



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](http://www.pixelio.de), 2 J. Kropp, Seite 8: Zebisch/PIK, Seite 9: OakChain, Seite 12 [www.pixelio.de](http://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“<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> Der ausführliche Bericht ist unter [www.klimawandel.sachsen-anhalt.de](http://www.klimawandel.sachsen-anhalt.de) und [www.pik-potsdam.de/nsp](http://www.pik-potsdam.de/nsp) zu finden.

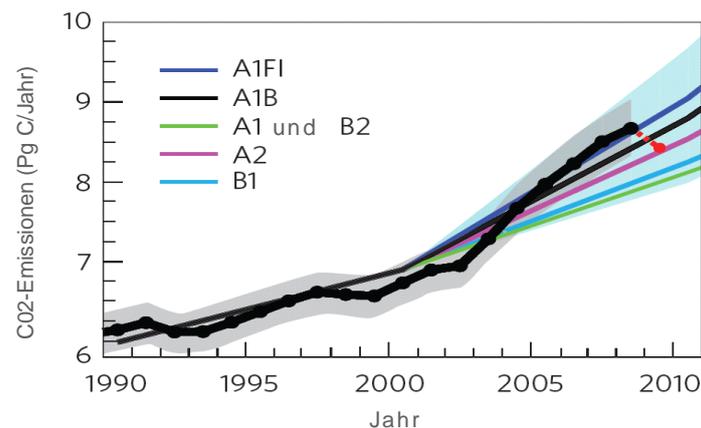
### Zukunftsszenarien als Grundlage der Klimamodelle

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 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten<sup>2</sup> zu vorindustriellen Werten verbunden.

Das Szenario A1B hingegen geht von einer homogeneren 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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(CO<sub>2</sub>)-Emissionen (schwarze Punkte) mit sechs IPCC-Szenarien (farbige Linien) und geschätzte Emissionen für das Jahr 2009 (rot) (Le Quéré et al. 2009) (1Petagramm (Pg)= 10<sup>9</sup> 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.

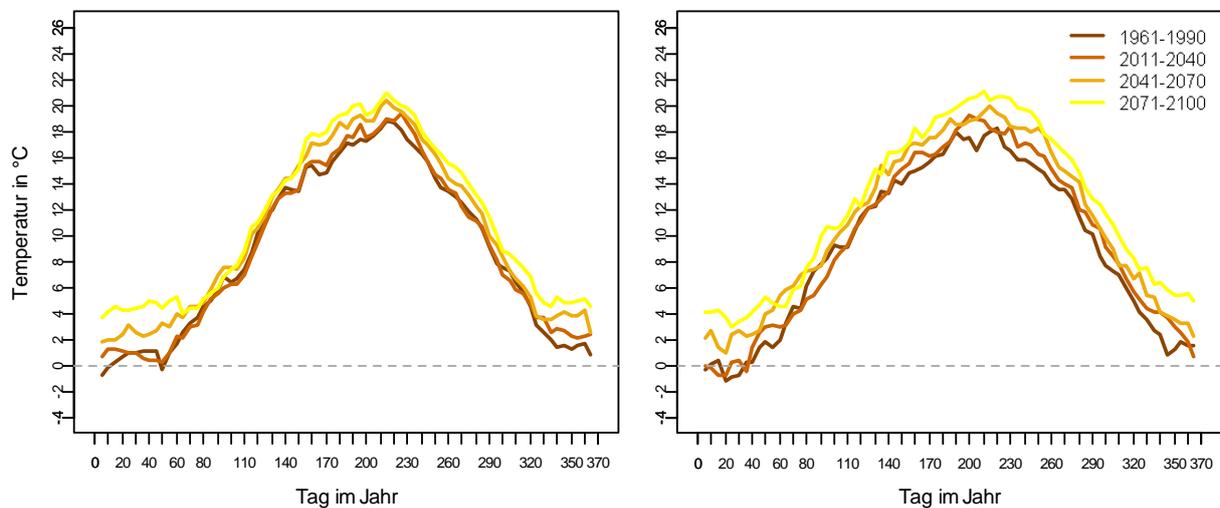
Auch konnte man in der Vergangenheit bereits klimatische Veränderungen beobachten: So sind ohnehin von Trockenheit betroffene Gebiete in den letzten Jahrzehnten zunehmend trockener geworden, während feuchtere Regionen, wie der Harz, Niederschlagszu-

<sup>2</sup> 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.

