßnahmen unter geänderten Klimabedingungen sollten in künftigen Studien folgen.

Naturschutz

Literaturstudie zum Verhalten von Arten in Zeiten des Klimawandels und Zielstellung des Projektes

Aus der Literatur ist bekannt, dass der Klimawandel zu deutlichen Änderungen der Umweltbedingungen für viele Arten führen kann. Sind diese zur aktiven Fortbewegung befähigt, verlagern sie zumeist ihre Verbreitungsareale entsprechend der artspezifischen, klimatischen Ansprüche und in Abhängigkeit von der „Durchlässigkeit“ und Struktur der Landschaft (anthropogene Faktoren). Weniger bzw. nicht mobilen Arten, mit einer zumeist geringen ökologischen Amplitude gegenüber Klimawirkungen, droht hingegen vielerorts das lokale Aussterben. Zudem werden sich zahlreiche inter- und intraspezifische Beziehungen (u. a. Nahrungsnetze, koevolutionäre Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Bestäubern) innerhalb der Biozönosen verändern. Der Klimawandel stellt somit eine zusätzliche Gefährdung für viele, als schutzwürdig kategorisierte Arten und Lebensraumtypen dar. Vor allem Gewässerökosysteme und Feuchtgebiete werden angesichts des Klimawandels einer deutlichen Veränderung unterliegen.

Anhand der FFH-Gebiete „Aland-Elbe-Niederung nördlich Seehausen“ und „Mahlpfuhler Fenn“ sollten die Auswirkungen des Klimawandels auf die gelisteten, europäisch geschützten Arten und Lebensraumtypen umfassend analysiert werden.

Bewertung der Klimasensibilität der FFH-Arten und Lebensraumtypen

Nach Beurteilung von Grad und Richtung der Klimasensibilität war eine Abschätzung des Gefährdungsrisikos für viele Arten und alle Lebensraumtypen möglich. Insgesamt 13 Taxa wurden in die „Hochrisikogruppe“ eingeordnet. 7 % der Vogel-, 71 % der Amphibien-/Reptilien- und 16 % der Säugetierarten sind in dieser Gruppe vertreten. 30 Arten weisen ein mittleres Risiko bezüglich der Wirkungen des Klimawandels auf, 24 haben ein geringes Risiko, 10 Arten profitieren davon.

Bioklimatische Modellierung

Zur Beurteilung der Reaktion europäisch geschützter Arten wurde ein wissenschaftlich anerkanntes bioklimatisches Modell angewandt. In diesem werden drei europaweit erfassbare klimatologische Merkmale genutzt: Kälteverfügbarkeit, Feuchtegrad des Lebensraumes und Wärmeverfügbarkeit. Nach Ermittlung der Wertespannen der drei gewählten Klimaparameter in den derzeitigen Verbreitungsgebieten (klimatischer Rahmen) erfolgte für jeden Zeitraum und jede Art (außer Zugvögel) ein Abgleich der für die FFH-Gebiete postulierten Klimaparameter mit den ermittelten artspezifischen klimatischen Rahmen. Liegen alle drei Parameter innerhalb des klimatischen Rahmens, wird die Art vermutlich

zum entsprechenden Zeitraum weiterhin in dem Gebiet vorkommen. Fällt jedoch ein Parameterwert aus dem klimatischen Rahmen einer Art heraus, muss mit einer erhöhten Aussterbewahrscheinlichkeit der Art im jeweiligen Zeitraum gerechnet werden.

Nach Auswertung der Modellierungsergebnisse wurde deutlich, dass für viele Taxa zukünftig die zu geringe Kälteverfügbarkeit ein Problem werden wird. So droht selbst wärmeliebenden Arten ein lokales Aussterben. Als mögliche Ursache kommen u. a. Ungleichgewichte in der Nahrungskette, das „Hochfahren“ der physiologischen Aktivität im Winter sowie die Steigerung von Infektionen durch parasitische Pilze bei mildereren Wintertemperaturen in Frage.

Insgesamt 32 % der europäisch geschützten Arten in der Aland-Elbe-Niederung und 36 % der Arten im Mahlpfuhler Fenn laufen bis zum Ende des Jahrhunderts Gefahr, aufgrund eines zukünftig nicht mehr ihren Ansprüchen genügenden Klimas lokal auszusterben. Darunter befinden sich v. a.

- Arten, die aufgrund ihrer engen Anpassungen an definierte Feuchte und/oder Temperaturgrade sensibel auf Umweltveränderungen reagieren (z. B. Rotbauchunke, Grüne Mosaikjungfer), aber auch
- Taxa mit einer breiteren ökologischen Amplitude (z. B. Schlagschwirl, Zauneidechse).

Von der prognostizierten Temperatur- und Trockenheitszunahme in beiden FFH-Gebieten werden überwiegend diejenigen Lebensraumtypen mit einem hohen Anteil an Kälte- und Feuchtezeigern kurzfristig (2011–2040) am stärksten betroffen sein. Dies gilt in der Aland-Elbe-Niederung v. a. für den LRT 6440 (Brenndolden-Auenwiesen) und im Mahlpfuhler Fenn für den LRT 7140 (Übergangs- und Schwingrasenmoore).

Gebietsspezifische Maßnahmen gegen den Klimawandel

Maßnahmenstrategien zur Minimierung der Klimafolgen für europäisch geschützte Arten und Lebensraumtypen müssen

- einerseits die Erhöhung ihrer adaptiven Kapazität und
- andererseits die Reduktion möglichst vieler anthropogen bedingter Veränderungen in den Lebensräumen beinhalten.

Diese Veränderungen können von der Fragmentierung der Landschaft über Schad- und Nährstoffeintrag bis hin zur Beeinträchtigung ganzer Nahrungsketten reichen. Es gilt somit u. a.

- die Konnektivität von Lebensräumen zu erhalten oder wieder herzustellen (ökologische Durchgängigkeit, Biotopverbund),
- die Funktionalität besonders innendeichs liegender Altwässer in der Aland-Elbe-Niederung zu gewährleisten,

- die anthropogene Belastung von Ökosystemen mit Nähr- und Schadstoffen zu reduzieren,
- den Landschaftswasserhaushalt im Mahlpfuhler Fenn durch Maßnahmen des Wasserrückhaltes zu verbessern,
- standorttypische Gehölze und Gewässerrandstreifen am Aland zu etablieren und damit einen Puffer gegenüber schädlichen Einflüssen aus angrenzenden Nutzungen zu schaffen sowie
- spezifische Moor- und Feuchtgebietshabitate für stenotope Arten im Mahlpfuhler Fenn zu fördern.

Teil 3

Klimafolgenstudie 2012

Landwirtschaft

Autoren:

Landgesellschaft Sachsen-Anhalt
C. Deimer

Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz
M. Steininger

Kurzfassung

zum Abschlussbericht

Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

Los 2: Landwirtschaft

Bearbeiter:

Dr. Cornelia Deimer
Landgesellschaft Sachsen-Anhalt GmbH
Große Diesdorfer Straße 56/57
39110 Magdeburg
Tel.: 0345-6911123
e-mail: deimer.c@lgsa.de

Dr. Michael Steininger
Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz
Ellen-Weber-Straße 98
06120 Halle/Saale
Tel.: 0345-5505764
e-mail: m.steininger@bodensachverstaendige.de

Halle (S.), 30.11.2012

1 Zielstellung

Die Bearbeitung des Loses 2 `Landwirtschaft` verfolgt innerhalb des Gesamtvorhabens `Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt` das Ziel, die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die Ertragsentwicklung der Fruchtarten Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterraps, Sommergerste und Silomais zu quantifizieren. Hierbei werden die langfristigen Klimaänderungen bis 2100 berücksichtigt. Witterungsbedingte Ertragsschwankungen in Einzeljahren werden hingegen nicht wiedergegeben. Grundlage für die Abbildung des Klimawandels bildet das Klimaszenario WETTREG2010 A1B in den Prognosezeiträumen 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100.

In die Ertragsprognose bis 2100 flossen die Entwicklungstrends Ertragssteigerung durch CO₂-Düngungseffekt, durch Züchtungsfortschritt, Einsatz wassersparender Bodenbearbeitungssysteme und Beregnung ein. Die Wirkungsfaktoren dieser Trends wurden anhand von Ergebnissen aus Literaturrecherchen in Absprache mit der landwirtschaftlichen Fachbehörde Sachsen-Anhalt definiert.

2 Methodisches Vorgehen und Arbeitsschritte

Der Modellansatz zur Ertragsschätzung landwirtschaftlicher Kulturarten beruht auf der Arbeit von KINDLER (1992) sowie deren Weiterentwicklung durch MIRSCHEL et al. (2003, 2006) und basiert auf der Ausweisung von standortdifferenzierten, klimaunabhängigen Naturalgrunderträgen. Der Einfluss des Klimas auf die Ertragshöhe wird in einem zweiten Modellschritt über klimaabhängige standortspezifische Ertragsterme und Regressionen quantifiziert.

