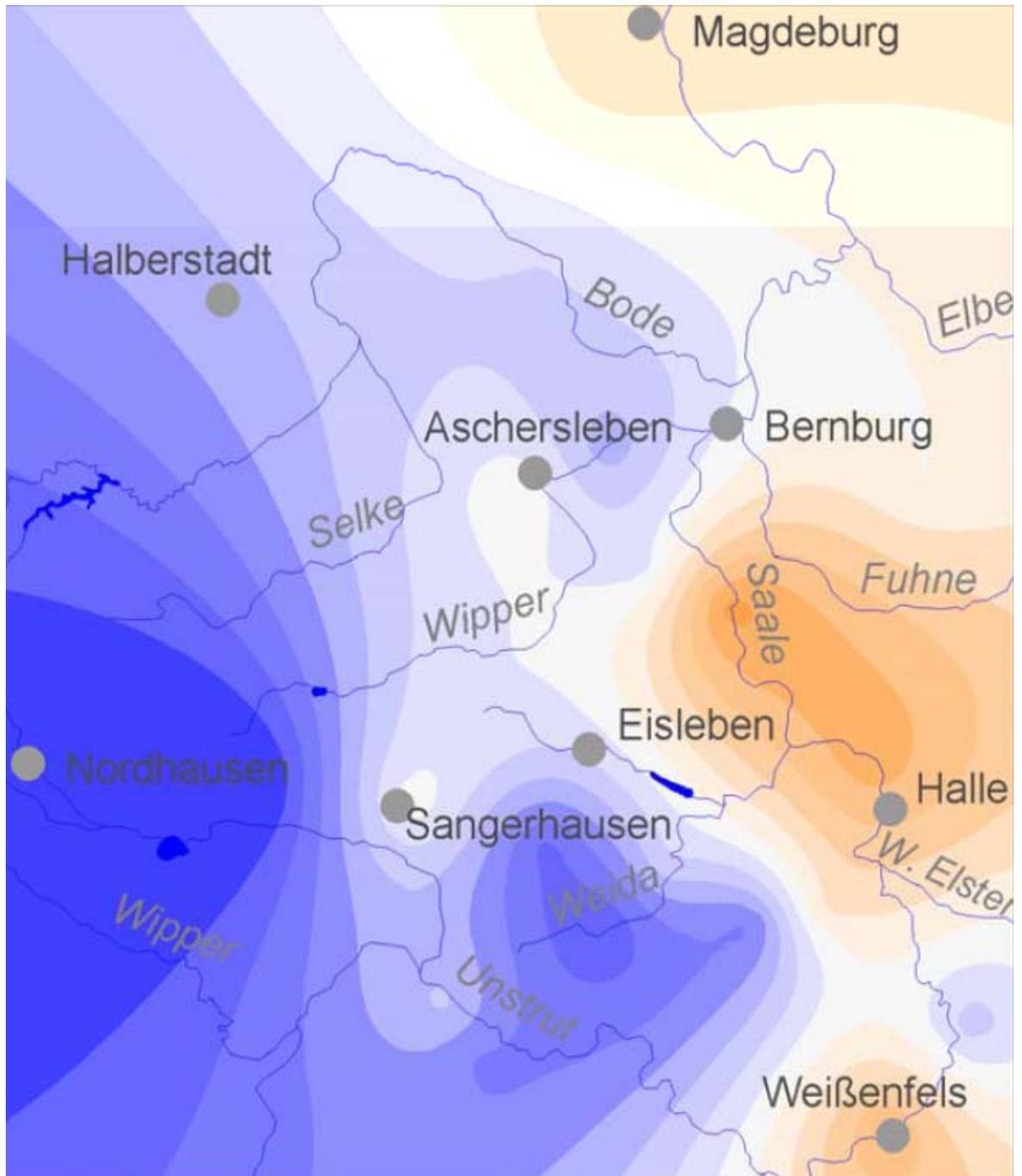


# Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt

## - Sachstand und Handlungsfelder -

Workshop am 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz, Halle

BERICHTE des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt  
SONDERHEFT 1/2007