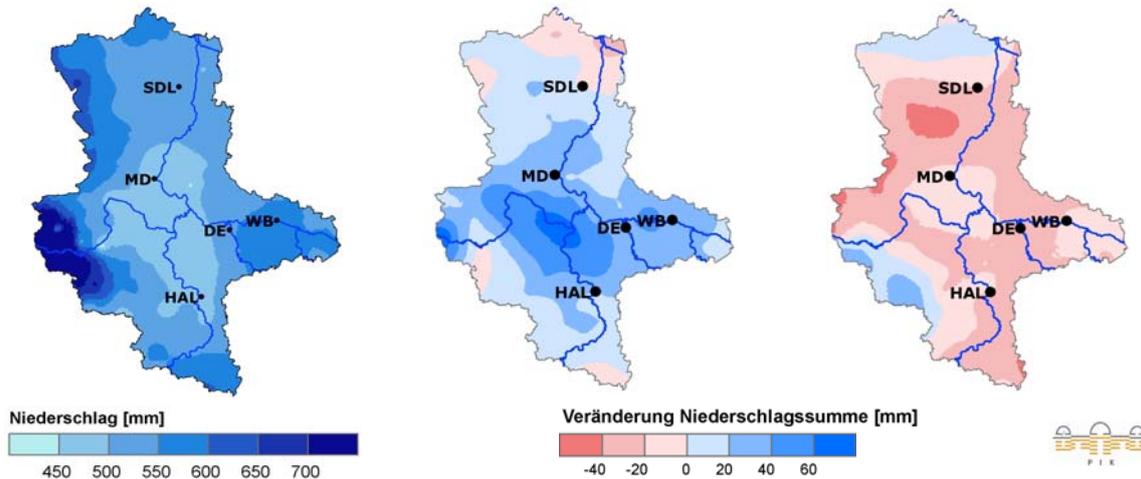


**Abb. 2: Jahresverlauf der Tagesmitteltemperatur für das Emissionsszenario A1B in den Zeiträumen 1961-1990, 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 nach den Klimamodellen WETTREG (links) und REMO (rechts)**

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).

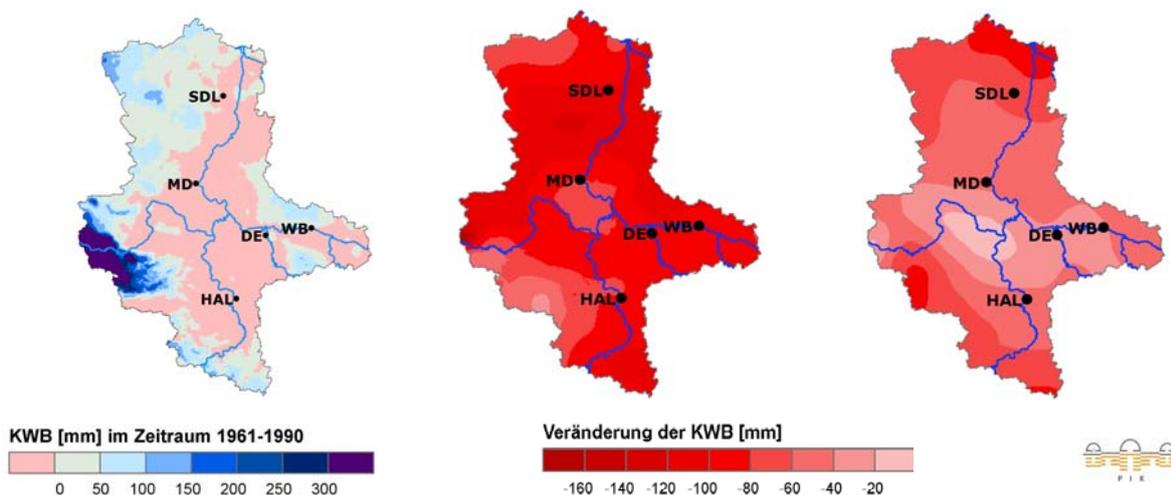
### Weniger Niederschlag im Sommer, mehr im Winter

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 REMO (Mitte) und WETTREG (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).

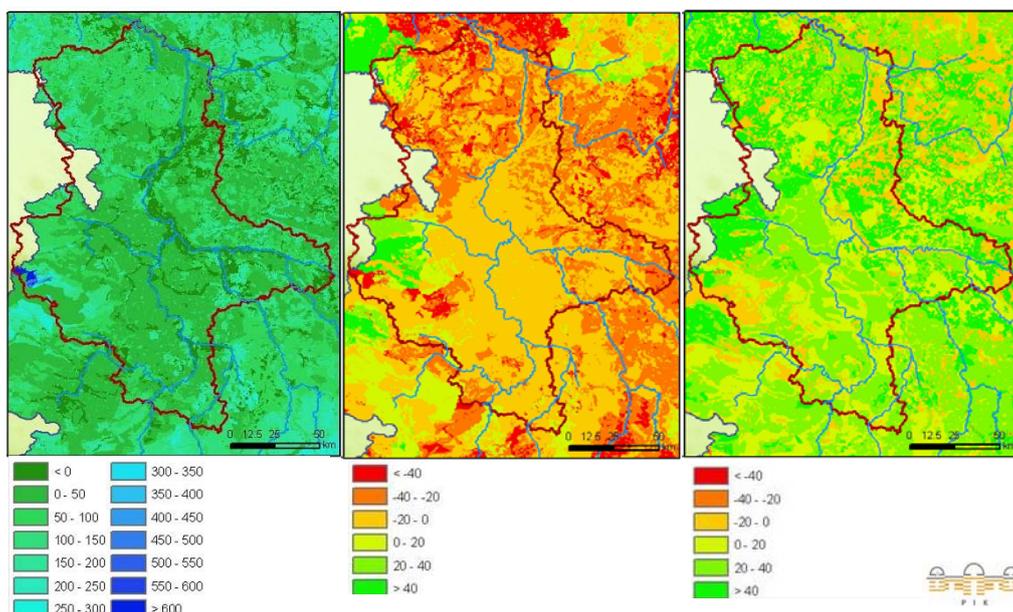


**Abb. 4: Klimatische Wasserbilanz (KWB) im Zeitraum 1961-1990 (links) und Veränderung für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 nach den Modellen WETTREG (Mitte) und REMO (rechts) unter Szenario A1B**

## 2. Wasser

Sachsen-Anhalt liegt zum größten Teil im Einzugsgebiet der Elbe, das im Vergleich mit anderen großen europäischen Flusseinzugsgebieten mit nur 700 m<sup>3</sup> 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.