Für die Abbildung des Standortes gehen die Standortfaktoren bodenkundlicher Standorttyp, Höhenlage, Hydromorphie sowie die Acker- und Grünlandzahl in das Modell ein. Der Klimaeinfluss wird über eine Klimazonierung der Landesfläche, wachstumswirksame Temperaturen in fruchtartenabhängigen Wachstumsphasen sowie die Klimatischen Wasserbilanzen definiert.

Der Ertragsprognose vorgeschaltet ist eine mehrstufige Prüfung und Validierung des Modells ausgehend von der Schlag- bis hin zur Landkreisebene, was die schrittweise Übertragung von Punktergebnissen in die Fläche und Validierung sowie räumliche und faktorenspezifische Anpassung der modellinternen Korrekturfaktoren zulässt. Auf der Basis dieser Modellanpassung erfolgen dann die Ertragsprognosen in den drei Prognosezeiträumen bis 2100 unter Zugrundlegung der oben genannten Entwicklungstrends. Als Modellebene wurden die auf Basis der bodenklimatischen-Verhältnisse ausgegrenzten Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG) genutzt. Abschließend erfolgte die Aggregation von dieser Ebene auf die Landesfläche Sachsen-Anhalts.

3 Datengrundlagen

Für die Bearbeitung des Vorhabens wurden die aufgeführten Datengrundlagen und Informationen genutzt:

Datengrundlage	Datenquelle
Digitale Grenzen der administrativen Einheiten Sachsen-Anhalts (Gemarkung, Landkreis, Land)	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG)



Digitale Grenzen der Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete einschließlich Charakteristik der Gebiete (Bodenausstattung, Agrarstruktur, Relief, Klima)	LLFG
Digitales Geländemodell Sachsen-Anhalt (10-m-Rasterweite)	LLFG
Digitale Karte der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK)	LLFG
Digitale Karte der Vorläufigen Bodenkarte 1:50.000 Sachsen-Anhalt (VBK 50) einschließlich Profildatenbank	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Digitale Datenbasis Agraratlas Sachsen-Anhalt (gemeindebezogene Acker- und Grünlandzahlen, gemeindebezogene Aufbereitung der MMK, Klimaauswertungen)	LLFG
Unterlagen der GEMDAT mit Verknüpfung zur digitalen Datenbasis Agraratlas	MISB
Ertragsdaten für die Versuchstationen der LLFG (Landessortenversuche) einschließlich der bodenkundliche Standortdaten sowie der Klimadaten für die Versuchstationen	LLFG
Ertragsdaten aus praxisnahen Feldversuchen der LLFG (Bodendauerbeobachtungsflächen)	LLFG
Standortabhängige Erträge aus dem SBA-Datenspeicher auf der Aggregierungsebene Gemarkung/Gemeinde	LLFG
Ertragsstatistiken auf Kreis- und Landesebene 2001 bis 2010	LLFG
Auf Ebene der Gemarkungen oder Vergleichsgebiete aggregierte Anbaustatistiken der Jahre 2006 bis 2009 aus den INVEKOS-Unterlagen	LLFG
gemessene Klimadaten in Tagesauflösung der Zeitreihe 1961 bis 2010 für die Klimamessstationen Sachsen-Anhalts sowie aus angrenzenden Bundesländern aus der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)
Klimadaten in Tagesauflösung des WETTREG2010-Szenario A1B der Zeitreihe 2011 bis 2100 für Sachsen-Anhalt sowie aus angrenzenden Bundesländern aus der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt	LAU, BAH
Ergebnisse der Bearbeitung des Loses 1	BAH, LAU

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Entwicklung des Wasserhaushaltes (Los 1.3, PFÜTZNER et al., 2012; Büro für angewandte Hydrologie Berlin) zeigen, dass es bis zum Ende des Prognosezeitraumes 2100 zu einer starken Veränderung der klimatischen Verhältnisse in Mitteldeutschland in Folge des Klimawandels kommen wird. Dies manifestiert sich u. a. durch ein verringertes Niederschlagsaufkommen und steigende Temperaturen. Die Auswirkungen auf die Klimatische Wasserbilanz und somit auf das pflanzenverfügbare Bodenwasser zeigt Abb. 1.



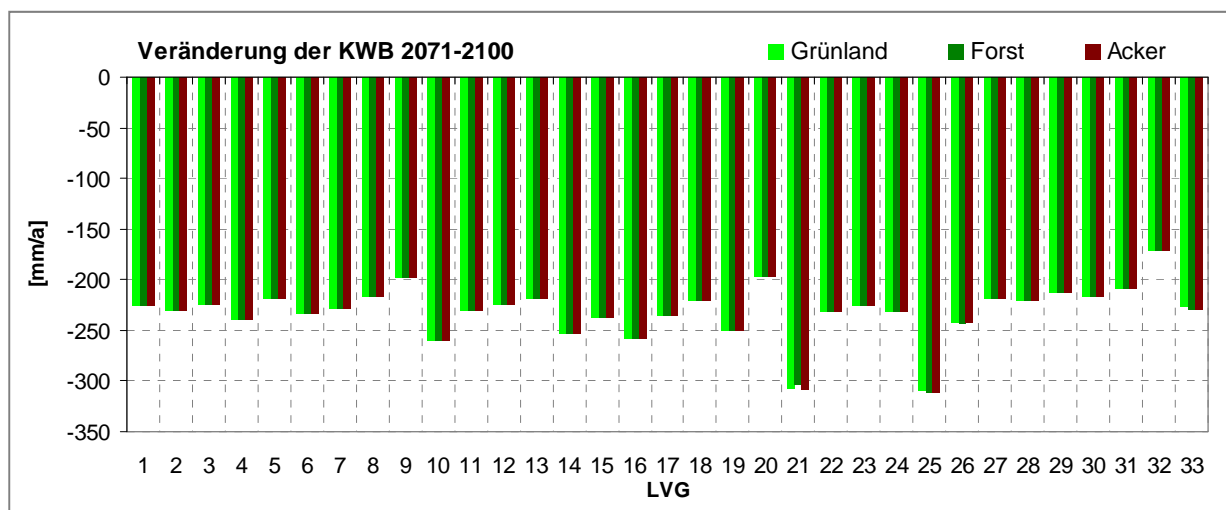


Abb. 1: Veränderung der KWB 2071-2100 im Vergleich zur Referenzsituation (Median der 10 WETTREG2010-Realisierungen) für die einzelnen LVG und Nutzungsarten (Quelle: PFÜTZNER et al., 2012)

Das veränderte Wasserdargebot wirkt sich langfristig negativ auf die Ertragsentwicklung aus und kann nicht bedingt durch die positive Entwicklung der anderen Wachstumsfaktoren kompensiert werden. In Abb. 1 sind exemplarisch für die Landesfläche Sachsen-Anhalts die relativen Ertragsänderungen 2011 bis 2100 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 dargestellt.