**SACHSEN-ANHALT**

Landesamt für Umweltschutz



# Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt

## - Sachstand und Handlungsfelder -

Workshop am 16. Juni 2006  
im Landesamt für Umweltschutz  
Sachsen-Anhalt, Halle

Berichte des  
Landesamtes für Umweltschutz  
Sachsen-Anhalt

2007 – Sonderheft 1

## Inhalt

Einführung	3
<b>Notwendigkeit und Herausforderungen für eine angewandte Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt: Erste Überlegungen und Perspektiven</b>	4
Prof. Dr. Manfred Frühauf	
<b>Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Datengrundlage für die Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt -</b>	10
Dipl.-Phys. Wigbert Albrecht	
<b>Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen</b>	18
Dr. Ilka Fabig	
<b>Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick</b>	24
Dipl. Meteorologe Wilfried Kuchler	
<b>Die Auswirkungen des Klimawandels im Mitteldeutschen Trockengebiet auf den Bodenwasserhaushalt und ihre Konsequenzen für die Landnutzung</b>	33
Dr. Jurik Müller, Petra Jörn, Falk Böttcher und Hans-Georg Schellin	
<b>Der Einfluss von Klima- und Landnutzungswandel auf den Wasserhaushalt - Vergleichende Untersuchungen in zwei Flusseinzugsgebieten Sachsen-Anhalts</b>	45
Dr. Daniel Wurbs	

<b>Auswirkungen des Klimawandels auf die Phänologie in Mitteldeutschland</b>	52
Dipl.-Geogr. Andrea Kolodziej	
<b>Die Einsatzmöglichkeiten von Lysimeteruntersuchungen für die Klimafolgeforschung</b>	60
Prof. Dr. Ralph Meißner	
<b>Erneuerbare Energien und Energiestruktur in Sachsen-Anhalt</b>	68
Erik Köhler	
<b>Struktur und Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Landes Sachsen-Anhalt</b>	73
Erik Köhler	
<b>Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Statement aus Sicht der Landwirtschaft -</b>	77
Dr. Falko Holz und Dr. Matthias Schrödter	
<b>Bodenkundliche Datengrundlagen für die Prognose und Bewertung der Folgen von Klimaveränderungen</b>	82
Dr. Dieter Feldhaus	
<b>Schlussfolgerungen</b>	85
<b>Impressum</b>	86

Das vorliegende Sonderheft der Berichte des Landesamtes für Umweltschutz enthält Beiträge eines Workshops „Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Sachstand und Handlungsfelder“ vom 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in Halle (Saale).

Die Zielstellung der Veranstaltung bestand darin, zur Beantwortung folgender Fragen beizutragen:

Welche Daten-/Erkenntnisbasis besitzen wir im Land Sachsen-Anhalt über Erscheinungsformen des Klimawandels (unter unseren "besonderen" Klimaverhältnissen)? Wo existieren Informatio-

nen? Welche Einrichtungen (landesintern /-extern) beschäftigen sich damit? Worin besteht der besondere Forschungs- und Handlungsbedarf bezüglich der hieraus erwachsenden Konsequenzen (z. B. für den Wasserhaushalt und die Wasserwirtschaft, für die Vegetationsentwicklung, Acker- und Pflanzenbau, Forstwirtschaft, Arten - Lebensgemeinschaften - Ökosysteme, Extremereignisse - Trockenperioden, Hochwasserereignisse) ?

Das Sonderheft enthält Originalbeiträge zum oben genannten Thema aus den Bereichen Wissenschaft und Verwaltung.