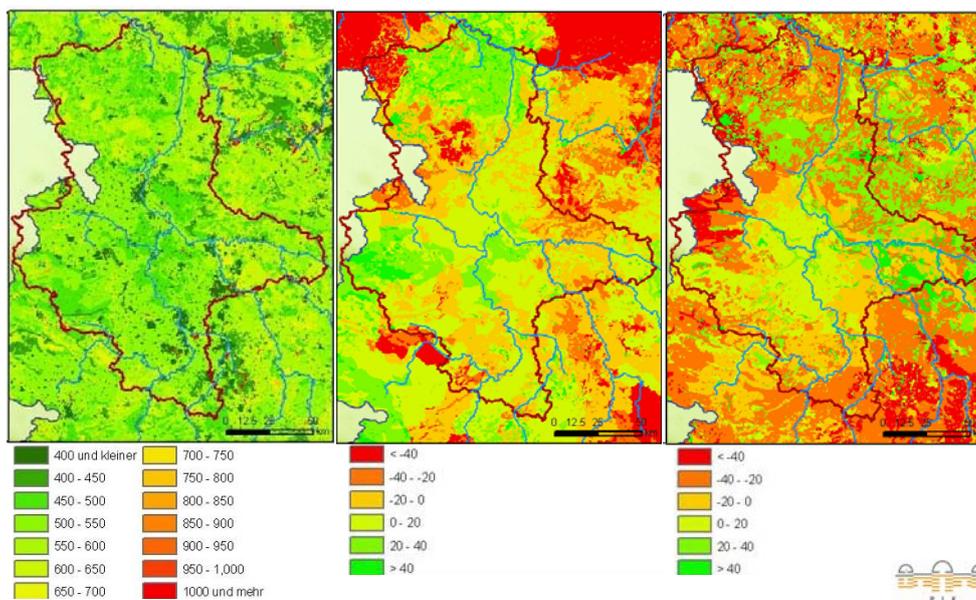


**Abb. 5: Simulierte mittlere Grundwasserneubildung [mm/Jahr] im Zeitraum 1961-1990 (links) und deren Veränderung [mm/Jahr] für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1961-1990 nach dem Modell WETTREG (Mitte) und REMO (rechts) unter dem Szenario A1B**

### 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

20-40 mm/Jahr, 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 20-40 mm/Jahr 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 [mm/Jahr] 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 mm/Jahr bis über 40 mm/Jahr 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 Sachsen-Anhalts ein wesentlicher begrenzender Faktor für die landwirtschaftlichen Erträge darstellt, ist ein Rückgang hier wahrscheinlich.

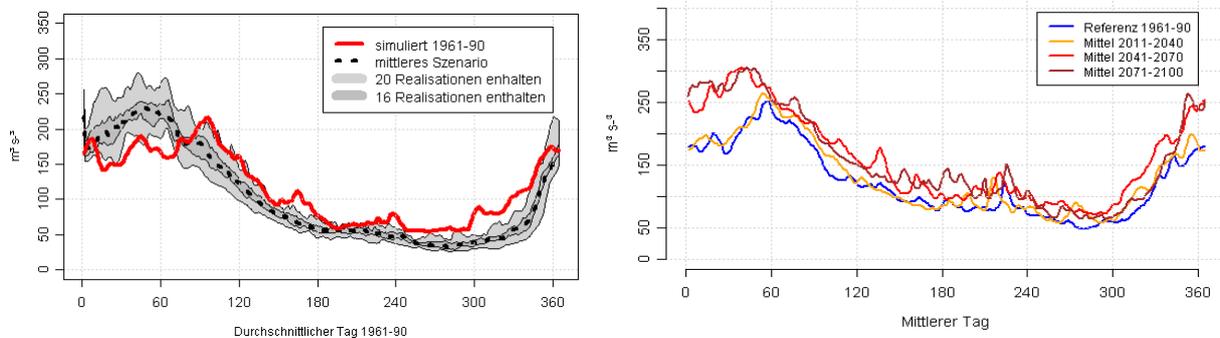
### Abflussentwicklung in den Flüssen

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-Altmärkisches 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-Altmärkisches 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-Altmärkisches 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