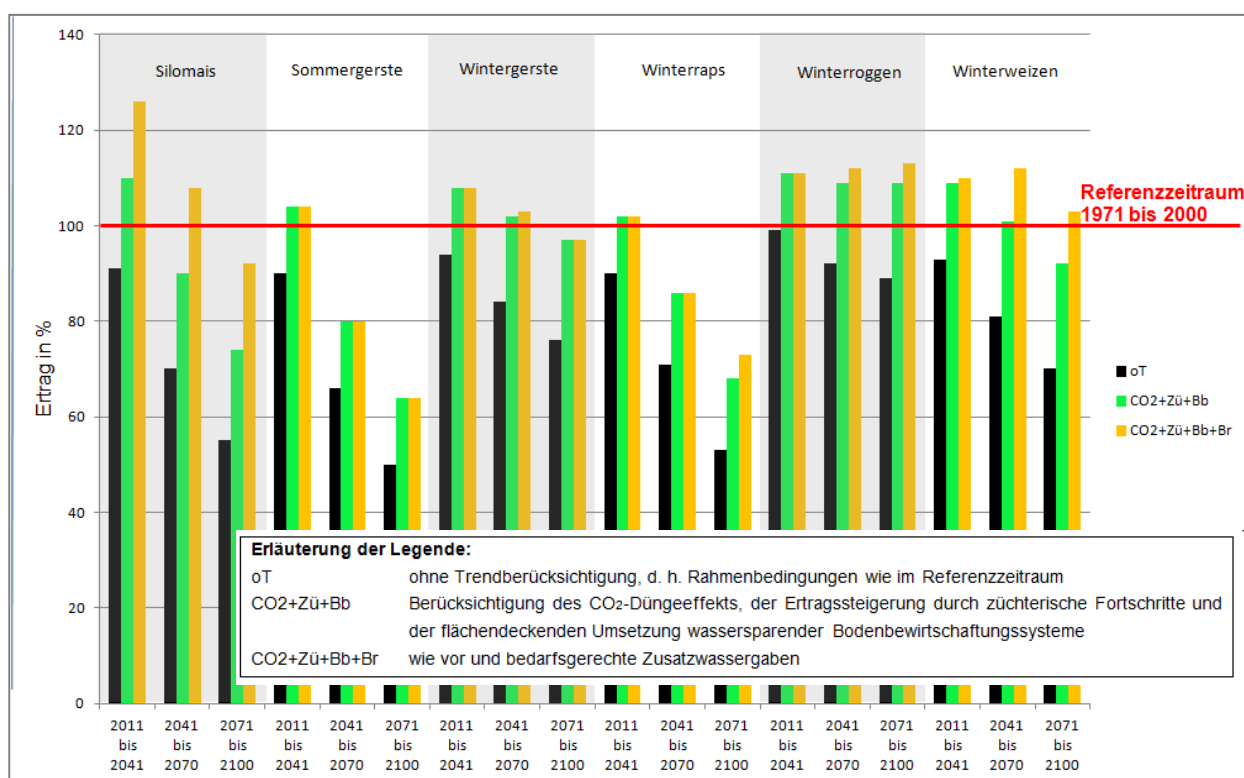


Abb. 2: Übersicht der relativen Ertragsänderungen 2011 bis 2100 für die Landesfläche Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Trendszenarien in Bezug auf die Ertragssituation im Referenzzeitraum 1971 bis 2000



Hinsichtlich der Modellsicherheit ist anzumerken, dass diese stark von den Ergebnissen der Klimamodellierung abhängig ist. Unter Wertung der Modelleingangskennwerte sind die Ertragsentwicklungen für den 1. Prognosezeitraum als sicher einzustufen. Für die weiteren Zeiträume nimmt die Aussagesicherheit zunehmend ab.

Für die landwirtschaftlich genutzten Standorte Sachsen-Anhalts lassen sich bezüglich der Ertragsentwicklung in den 3 Prognosezeiträumen 2011 bis 2040, 2041 bis 2070 und 2071 bis 2100 folgende Entwicklungstrends ableiten:

- Im Zeitraum 2011 bis 2040 liegt das zu erwartende Ertragsniveau für die sechs betrachteten Fruchtarten in allen LVG's Sachsen-Anhalts auf dem Referenzniveau der mittleren Erträge im Zeitraum 1971 bis 2000 oder leicht darüber. Die Sicherung des Ertragsniveaus gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels wird in diesem Zeitraum durch die zu erwartenden Ertragsteigerungen durch den CO₂-Effekt, züchterischen Fortschritt und die weitere Etablierung wassersparender Bodenbewirtschaftungssysteme gewährleistet.
- Zusatzwassergaben sind im 1. Prognosezeitraum nur im Rahmen der gegenwärtigen Bedürftigkeit notwendig und sollten vorrangig der Sicherung der Silomaiserträge dienen.
- Ab den Prognosezeiträumen nach 2040 werden Differenzierungen innerhalb der Fruchtarten und den landwirtschaftlich genutzten Standorten Sachsen-Anhalts in `Gewinner` und `Verlierer` des Klimawandels sichtbar.
- Für die Wintergetreidearten als Gewinner ist lediglich ein geringer Ertragsrückgang zu beobachten, der von Löss- über Lehm- zu den Sandstandorten zunimmt.
- Sommerungen und Winterraps als Verlierer weisen starke Rückgänge innerhalb der gleichen, oben genannten räumlichen Differenzierung auf.
- Die Anbaueignung von Sommergerste und Winterraps auf den sandigen Standorten ist langfristig zu diskutieren.
- Silomais bedarf auf allen Standorten insbesondere jedoch auf den lehmigen und sandigen der Gabe von Zusatzwasser zur Ertragsteigerung, um die Tierproduktion langfristig zu sichern.

5 Literatur

Kindler, R. (1992): Ertragsschätzung in den neuen Bundesländern. - In: Verlag Pflug und Feder GmbH

Mirschel, W., Wieland, R. und K.-O. Wenkel (2003): Bedeutung der Modellwahl bei der Ertragsschätzung - Bauernschläue vs. Agrarwissenschaft-. In: Gnauck, A. (Hrsg.): Theorie und Modellierung von Ökosystemen: Workshop Kölpinsee 2001. (Berichte aus der Umweltinformatik), Shaker Verlag Aachen, 2003, S. 162 - 186

Mirschel, W., Schultz, A., Wieland, R., Lutze, G. und K. Luzi (2006): Modellgestützte Analyse ausgewählter Größen des Landschaftshaushaltes am Beispiel der Agrarfläche der Ziethener Moränenlandschaft. In: Lutze, G.; Schultz, A.; Wenkel, K.-O. (Hrsg.): Landschaften beobachten, nutzen und schützen – Landschaftsökologische Langzeit-Studie in der Agrarlandschaft Chorin 1992 - 2006. G. B. TeubnerVerlag, Wiesbaden, 2006, S. 164 - 195

Pfützner, B., Klöcking, B., Schumann, A. und P. Hesse (2012): Endbericht zum Los 1.3 (Wasser) - Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt. - unveröffentlicht



Teil 4

Klimafolgenstudie 2012

Forstwirtschaft

Autoren:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

J. Suttmöller, B. Ahrends, M. Schmidt, M. Albert, S. Fleck, P. Plašil, J. Hansen,
M. Overbeck, R. Nagel, J. Evers, H. Spellmann, H. Meesenburg



NW-FVA
Nordwestdeutsche
Forstliche
Versuchsanstalt



Kurzfassung

Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

Los 3: Forstwirtschaft

Bearbeiter:

Johannes Suttmöller, Bernd Ahrends, Matthias Schmidt, Matthias Albert,
Stefan Fleck, Pavel Plašil, Jan Hansen, Marc Overbeck,
Ralf-Volker Nagel, Jan Evers, Hermann Spellmann, Henning Meesenburg

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Göttingen, April 2013

Kurzfassung

Im Rahmen der Studie „Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt, Los 3: Forstwirtschaft“ wurden Veränderungsanalysen durchgeführt, die das Gefährdungspotenzial für die Waldstandorte und Waldbestände in Sachsen-Anhalt als Folge des Klimawandels darstellen. Im Einzelnen wurden folgende Aspekte untersucht:

- Veränderung des Trockenstressrisikos
- Veränderungen der Stickstoffeinträge
- Analyse der Standort-Leistungs-Beziehungen
- Sturmschadensrisiko
- Waldbrandrisiko
- Buchdruckerbefallsrisiko bei Fichte

Aufgrund verringerter Wasserverfügbarkeit wird ein zunehmendes Trockenstressrisiko für alle Hauptbaumarten in Sachsen-Anhalt erwartet. Dieses fällt besonders deutlich im Betrachtungszeitraum 2071 – 2100 und für die Baumarten Fichte und Buche aus. Für Kiefer, Eiche und Douglasie ist auch gegen Ende dieses Jahrhunderts nur ein mittleres Trockenstressrisiko zu erwarten. Regionen mit zukünftig hohem Trockenstressrisiko sind insbesondere die Tieflandsbereiche im Norden und Osten des Landes. In großen Teilen des Harzes ist auch weiterhin mit ausreichender Wasserverfügbarkeit durch hohe Niederschläge zu rechnen.

Die atmosphären Stickstoffeinträge als wesentliche Einflussgröße auf den Nährstoffhaushalt von Waldstandorten haben während der letzten 15 Jahre in Sachsen-Anhalt leicht abgenommen. Für die Zukunft wird mit einer weiteren Reduktion der Einträge gerechnet. Jedoch wird erwartet, dass die bisherigen Stickstoffeinträge noch lange wirksam sind, da ein hoher Anteil in Waldbeständen und Waldböden gespeichert wurde.

Die Analyse der Standort-Leistungs-Beziehungen legt aufgrund eines höheren Wärmeangebots ein zukünftig höheres Wuchspotenzial in den mittleren und höheren Lagen des Harzes nahe, während im Tief- und Hügelland im Zeitraum 2071 – 2100 in Abhängigkeit der jeweiligen Standortbedingungen ein eher geringeres Wachstum zu erwarten ist. Hier wird die abnehmende Wasserverfügbarkeit zum begrenzenden Faktor.