## **Notwendigkeit und Herausforderungen für eine angewandte Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt: Erste Überlegungen und Perspektiven**

Prof. Dr. Manfred Frühauf

### **Prolog**

Der Klimawandel, seine Ursachen, vor allem aber hieraus erwachsende Folgen und Konsequenzen werden im internationalen und nationalen Rahmen in zunehmendem Maße nicht nur von der Wissenschaft, sondern auch von Entscheidungsträgern in der Politik und Wirtschaft auf regionaler und lokaler Ebene als eine der entscheidenden Herausforderungen der Gegenwart und Zukunft für die menschliche Gesellschaft angesehen. Von der Wissenschaft werden hierzu nicht nur neue Erkenntnisse über Erscheinungsformen des Klimawandels, sondern auch Hinweise bzw. Empfehlungen für „Problemminimierungen“ oder/und Anpassungsstrategien entwickelt, die es insbesondere auf regionaler Ebene umzusetzen gilt.

Hierfür gilt es neben den regionalen Besonderheiten des Klimas (und seines Wandels) auch die hieraus erwachsenden Konsequenzen, vor allem (aber nicht nur) für die Landnutzung und andere für unser Leben wesentliche Bedingungen, die in direkter oder indirekter Form in Wechselwirkungen mit den klimatisch/meteorologischen Bedingungen zu bewerten. Hierfür sind

neben Kenntnissen aus vorliegenden (internationalen/nationalen) Arbeiten der Wissenschaft (z.B. existierende Klima-Modelle bzw. Prognosen), der Politik (z. B. Klimaschutzkonzepte) vor allem regionale Kompetenzen zu „bündeln“, um so Handlungsempfehlungen für die Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Verwaltung geben zu können.

Es liegen in den verschiedenen Bundesländern Deutschlands unterschiedliche Erfahrungen vor. In Sachsen-Anhalt wurde, im Vergleich auch zu benachbarten Bundesländern, diesem Problemfeld bisher noch nicht die ausreichende Bedeutung beigemessen. Dieser Auffassung sind zumindest die Initiatoren des nachfolgend dargestellten „Memorandums für eine Klimafolgenforschung“. Damit soll nicht nur eine Begründung für eine angewandte Klimafolgenforschung oder gar die besondere Bedeutung selbiger für dieses Bundesland hervorgehoben werden, sondern es ist beabsichtigt, einen Anstoß zu geben, sich diesem Prozess im Verbund mit anderen Bundesländern zu stellen und hierbei vor allem auf die regionalen Kompetenzen aufzubauen.

## Memorandum zur Entwicklung angewandter Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt

### Hintergrund und Motivation

Das Memorandum basiert auf langjährigen Erfahrungen und Forschungsergebnissen der Unterzeichner zur Problematik der klimatischen und landnutzungsbedingten Veränderungen des Wasserhaushaltes im Mitteldeutschen Trockengebiet. Darüber hinaus arbeiten einige der Beteiligten in anderen Grenzregionen des Übergangs von humiden zu semiariden Klimaverhältnissen (Südsibirische Steppe, Great Plains). Hieraus resultiert ein umfangreiches Wissen über die Erfassung und Bewertung von Klimakenngrößen, vor allem aber hinsichtlich klimabedingter Effekte für die Landnutzung. Basierend auf diesem Wissensstand und der anerkannten Tatsache des weltweiten Klimawandels kommen die Unterzeichner zu dem Schluss, dass die Notwendigkeit der Entwicklung von Strategien einer nachhaltigen Landnutzung gerade in Sachsen-Anhalt von herausragender Bedeutung ist. Sachsen-Anhalt darf den deutschlandweiten Entwicklungen zur regionalen Klimafolgenforschung nicht nachstehen, gerade weil große Flächen des Landesterritoriums durch „besondere“ Klimaverhältnisse im Regenschatten des Harzes (Mitteldeutsches Trockengebiet) geprägt werden und schon gegenwärtig hieraus Nutzungseinschränkungen bzw. Probleme bezüglich ausreichender Ressourcenverfügbarkeit erwachsen. Mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und dem Umweltforschungszentrum verfügt das Land über zwei hochkarätige Forschungs- und Bildungseinrichtungen, die das Potential besitzen, Strategien einer nachhaltigen Landnutzung unter dem Aspekt des Klimawandels zu entwickeln.