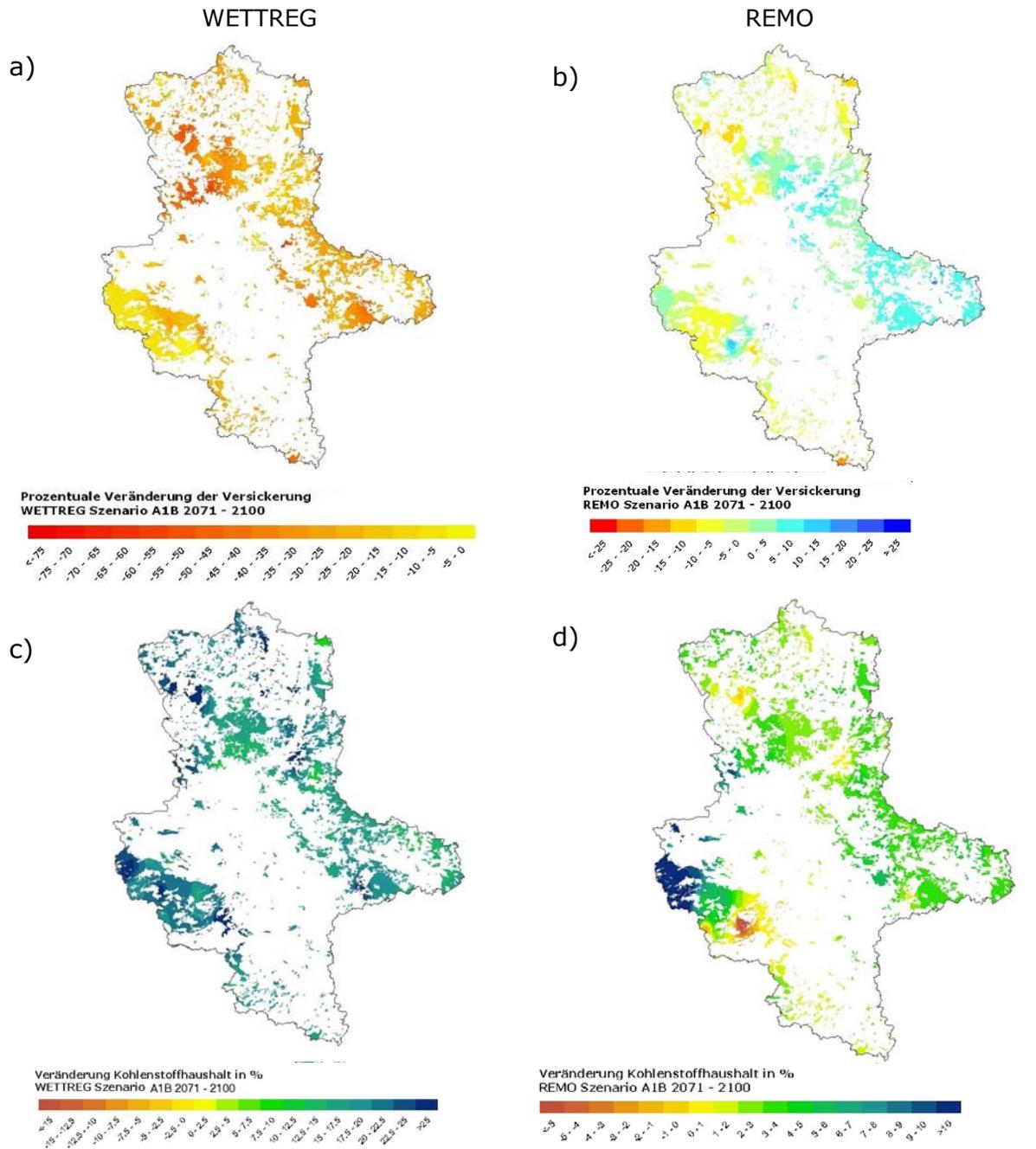
+/o = genereller Anstieg mit einzelnen Wuchsbezirken ohne eindeutige Reaktion

-/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 CO<sub>2</sub>-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, Winterrraps und Silomais untersucht. Auch der möglicherweise kompensierend wirkende Einfluss des Anstiegs der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration auf die Erträge wurde betrachtet.



Für die Vergangenheit sind Ertragszunahmen für Winterweizen, Winterrraps 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.

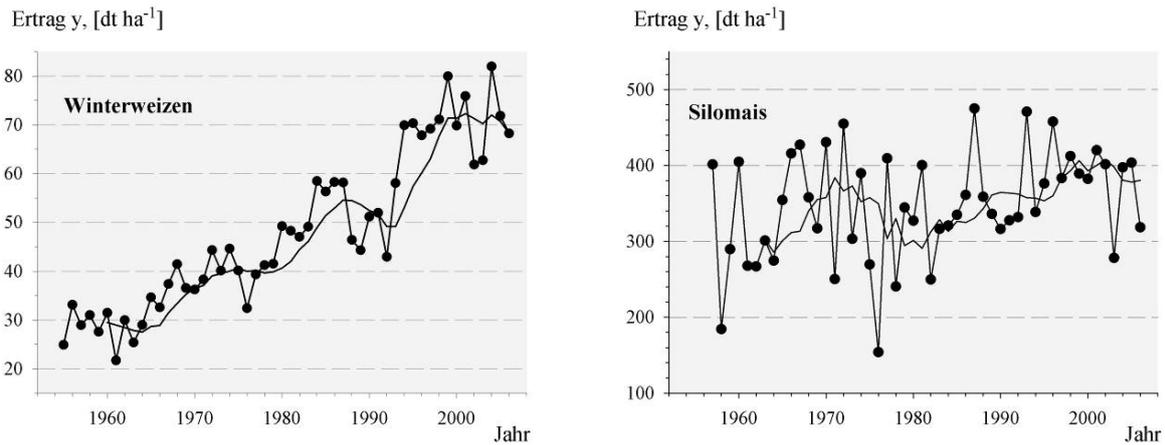


Abb. 9: Entwicklung der Erträge für Winterweizen (links) und Silomais (rechts) (Verlaufslinien und gleitende 7-Jahresmittel) in der Vergangenheit im Landesmittel in Sachsen-Anhalt

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 CO<sub>2</sub>-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.