Die Beurteilung des zukünftigen Sturmschadensrisikos wird durch fehlende bzw. unsichere Informationen zu Sturmhäufigkeiten und -intensitäten erschwert. In dieser Studie werden daher die Erfahrungen aus dem Jahrhundertsturm „Lothar“ genutzt, um das Risiko für zukünftige Sturmschäden aufgrund von Bestandes- und Standortseigenschaften abzuschätzen. Danach wird aufgrund der

Alters- und Höhenentwicklung der meist jungen und mittelalten Waldbestände in Sachsen-Anhalt ein zunehmendes Sturmschadensrisiko erwartet. Dieses ist für Fichtenbestände aufgrund der artspezifischen Disposition und der höheren Anteile größerer Baumhöhen am höchsten. Geländebedingt weisen Fichtenbestände jedoch auch eine hohe Variabilität auf, da im bevorzugten Vorkommensgebiet der Fichte des Harzes sowohl sehr exponierte als auch sehr geschützte Lagen auftreten. Grundsätzlich zeigen Kiefer und Eiche ähnliche zeitliche Entwicklungen der Risikostrukturen, wobei das Risikoniveau der Kiefer deutlich geringer als das der Fichte ist und die Eiche ein nochmals deutlich geringeres Niveau aufweist.

Das Waldbrandrisiko für Sachsen-Anhalt wurde mit zwei verschiedenen Waldbrandindices beschrieben, die das bisherige Waldbrandgeschehen gut nachzeichnen und zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Angewandt auf den Projektionszeitraum der Klimaszenarien wird das Waldbrandrisiko in Sachsen-Anhalt zukünftig deutlich ansteigen. In der Periode 2071 – 2100 wird demnach die Zahl der Tage mit hohem Waldbrandrisiko mehr als doppelt so hoch wie derzeit sein. Das höchste Risiko ist in den nordöstlichen Bereichen des Tieflands zu erwarten.

Zur Beschreibung des Buchdruckerbefallsrisikos der Fichte wurde ein für das niedersächsische Bergland entwickeltes Modell auf den Ostharz übertragen. Dieses bezieht Klima- und Standortinformationen in die Schätzungen ein, so dass Projektionen für die zukünftige Entwicklung des Buchdruckerbefallsrisikos möglich sind. In Zukunft ist aufgrund eines höheren Wärmeangebots und der erhöhten Befallsdisposition der Fichten durch verringerte Wasserverfügbarkeit mit einer deutlich steigenden Zahl an Käfergenerationen und damit erhöhtem Befallsrisiko zu rechnen. Das Risiko ist am höchsten in alten Fichtenreinbeständen, während mittelalte Bestände weniger betroffen sind. Mittelfristig wird das Risiko auch deshalb zunehmen, weil das mittlere Alter der Fichtenbestände im Harz deutlich zunehmen wird. Weiterhin weisen südexponierte Standorte und Standorte mit einer geringeren Wasserspeicherkapazität ein etwas erhöhtes Risiko gegenüber Schatthängen und Böden mit mittlerer bzw. hoher Wasserspeicherkapazität auf.

Nach einer Sichtung verfügbarer Quellen zu biotischen Waldschutzproblemen in den letzten Jahrzehnten muss in der Zukunft mit teilweise erheblich zunehmenden biotischen Risiken für alle Hauptbaumarten gerechnet werden. Dabei profitieren insbesondere pilzliche Erreger von milden Wintertemperaturen bei ausreichender Feuchtigkeit. Der Reproduktionserfolg von Schadinsekten wird dagegen von erhöhten Sommertemperaturen bzw. steigenden Wärmesummen während der Vegetationszeit positiv beeinflusst. Die Beurteilung zukünftiger Waldschutzrisiken wird insbesondere durch bisher oftmals unbekannte Interaktionen verschiedener Schaderreger und ihrer jeweiligen Reaktion auf Klimaänderungen erschwert.

Aus den Ergebnissen der Veränderungsanalysen zu abiotischen und biotischen Risiken und des Standort-Leistungs-Bezugs lassen sich vorläufige Schlussfolgerungen für waldbauliche Anpassungsmaßnahmen ableiten. Im Vordergrund steht dabei die Stabilisierung bestehender Bestände sowie die Senkung bzw. Verteilung von

Risiken. Erst mit dritter Priorität werden Waldumbaumaßnahmen empfohlen, die den Anbau standortsgemäßer Baumarten sowie den Anteil von Mischbeständen fördern sollen. Bei allen Anpassungsmaßnahmen sollte eine ausgewogene Berücksichtigung der verschiedenen Ökosystemdienstleistungen der Wälder verfolgt werden.

Teil 5

Klimafolgenstudie 2012

Anpassungsmaßnahmen

Teil 5

Autoren:

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

B. Hansjürgens, O. Gebhardt, T. Zölch, C. Heuson, S. Melch

Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt

Los 4: Anpassungsmaßnahmen

Kurzfassung Projektbericht November 2012

Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt
mit fachlicher Begleitung durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)

Vergabe-Nr. 1.2-44761-02-2011

Auftragnehmer:

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ
Department Ökonomie

Projektleitung:

Prof. Dr. Bernd Hansjürgens
Department Ökonomie
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Pol., Dipl.-Verw.Wiss. Oliver Gebhardt - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Teresa Zölch, M.Sc. - Climate Service Centre – CSC

Dr. Clemens Heuson - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Simon Melch, B.A. - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Kontakt:

Oliver Gebhardt
Department Ökonomie – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
 0341-235 1477
 Oliver.Gebhardt@ufz.de

1 Einleitung

Das Klima wandelt sich. Alle Anstrengungen den Klimawandel zu begrenzen oder zu verlangsamen können nicht verhindern, dass sich Gesellschaften in einigen Bereichen auf veränderte klimatische Rahmenbedingungen werden einstellen müssen. Diese Notwendigkeit wurde in den vergangenen Jahren auf unterschiedlichen politischen Ebenen erkannt, und es wird versucht, ihr durch die Entwicklung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel zu begegnen. Sachsen-Anhalt ist unter den deutschen Bundesländern einer der Vorreiter dieser Klimaanpassungsbemühungen.

Grundlage eines wirksamen und effizienten Umgangs mit den sich aus dem Klimawandel ergebenden Herausforderungen stellen szenariobasierte Untersuchungen wahrscheinlicher Veränderungen relevanter klimatischer Parameter und deren räumlich-sektoralen Auswirkungen dar. Das bestehende Wissen darüber, wie sich das Klima in Sachsen-Anhalt voraussichtlich wandeln wird und welche Folgen diese Veränderungen haben werden, basiert zu einem großen Teil auf zwei umfassenden Klimafolgenstudien, die vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt in Auftrag gegeben wurden.

- Im Jahr 2009 führte das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (Kropp et al. 2009) für Sachsen-Anhalt eine Klimafolgenstudie durch, die sowohl Ergebnisse regionalisierter Klimaprojektionen als auch Analysen zu den Folgen des Klimawandels in den Sektoren Wasser, Boden, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz und Weinbau beinhaltete.
- Im Jahr 2012 wurde durch eine Gruppe von Forschungs- und Beratungsinstituten (CEC, BAH, BIOTA, NW-FVA) eine weitere Studie erarbeitet, die zum Ziel hatte, die Erkenntnisse der ersten Klimafolgenstudie des PIK zu validieren und zu erweitern. In Einzelstudien wurden die klimatischen Veränderungen auf regionaler Ebene (Kreienkamp, Spekat, Enke 2012) sowie deren Auswirkungen in den Handlungsfeldern Wasser (Pfützner et al. 2012), Landwirtschaft (Deimer, Steininger 2012), Forstwirtschaft (Sutmöller et al. 2012) und Naturschutz (Thiele et al. 2012) analysiert.

Das Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ wurde beauftragt, u.a. unter Berücksichtigung dieser Untersuchungen, einerseits eine bewertende Betrachtung der 2010 von der Landesregierung beschlossenen Anpassungsstrategie vorzunehmen und andererseits für ausgewählte Handlungsfelder Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren, die das Erreichen der anpassungsbezogenen Zielsetzungen in ausgewählten Handlungsfeldern im besonderen Maße befördern.

2 Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Neue Herausforderungen?

Das Vorliegen aktualisierter Informationen zu den erwarteten klimatischen Veränderungen sowie deren sektoralen Auswirkungen wirft die Frage auf, ob sich aus diesen Erkenntnissen neue Handlungserfordernisse ergeben, die in der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel Berücksichtigung finden sollten. Die Zusammenschau der Klimafolgenstudien zeigt, dass der Klimawandel in Sachsen-Anhalt bereits Realität ist und bis Ende des Jahrhunderts weitere substantielle Veränderungen zu erwarten sind (vgl. auch Tabelle 1):

Tabelle 1: Veränderung ausgewählter klimatischer Parameter auf Landesebene

Klimatischer Parameter	Jährlicher Mittelwert im Basiszeitraum 1971-2000 (1961-1990)		Veränderungen im Vergleich zum Basiszeitraum: 2011-2040		Veränderungen im Vergleich zum Basiszeitraum: 2041-2070		Veränderungen im Vergleich zum Basiszeitraum: 2071-2100	
Regionales Klimamodell	WETTREG-2010 (WETTREG)	REMO (REMO)	WETTREG-2010 (WETTREG)	REMO (REMO)	WETTREG-2010 (WETTREG)	REMO (REMO)	WETTREG-2010 (WETTREG)	REMO (REMO)
Temperatur [°C]	8,8 (8,9)	9,4 °C (9,1 °C)	+0,9 (+0,2)	+0,6 (+0,6)	+2,2 (+1,4)	+1,8 (+1,8)	+3,4 (+2,3)	+3,1 (+3,0)
Niederschlag [mm]	588 (552)	690,7 (702)	-8,8 (-13)	+21,4 (+12)	-33,5 (-35)	+64,9 (+55)	-52,9 (-18)	+26,9 (+21)
Klimatische Wasserbilanz (KWB) [mm]	0,4 (19)	-* (67)	-45,9 (-25)	-* (-2)	-152,9 (-89)	-* (+14)	-237,8 (-91)	-* (-53)
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,2	2,8	0	0	-0,1	+0,1	-0,1	+0,1
Dauer der thermischen Vegetationsperiode [d]	246,1	252,7	-0,8	+3,6	+30,8	+34,6	+70,2	+39,9

Anmerkung: *Aussagen zur KWB können unter Verwendung von REMO nicht direkt getroffen werden, da das Modell die Sonnenscheinstunden/Tag nicht berechnet. (Kreienkamp, Spekat, Enke 2012, S. B.XII). In Kropp et al. (2009, S. 25f) wurde der REMO-Datensatz durch die Berechnung der Globalstrahlung sowie deren Prüfung mittels empirischer Daten ergänzt. Dies ermöglichte es, die potentielle Evapotranspiration und klimatische Wasserbilanz zu berechnen.

Quelle: Kropp et al. (2009, S. 34), Kreienkamp, Spekat, Enke (2012, S. 12-13, 15-25, 33, Anhang C.I-E.IX); Eigene Berechnung auf Basis von Kropp et al. (2009), Kreienkamp, Spekat, Enke (2012).

- Bis Ende des Jahrhunderts nimmt die Tagesdurchschnittstemperatur um 3,1 - 3,4 °C zu, die Klimatische Wasserbilanz verschlechtert sich substantiell und die Vegetationsperiode wird um 40 - 70 Tage länger andauern. Die Entwicklungen von Niederschlag und Windgeschwindigkeit werden durch die verschiedenen Modelle unterschiedlich projiziert: Die jährliche Niederschlagssumme nimmt nach WETTREG und WETTREG2010 im Landesdurchschnitt ab und nach den REMO-Projektionen leicht zu. Es wird dabei jedoch zu erheblichen regionalen und saisonalen Unterschieden kommen. So werden die Niederschläge im Sommer abnehmen und v.a. im Winter, auf Basis von REMO auch im Herbst und Frühjahr, zunehmen. Der größte Rückgang der jährlichen Niederschlagssumme wird für das nördliche Sachsen-Anhalt erwartet.
- Die dargestellten Veränderungen der Durchschnittswerte wichtiger klimatischer Parameter stellen nur eine Seite des Klimawandels dar. Ähnlich wichtig ist es, die Entwicklung der Extrema besonders relevanter klimatischer Parameter zu untersuchen. Für Sachsen-Anhalt wurden in der ersten Klimafolgenstudie des PIK keine konkreten Extremwertbetrachtungen vorgenommen, aber die zu erwartende Entwicklungen des Auftretens extremer Wetterereignisse, wie bspw. Hitzewellen und Dürren, oder auch einzelner Klimakenntage, wie bspw. Hitzetage und Tropennächte, beschrieben. Die Klimafolgenstudie 2012 geht detaillierter auf die Entwicklungen der Extremwerte einzelner Klimaparameter ein.
- Die Auswertung für die Tageshöchsttemperaturen zeigt, dass insgesamt ein Anstieg der Werteniveaus zu erwarten ist. Zudem werden die entsprechenden Schwellwerte in Zukunft häufiger überschritten. Die Tageshöchsttemperatur im Sommer, die im Zeitraum 1971-

2000 lediglich an 1% der Tage, pro Jahr also an 3,65 Tagen (\triangleq Perzentil 99 [P99]), jährlich auftrat, wird gegen Ende des Jahrhunderts knapp sechsmal (REMO) bzw. etwa zwölfmal (WETTREG2010) so häufig auftreten (Kreienkamp, Spekat, Enke 2012, S. 45).

- Die Niederschlagsextreme [P99] ändern sich hingegen auf Basis von WETTREG2010 für den Großteil des Landes nur geringfügig. Die Änderungen der Niederschlagsextreme auf Basis von REMO sind z.T. wesentlich heterogener. Für den Sommer wird im Süden und in der Mitte des Landes eine starke Zunahme (z.T. +70%) von Niederschlägen und deren starke Abnahme (z.T. -70%) im Norden projiziert. Im Winter mit einer Zunahme von Niederschlagsextreme gerechnet (Kreienkamp, Spekat, Enke 2012, S. 45ff).
- Die Modelle berechnen eine Abnahme von extremen Windereignissen [P99], im Sommer und eine Zunahme im Winter: REMO (Sommer -25%, Winter +200%, Jahresdurchschnitt +60%) und WETTREG2010 (Sommer -70%; Winter +90%, Jahresdurchschnitt +30%) (Kreienkamp, Spekat, Enke 2012, S. 47).

Insgesamt zeichnen die Klimafolgenstudien 2009 und 2012 ein sehr ähnliches Bild von den zu erwartenden klimatischen Veränderungen und deren Auswirkungen in Sachsen-Anhalt. Die aktuelle Studie erweitert das vorhandene Wissen dabei nicht nur durch eine profundere Extremwertbetrachtung, sondern die einzelnen sektoralen Analysen verbessern die Informationslage bezüglich der konkreten Auswirkungen und (nutzungsbezogenen) Folgen des Klimawandels in den für Sachsen-Anhalt als besonders relevant erachteten Bereichen Wasser-, Forst, Landwirtschaft und Naturschutz. Sie umfasst vertiefende Analysen bspw. zur Entwicklung Wasserhaushalts in kleinerer Wassereinzugsgebiete oder der Ertragsentwicklung verschiedener Fruchtarten an spezifischen Standorten sowie eingehende sektorale Risikobetrachtungen bspw. hinsichtlich der Entwicklung des Schädlingsbefalls im Forstsektor. Sie erweitern das bestehende Wissen bezüglich der sektorspezifischen Auswirkungen des Klimawandels sowie deren nutzungsbezogenen Folgen.

3 Evaluierung der Anpassungsstrategie des Landes Sachsen-Anhalt an den Klimawandel

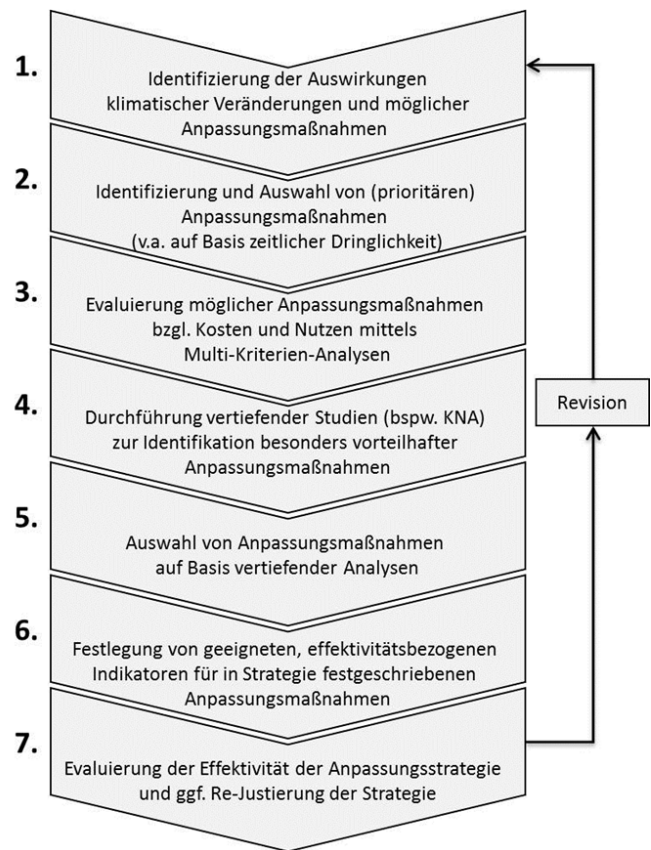
3.1 Prozessuale Analyse der Strategieentwicklung