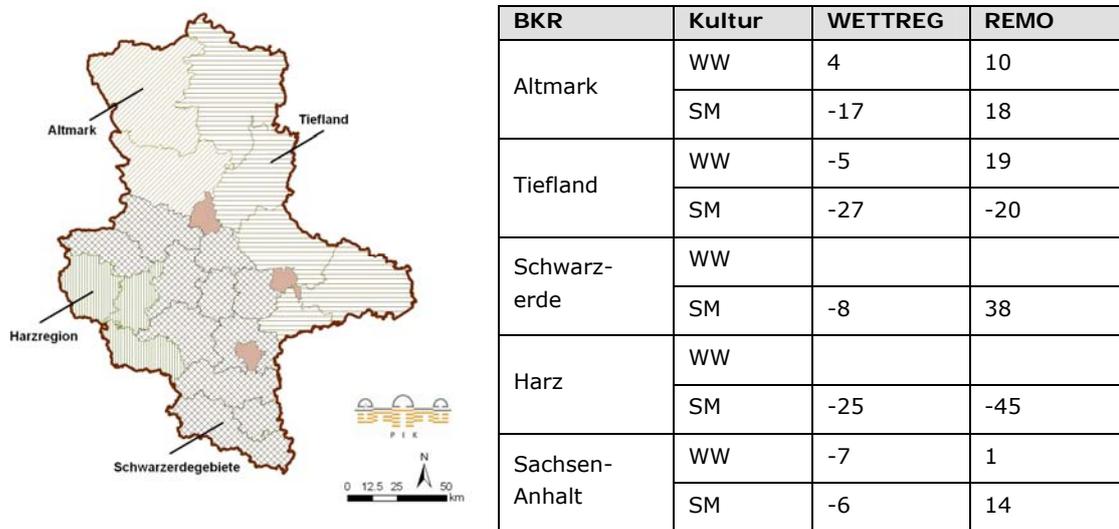


Abb. 10: Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in Boden-Klima-Räume (BKR) (links) sowie (rechts) simulierte Ertragsänderungen [%] (ohne CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt, Emissionsszenario A1B, 2071-2100/ 1961-1990) für Winterweizen (WW) und Silomais (SM) in den BKR und Sachsen-Anhalt (leere Zellen: keine 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.

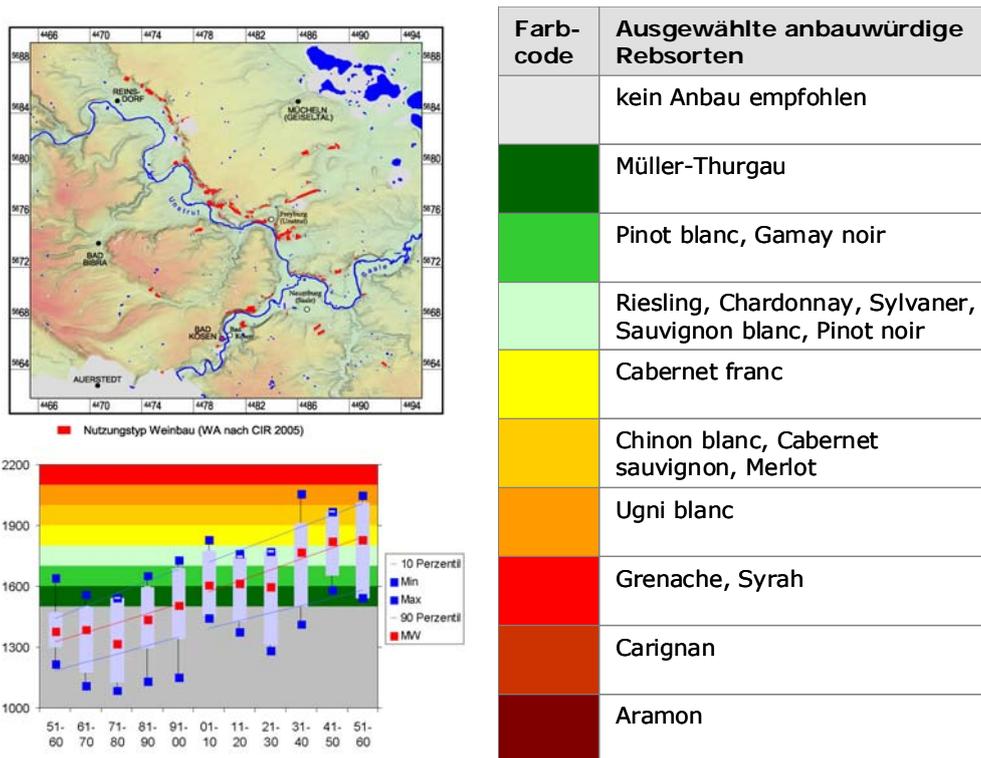


Abb. 11: Das Weinbaugebiet in Sachsen-Anhalt (oben links), die Entwicklung des HUGLIN-Indices an der Station Artern (unten links, Modell STAR II, Szenario A1B, Jahrzehnte 1951-2060) sowie die Erläuterung des HUGLIN-Index (Tabelle rechts)

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).