Die Erstellung einer Klimaanpassungsstrategie kann in Abhängigkeit von den spezifischen Rahmenbedingungen auf unterschiedliche Weise erfolgen. Dennoch zeigt eine vergleichende Betrachtung des Strategiefindungsprozesses in verschiedenen Bundesländern, aber auch auf kommunaler oder Bundesebene, dass dabei aus guten Gründen ähnliche Schritte aufeinander folgen. In der Regel schließt sich an eine Analyse der konkreten klimatischen Veränderungen und deren Auswirkungen auf der jeweiligen Betrachtungsebene die Ermittlung möglicher Anpassungsmaßnahmen an. In diesem Zusammenhang werden ggf. bereits durchgeführte Anpassungsmaßnahmen ermittelt und in der Maßnahmendokumentation berücksichtigt. Aus diesem Möglichkeitsraum werden oft unter Verwendung von Bewertungskriterien besonders vorteilhafte Maßnahmen ausgewählt, die Eingang in die anpassungsorientierten Strategiepapiere finden. In der Regel wird mit Vorlage dieser Dokumente auch deren regelmäßige Überprüfung angestrebt.

Eine der Empfehlungen, wie ein solcher Prozess der Strategiefindung idealtypisch ablaufen könnte, wurde von Hallegatte, Lecocq, de Perthuis (2011) in Form eines 7-stufigen Leitfadens zur Ausarbeitung von Anpassungsstrategien vorgelegt (vgl. Abbildung).

Diese normative Heuristik hat den Anspruch, einen idealen Prozess der Formulierung einer effektiven und kohärenten Anpassungsstrategie zu beschreiben. Auch wenn eine erfolgreiche Anpassungsstrategie nicht notwendigerweise diesem idealisierten Ablauf folgen muss, so kann dieser für die Reflektion empirischer Strategiefindungsprozesse durchaus hilfreich sein.

Die Untersuchung des Strategiefindungsprozesses unter Nutzung dieser Heuristik kam zu dem Ergebnis, dass der skizzierte idealtypische Prozess der Strategieentwicklung in Sachsen-Anhalt teilweise, aber nicht vollständig durchlaufen wurde. Es fallen insbesondere drei Aspekte auf:



- Es ist unklar, welche Kriterien - über den Umstand der bereits laufenden Durchführung bzw. gesicherten Finanzierung sowie dem No Regret-Charakter der Anpassungsmaßnahmen hinaus - Grundlage dafür waren, diese Maßnahmen in den Aktionsplan aufzunehmen. Die Kriterien sollten offengelegt werden.
- Bei der Erstellung von Anpassungsstrategie wurde zwar noch nicht auf die Ergebnisse detaillierter Bewertungen von Anpassungsmaßnahmen (bspw. mit den Methoden der Multikriterienanalyse oder Kosten-Nutzen-Analyse) zurückgegriffen. Mit der Berücksichtigung derartiger Analysen ist bei der Überarbeitung der Dokumente aber zu rechnen.
- Das bisherige Fehlen eines Monitorings der Effektivität von Anpassungsstrategien und -maßnahmen ist unter Berücksichtigung der hiermit verbundenen wissenschaftlichen Vorarbeiten und Aufwendungen nachvollziehbar. Ein geeignetes Evaluierungssystem kann jedoch als wesentliche Voraussetzungen für das Erreichen der durch die Anpassungsstrategie verfolgten Ziele betrachtet werden.

3.2 Wirtschaftswissenschaftliche Analyse der Begründbarkeit staatlichen Handelns

In einem zweiten Schritt wurde geprüft, ob die staatlichen Maßnahmen in Anpassungsstrategie und Aktionsplan aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht zu rechtfertigen sind.

Folgende in der Literatur¹ als legitim diskutierte Arten staatlichen Handelns wurden für die Analyse herangezogen:

- Förderung von klimawandelbezogener Wissensproduktion und technischen Innovationen,
- Ermittlung von Frühwarnsignalen,
- Bereitstellung und Verteilung von klimawandelbezogenen Informationen,
- Anpassung von Normen und Regulationen,
- Anpassung des Katastrophenschutzes,
- Schaffung von Anreizen und ggf. Bereitstellung von Subventionen, um private Anpassungsmaßnahmen zu initiieren,
- Bereitstellung und Anpassung lokaler öffentlichen Gütern,
- Regulierung natürlicher Monopole,
- Etablierung funktionierender Versicherungsmärkten.

Es wurde gezeigt, dass die in den Handlungsfeldern Wasser, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Naturschutz betrachteten Aufgaben aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht allesamt legitime Formen staatlichen Handelns darstellen. Es zeigte sich zudem, dass sich die Hälfte dieser Aufgaben durch mindestens drei der in Betracht gezogenen, legitimen Gründe staatlichen Handelns rechtfertigen lassen.

3.3 Vergleichende Strategieanalyse

Eine Einschätzung der Anpassungsstrategie Sachsen-Anhalts kann über die bisherigen Betrachtungen hinaus ebenso unter Auswertung ausgewählter strategischer Dokumente anderer Bundesländer zur Klimaanpassung sowie der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) und dem zugehörigen Aktionsplan (APA) vorgenommen werden. Hierfür wurde anhand struktureller und inhaltlicher Gesichtspunkte eine vergleichende Dokumentenanalyse durchgeführt. Die folgenden Aspekte bildeten das Vergleichsraster für die Dokumentenanalyse:

- Zielsetzungen,
- einbezogene Sektoren,
- beschriebene klimatische Veränderungen und deren Auswirkungen,
- Anpassungsmaßnahmen und der Prozess ihrer Auswahl,
- Art und Umfang der Einbindung relevanter Anspruchsgruppen in den Strategiefindungsprozess, sowie
- angedachte bzw. bereits etablierte Evaluierungsmechanismen.

¹ Vgl. u.a. Gawel, Heuson (2011, S. 53), Hallegatte, Lecocq, de Perthuis (2011, S. 11ff), Osberghaus et al. (2010, S. 847); Tröltzsch et al. (2011, S. 11f).

Resümierend kann man feststellen, dass Aufbau und inhaltliche Fokussierung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel und des dazu gehörenden Aktionsplans in wesentlichen Punkten dem Vorgehen auf der Bundesebene entsprechen. Im Vergleich mit den Initiativen der anderen Bundesländer fallen die *frühzeitige* und *umfassende* Befassung mit der Anpassungsthematik in Sachsen-Anhalt auf. Trotz der Vorreiterrolle des Landes könnte im Rahmen der Revision der Anpassungsstrategie eine Prüfung einzelner Aspekte, die auf der Bundesebene und/oder in den anderen Bundesländern anders ausgestaltet sind, gewinnbringend sein.

4 Modifikation bestehender Anpassungsmaßnahmen und Ausarbeitung von ergänzenden Maßnahmen

Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen sich u.a. folgende Änderungs- und Ergänzungsvorschläge formulieren:

- Prüfung, ob eine stärkere Fokussierung der Anpassungsstrategie auf Schwerpunktsektoren entsprechend der spezifischen Betroffenheiten bzw. Verwundbarkeiten in Sachsen-Anhalt sinnvoll wäre.
- Durchführung vertiefender sektoraler Analysen zur Ermittlung bestehender Anpassungsbedarfe und zur Einschätzung der Eignung möglicher Anpassungsmaßnahmen bzw. Maßnahmenbündel.
- Festlegung eines Kriterienkatalogs, auf dessen Grundlage über die Aufnahme von Anpassungsmaßnahmen in die Anpassungsstrategie bzw. den Aktionsplan entschieden wird.
- Integration des Aktionsplans in die sektoralen Kapitel der Anpassungsstrategie.
- Prüfung, ob in der Darstellung der Anpassungsaufgaben und der ihnen in der Aufgabenbeschreibung zugeordneten Aktionen eine klarere Abgrenzung zwischen Zielsetzungen der Klimaanpassung (Zweck) und den zu deren Erreichen notwendigen Maßnahmen (Mittel) vorgenommen werden kann.
- Erweiterung des sich mit der Unterstützung von autonomen (privaten) Anpassungsprozessen befassenden Kapitels der Anpassungsstrategie.
- Etablierung einer indikatorbasierten Evaluierung der Effektivität der durchgeführten Anpassungsmaßnahmen sowie der Anpassungsstrategie als Ganzes in Ergänzung der bereits durchgeführten Bestandsaufnahme der Umsetzung in Berichtsform.
- Prüfung, ob durch die Veröffentlichung einer nur die wesentlichen Aspekte der Anpassungsstrategie aufgreifenden Publikation die Öffentlichkeitswirksamkeit erhöht werden kann.

Es ist zu betonen, dass Sachsen-Anhalt bereits umfangreiche und detaillierte Ausführungen zur Entwicklung der strategischen Planungen sowie deren Umsetzung geleistet hat und insofern unter den Bundesländern eine Vorreiterrolle einnimmt. Alle genannten Vorschläge sind daher unter Aufwand- und Kostengesichtspunkten abzuwägen.

5 Identifizierung besonders vorteilhafter Anpassungsmaßnahmen für ausgewählte Sektoren

5.1 Methodisches Vorgehen

Die vergleichende Bewertung von Anpassungsmaßnahmen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Die Durchführung von Multikriterien-Analysen (MKA) bietet sich an, wenn Anpassungsmaßnahmen anhand mehrerer quantitativer und/oder qualitativer Kriterien vergleichend bewertet werden sollen. Hierfür stehen sowohl Varianten der MKA zur Verfügung, die auf einer gewichteten Aggregation einzelner Teil-Nutzen basieren, als auch Outranking-Verfahren, wie bspw. das **P**reference **R**anking **O**rganisation **M**ethod for **E**nrichment **E**valuations-Verfahren (PROMETHEE).²

PROMETHEE bildet durch paarweises Vergleichen der Werte aller Handlungsoptionen für alle Bewertungskriterien Präferenzmatrizen, die abbilden, welche der Alternativen unter den spezifizierten Bedingungen wie stark vorzuziehen ist. Die Einzelmatrizen werden in einem nächsten Schritt gewichtet zu einer Gesamtpräferenzmatrix aggregiert. Aus deren Spaltensummen (*Eingangsfluss*) und Zeilensummen (*Ausgangsfluss*) lässt sich ablesen, welche Anpassungsmaßnahme über alle Bewertungskriterien in welchem Maße die übrigen Alternativen dominiert bzw. von diesen dominiert wird.

Bei PROMETHEE erfolgt die Reihung der Alternativen unter Nutzung dieser Dominanzmaße. Wenn dies bspw. aufgrund der Unvergleichbarkeit einzelner Alternativen nicht direkt möglich ist, dann kann über eine Verrechnung dieser beiden Dominanzmaße (*Ausgangsfluss* - *Eingangsfluss* = *Nettofluss*) eine vollständige Quasiordnung und somit eine eindeutige Reihung der Handlungsoptionen auf Basis der *Nettoflüsse* erstellt werden.

Die Durchführung einer Bewertung lässt sich erheblich durch die Nutzung einer entsprechenden Software erleichtern. Ein solches Instrument stellt bspw. die am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ entwickelte Software *Probabilistic Multi-Attribute Evaluation* – *PRIMATE* dar. Die in dieser Software implementierte MKA basiert auf dem beschriebenen PROMETHEE-Verfahren.

Die im Bereich der Klimaanpassung sehr häufig zu berücksichtigenden datenbezogenen Unsicherheiten können in der Bewertung ebenso berücksichtigt werden wie Unsicherheiten, die sich aus abweichenden Einschätzungen der Relevanz der einzelnen Bewertungskriterien durch verschiedene Entscheider ergeben.

Die Bewertungsergebnisse können in PRIMATE zum einen als Rangfolge der Alternativen entsprechend deren Eignung zur Beförderung der jeweiligen Zielsetzung ausgegeben werden. Zum anderen können für jede Alternative die Stimmen-Salden, die sogenannten *Nettoflüsse*, ausgegeben werden. Die Angabe der im Bewertungsergebnis enthaltenen Unsicherheiten ermöglicht es, zu beurteilen, ob die ermittelte Rangordnung statistisch abgesichert ist.

² Für einen Überblick multikriterieller Verfahren vgl. bspw. Zimmermann, Gutsche (1991).

Die folgenden Kriterien wurden i.d.R. für die multikriteriellen Bewertungen verwendet (für einzelne Bewertungen wurde auf Wunsch der Fachexperten ein reduzierter Kriterienkatalog verwendet):

- *Kosten*: (1) einmalige Kosten, (2) laufende Kosten, (3) *alternativ*: Gesamtkosten.
- *Nutzen*: (1) Bedeutung der Maßnahme, (2) zeitliche Dringlichkeit der Umsetzung, (3) Dynamik der Wirkung, (4) positive Wirkung auf den Klimaschutz, (5) Synergien und (6) Konflikte mit anderen Klimaanpassungsmaßnahmen, (7) Reversibilität bzw. Flexibilität der Maßnahme, (8) Zusatznutzen unabhängig von der Klimaanpassungswirkung.
- *Chancen der Umsetzung*: (1) Durchführbarkeit angesichts technischer, rechtlicher, wirtschaftlicher, organisationaler Rahmenbedingungen, (2) Einschätzung durch Bürger, (3) Einschätzung durch Politik, (4) Einschätzung durch Fachbehörde(n).

Die Datenerhebung, d.h. die Zuweisung der einzelnen Kriterienaussprägungen zu den zu vergleichenden Anpassungsmaßnahmen sowie die Gewichtung der Kriterienblöcke *Kosten*, *Nutzen* und *Umsetzungschancen* sowie der Einzelkriterien erfolgte in Form einer Expertenbefragung.

5.2 Bewertungsergebnisse

Im Handlungsfeld Wasser wurde eine vergleichende Bewertung der Maßnahmen vorgenommen, die das Erreichen der Zielsetzung *Schutz der Bevölkerung, der Wirtschaft, der Landwirtschaft vor Schäden aus Hochwasser und ggf. steigendem Grundwasserspiegel* befördern sollen. Dafür wurden durch Experten des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) die folgenden Maßnahmen vergleichend bewertet:

- Überprüfung der Hochwasserschutzpläne,
- **Anpassung geeigneter Überwachungssysteme im Oberflächen- und Grundwasser,**
- Überprüfung und ggf. Erweiterung der Retentionsflächen,
- **Beobachtung und Auswertung Abflussmengen und Grundwasserstand (Bemessungsflüsse).**

Die unter Berücksichtigung der verwendeten Bewertungskriterien, Daten und Gewichtungssets zum Erreichen der genannten Zielsetzung als besonders geeignet identifizierten Maßnahmen sind in der obigen, wie auch in den folgenden Maßnahmenaufstellungen fett markiert.

Im Handlungsfeld Landwirtschaft wurde für drei anpassungsbezogenen Zielsetzungen eine vergleichende Bewertung der diesen zugeordneten Maßnahmen durchgeführt. Die hierfür notwendigen Einschätzungen wurden von Experten der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG), des Amts für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten (ALFF) sowie des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt getroffen.

In Hinblick auf das Erreichen der Zielsetzung *Weiterentwicklung von Beratungsgrundlagen für die Klimaanpassung in der Landwirtschaft* wurden folgende Maßnahmen bewertet:

- **Erarbeitung von Informations- und Beratungsgrundlagen,**
- Versuche zur Anpassung der Landbewirtschaftung,
- **Monitoring der natürlichen Produktionsfaktoren (Bodendauerbeobachtungsflächen, Dauerversuche, Lysimeter-Versuche usw.).**

Die hinsichtlich ihrer Eignung zur Beförderung dieser Zielsetzung *Aus- und Weiterbildung und landwirtschaftliche Beratung bezüglich der Anpassung an den Klimawandel* zu vergleichenden Maßnahmen waren:

- Weiterentwicklung von Informationsdiensten,
- **Vermittlung von Informations- und Beratungsgrundlagen für individuelle Anpassungen in den Betrieben zur Vermeidung betrieblicher und ökologischer Fehlentwicklungen,**
- Weiterbildung der in der Landwirtschaft Beschäftigten.

Die mit Hinblick auf ihre Beförderung des Erreichens dieser Zielsetzung *Klimaangepasste Fortschreibung bestehender Rahmenregelungen für die Landwirtschaft* bewerteten Anpassungsmaßnahmen waren:

- Weiterentwicklung der Leitlinien für eine ordnungsgemäße Landbewirtschaftung,
- **Erarbeitung von Planungsgrundlagen zur Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Belange bei der Landes- und Regionalplanung,**
- **Ausrichtung von geeigneten Planungsinstrumenten zur Berücksichtigung auf Anpassungserfordernisse, z.B. in der Flurneuordnung,**
- Weiterentwicklung der Landeskultur/Agrarraumgestaltung.