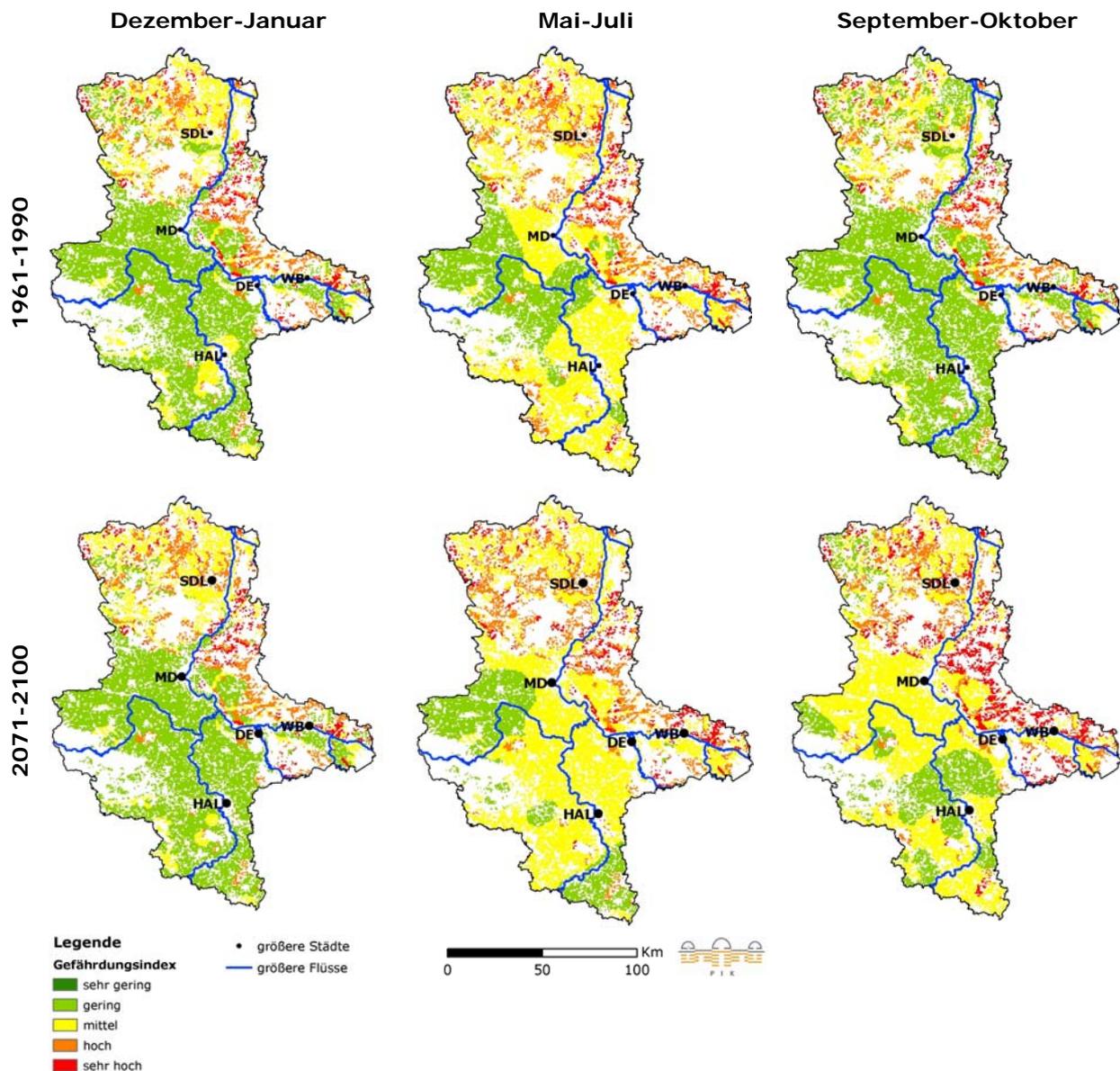
### Gefährdung durch Wassererosion

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 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 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.

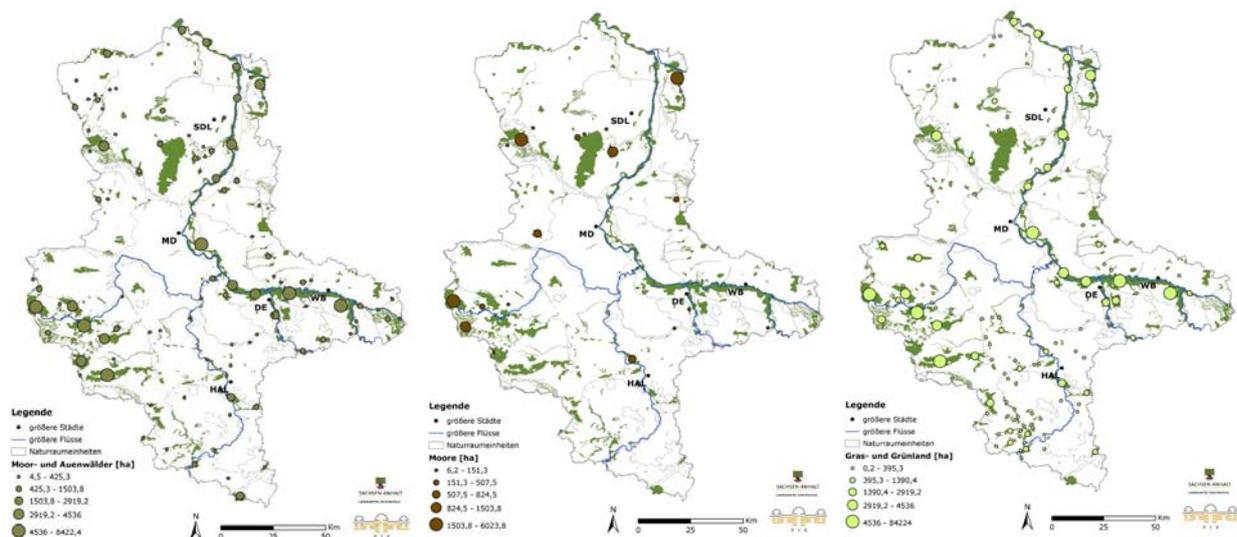
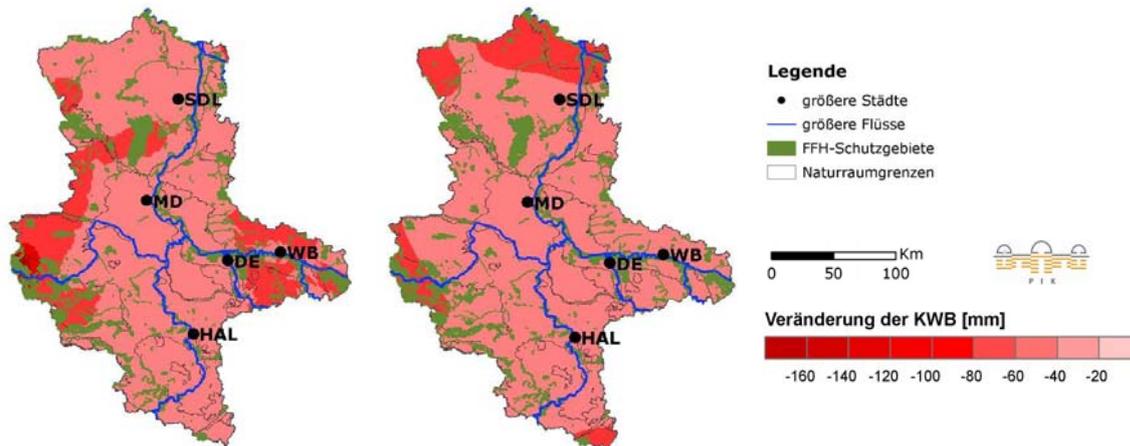


Abb. 13: Lage der FFH-Schutzgebiete mit Moor- und Auenwäldern, Mooren sowie Gras- und Grünland in Sachsen-Anhalt (die Größe der Kreise spiegelt die Größe der FFH-Schutzgebiete mit diesen Lebensraumklassen wieder)

FFH-Schutzgebiete, die von einem Rückgang der KWB besonders stark betroffenen 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

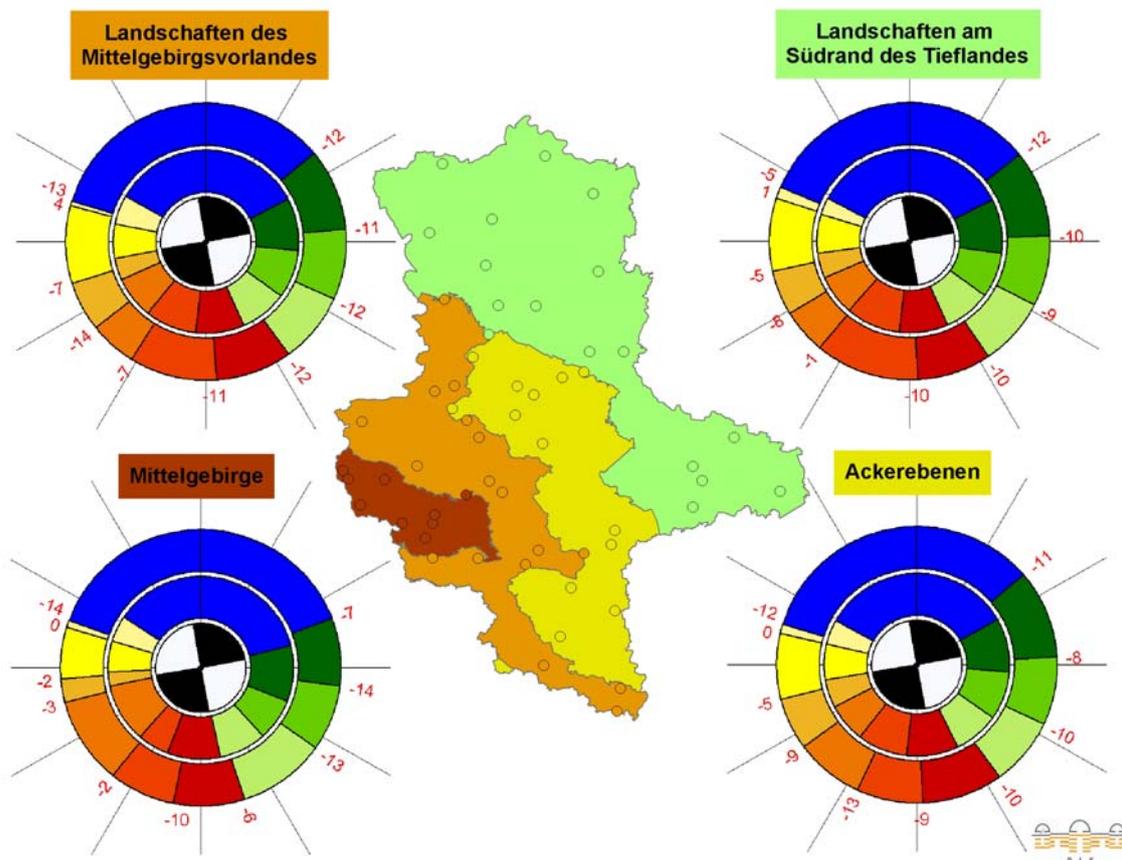
wird jedoch sichtbare Folgen für Biodiversität (BfN 2004; BfN 2006) und Ökosysteme nach sich ziehen, so dass es notwendig sein kann, Schutzziele auf ihre Umsetzbarkeit unter dem Einfluss des Klimawandels zu überprüfen und alternative Konzepte zu entwickeln.