Im Betrachtungsfeld Boden wurden im Rahmen dieser Studie Anpassungsmaßnahmen vergleichend bewertet, die der Zielsetzung *Anpassung des Bodenschutzes an die Erfordernisse des Klimawandels* dienen. Die für die Bewertung notwendigen Einschätzungen wurden durch Experten des Amtes für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten, des Landesamtes für Umweltschutz, des Landesamt für Geologie und Bergwesen sowie des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vorgenommen. Die betrachteten Maßnahmen waren:

- **Minderung Bodenerosion,**
- **Entwicklung und Förderung des Bodenbewusstseins,**
- **Entsiegelung bzw. Vermeidung Versiegelung,**
- Konkretisierung und Fortentwicklung der „Guten Landwirtschaftlichen Praxis“,
- Beobachtung der klimawandelbezogenen Veränderungen des Bodenzustandes und Anpassung der Messprogramme.

Im Handlungsfeld Forstwirtschaft wurde für zwei anpassungsbezogene Zielsetzungen eine vergleichende Bewertung der Maßnahmen durchgeführt, die deren Erreichen befördern sollen. Die für die Durchführung der Bewertungen notwendigen Einschätzungen wurden von einem Experten des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt getroffen.

Für die Zielsetzung *Verbesserung forstlicher Ressourcen und des Waldzustands* wurden folgende Anpassungsmaßnahmen betrachtet:

- **Vermeidung biotischer Risiken,**
- Aufforstung künftiger landwirtschaftlicher Grenzertragsgebiete,
- **Fortführung und Anpassung des forstlichen Umwelt-Monitorings,**
- **Anbau leistungsstarker Baumarten und -herkünfte.**

Die Bewertung der Anpassungsmaßnahmen, die der Zielsetzung *Stabilisierung Waldökosysteme und Erhalt der Multifunktionalität* dienen sollen, wurden folgende Handlungsoptionen verglichen:

- **Ausweisung von potentiell besonders gefährdeten Gebieten,**
- Entwicklung von Risikokarten und Anbauempfehlungen für Baumarten,
- **Verbesserung Waldschutz-Monitoring und Weiterentwicklung integrierter Waldschutz,**
- **Weiterentwicklung des Handlungsrahmens der *Leitlinie Wald* bzgl. Risikomanagement.**

Im Handlungsfeld Tourismus wurde eine vergleichende Bewertung der Maßnahmen zur Beförderung der Zielsetzung *Anpassung des Tourismus' im Harz an die Erfordernisse des Klimawandels* vorgenommen. Die Bewertung basierte auf Einschätzungen von Fachexperten des Ministeriums für Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt. Die betrachteten Anpassungsmaßnahmen waren:

- **Berücksichtigung des Klimawandels in touristischen Leitbildern und bei der Produktentwicklung,**
- **Unterstützung von Anpassungsstrategien durch geeignete Kommunikationsmaßnahmen,**
- Analyse der Konflikte, die sich aus sektoralen Anpassungsmaßnahmen ergeben und Konfliktmanagement.

6 Resümee

Im Rahmen dieser Studie wurden in einem ersten Teil (Kapitel 1-4) auf Basis der Auswertung aktueller Klimainformationen sowie einer bewertenden Bestandsaufnahme der Anpassungsstrategie des Landes Sachsen-Anhalt einige Empfehlungen für deren Überarbeitung entwickelt.

Im Vergleich mit den Initiativen der anderen Bundesländer fiel die frühzeitige und umfassende Befassung mit der Anpassungsthematik in Sachsen-Anhalt auf. Trotz der Vorreiterrolle Sachsen-Anhalts scheint es sinnvoll, im Rahmen der Revision der Anpassungsstrategie einzelne Aspekte, in denen die Aktivitäten auf der Bundesebene und/oder in den anderen Bundesländern anders ausgestaltet sind, zu prüfen. Diesbezüglich bestehende Anhaltspunkte wurden zusammen mit weiteren Änderungs- und Ergänzungsvorschläge in einem eigenständigen Kapitel dargestellt.

Im zweiten Teil der Untersuchung (Kapitel 5) wurden in den Handlungs- bzw. Betrachtungsfelder *Wasser, Boden, Landwirtschaft, Forstwirtschaft* und *Tourismus* Anpassungsmaßnahmen identifiziert, die zum Erreichen spezifischer, anpassungsbezogener Zielsetzungen als besonders vorteilhaft erscheinen. Die Bewertung erfolgte unter Anwendung eines multikriteriellen Verfahrens. Auf dieser Grundlage konnten für jede der insgesamt acht betrachteten Zielsetzungen Maßnahmen bestimmt werden, die im Vergleich zu den übrigen bestehenden Handlungsalternativen als besonders geeignet erscheinen, das Erreichen der jeweiligen anpassungsbezogenen Zielsetzung zu befördern.

Damit wurde nicht nur eine erste multikriterielle Bewertung von Anpassungsmaßnahmen in Sachsen-Anhalt vorgelegt, sondern durch die eingehende Darstellung des methodischen Vorgehens ein Instrument vorgestellt, das auch zukünftig bei der Überarbeitung von Anpassungsstrategie und -aktionsplan eingesetzt werden kann.

7 Literaturverzeichnis

- Deimer, C.; Steininger, M. (2012): *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt*, Los 2 Landwirtschaft, Abschlussbericht, 30.10.2012, Magdeburg.
- Gawel, E., Heuson, C. (2011): „Der „Aktionsplan Anpassung“ zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel – eine ökonomische Bewertung“, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 61 (12), S. 51-56.
- Hallegatte S.; Lecocq F.; de Perthuis, C. (2011): „Designing climate change adaptation policies – an economic framework“, *Policy Research Working Paper* 5568, The World Bank Sustainable Development Network, Washington.
- Kreienkamp, F.; Spekat, A.; Enke, W. (2012): *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt*, Abschlussbericht Los 1.1 und 1.2, Abschlussbericht, 20.01.2012, Magdeburg.
- Kropp, J.; Roithmeier, O.; Hattermann, F.; Rachimow, C.; Lüttger, A.; Wechsung, F.; Lasch, P.; Christiansen, E.S.; Reyer, C.; Suckow, F.; Gutsch, M.; Holsten, A.; Kartschall, T.; Wodinski, M.; Hauf, Y.; Conradt, T.; Österle, H.; Walther, C.; Lissner, T.; Lux, N.; Tekken, V.; Ritchie, S.; Kossak, J.; Klaus, M.; Costa, L.; Vetter, T.; Klose, M. (2009): *Klimawandel in Sachsen-Anhalt. Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels*, Endbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) im Auftrag des MLU Sachsen-Anhalt, Magdeburg.
- Osberghaus, D.; Dannenberg, A.; Mennel, T.; Sturm, B. (2010): „The role of the government in adaptation to climate change“, *Environment and Planning C: Government and Policy*, 28, S. 834-850.
- Pfützner, B.; Klöcking, B.; Schumann, A.; Hesse, G. (2012): *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt*, Los 1.3 (Wasser), vorläufiger Endbericht März 2012, Magdeburg.
- Sutmöller, J.; Ahrends, B.; Schmidt, M.; Albert, M.; Fleck, S.; Plasil, P.; Meesenburg, H. (2012): *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt*, Los 3 (Forstwirtschaft), Zwischenbericht, April 2012, Göttingen.
- Thiele, V.; Berlin, A.; Bussche, J.; Degen, B.; von Kreutzner, K.; Lipinski, A.; Niederstraßer, J. (2012): *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt*, Los 1.4 (Naturschutz), Zwischenbericht, April 2012, Magdeburg.
- Tröltzsch, J.; Görlach, B.; Lückge, H.; Peter, M.; Sartorius, C. (2011): *Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel – Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel*, Climatic Change 19/2011, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Zimmermann, H. J.; Gutsche, L. (1991): *Multi-Criteria Analyse - Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen*, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.

Herausgegeben
durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Stabsstelle Fachbereichsübergreifende Aufgaben, Klimawandel, Öffentlichkeitsarbeit

Impressum

Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt - Halle (2013) Heft 2:

Die Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt, Kurzfassungen der Studien 2009 und 2012

Redaktion:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Dr. Christiane Röper
Manfred Unglaube

Foto Titelseite: Manfred Unglaube (2012)

Herausgeber und Bezug:

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, PSF 200 841, 06009 Halle (Saale)
Sitz: Reideburger Str. 47, 06116 Halle (Saale), Telefon +49 345 5704-0
E-Mail: poststelle@lau.mlu.sachsen-anhalt.de

Diese Schriftenreihe wird kostenlos abgegeben und darf nicht verkauft werden. Der Nachdruck bedarf der Genehmigung.

Die Autoren sind für den fachlichen Inhalt ihrer Beiträge selbst verantwortlich. Die von ihnen vertretenen Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

März 2013

Diese Schrift darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben politischer Informationen oder Werbemittel. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Schrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

ISSN 0941-7281