## 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.



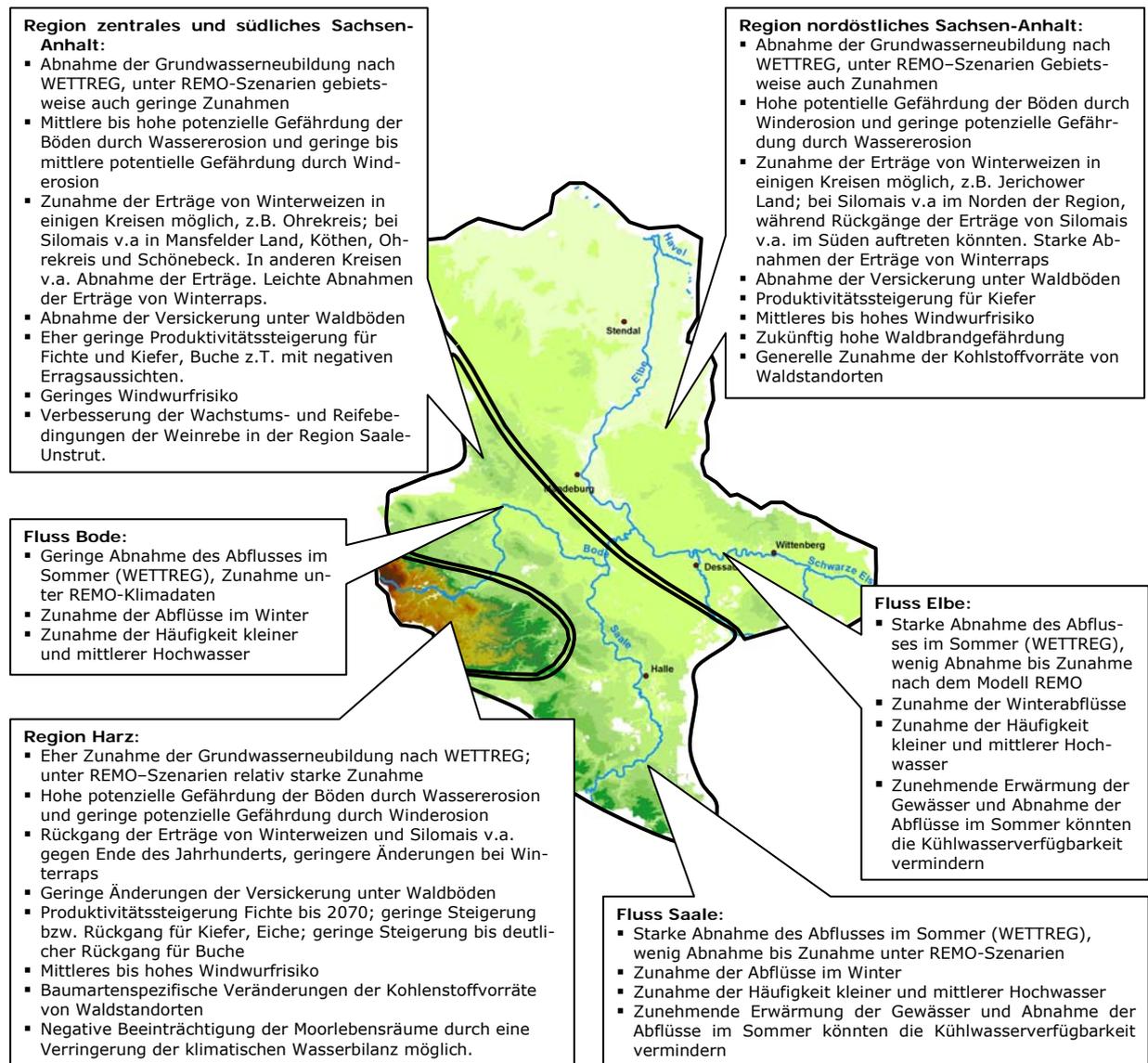
**Abb. 15: Phänologische Uhren<sup>3</sup> der vier untersuchten Naturräume Sachsen-Anhalts für die Zeiträume 1967-1986 (innerer Ring) und 1987-2006 (äußerer Ring). Die zugrunde liegenden phänologischen Stationen sind durch entsprechend farbige Kreise markiert. Zeitliche Veränderungen in Tagen zwischen 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.

<sup>3</sup> 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 Sachsen-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](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-Westermeier 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](http://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](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.