Beide Einrichtungen kooperieren bereits über einen längeren Zeitraum mit dem Agrarmeteorologischen Dienst des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Mit dem Umzug des Umweltbundesamtes kommt ein weiterer gewichtiger und kompetenter Kooperationspartner hinzu.

### Klimawandel

Die **globale** Klimaentwicklung der vergangenen 150 Jahre ist durch eine Erhöhung der mittleren jährlichen Lufttemperaturen in Bodennähe gekennzeichnet. Vor allem in der letzten Dekade wurden immer neue Temperaturrekorde registriert. Mit der **globalen** Temperaturerhöhung gehen regionale Veränderungen der Niederschlags- und Luftfeuchteverhältnisse einher. Der hydrologische Zyklus von Verdunstung und Niederschlag wird durch höhere Temperaturen beschleunigt. Das bedeutet, dass sich auch der jährliche Verdunstungsanspruch der Atmosphäre vergrößern wird. Expertenschätzungen zufolge könnte sich dieser bis zur Mitte des Jahrhunderts um 100 bis 150 mm erhöhen. Die steigende Wasserdampfspeicherkapazität der Atmosphäre bewirkt gleichzeitig eine Zunahme der latenten Energie in der Troposphäre. Damit geht eine weltweite Erhöhung der Anzahl von klimatischen Extremereignissen - Dürren, Fluten, Stürme - einher. Für **Mitteleuropa** konnte ein Anstieg der Winter- und Sommertemperaturen von ca. 1 °C in den vergangenen 150 Jahren registriert werden. Hinsichtlich der Niederschläge ist ein Trend der winterlichen Zunahme und sommerlichen Abnahme der Niederschlagsmengen zu verzeichnen. Die Zunahme der bodennahen Jah-

resmitteltemperaturen in **Deutschland** betrug im selben Zeitraum 0,9 °C und liegt damit über dem globalen Trend von 0,7 °C. Seit 1988 liegen nahezu alle Jahresmitteltemperaturen (außer 1996) über dem Mittelwert für den Referenzzeitraum von 1961 - 1990. Die Niederschlagsverhältnisse zeigen den Trend zur winterlichen Zu- und sommerlichen Abnahme mit ausgeprägten Trockenperioden (Auftreten von Bodendürren).

### Folgen und Anforderungen

Der Klimawandel führt in erster Linie zu einer Veränderung der Randbedingungen und Steuergrößen des regionalen Landschaftshaushaltes (Wasser- und Stoffkreislauf) sowie der Habitateigenschaften für Flora und Fauna. Damit sind im weitesten Sinne auch Veränderungen der Landnutzungsbedingungen und der Landnutzungseignung zu erwarten. Hieraus ergibt sich ein erheblicher Handlungsbedarf bezüglich der Planung und Ausgestaltung ökologischen, ökonomischen und sozialen Handelns. Diesen veränderten Anforderungen muss sich die Gesellschaft mit der Entwicklung von Konzepten zum Klimaschutz und zur nachhaltigen Entwicklung unter sich ändernden klimatischen Bedingungen stellen.

### Reaktion

Die Umweltverwaltungen vieler Bundesländer reagieren seit einiger Zeit mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen und Organisationsformen auf diese Problematik. Sachsen, Brandenburg und Thüringen haben sich in den letzten Jahren intensiv dem Problem des Klimawandels und seiner ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen gewidmet. Dies wird vor allem durch Regionalstudien dieser Länder zum Klimawandel und dessen Folgen hinsichtlich:

- der Vegetationsentwicklung,
- der Rahmenbedingungen des Acker- und Pflanzenbaus,
- der Forstwirtschaft,
- der Talsperrenbewirtschaftung (Wasserversorgung, Hochwasserschutz),
- des Wasserhaushaltes allgemein und
- der Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosysteme dokumentiert.

Die Länder Bayern und Baden-Württemberg haben 1999 gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst eine längerfristige gebiets- und fachübergreifende Zusammenarbeit zum Thema „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ vereinbart.

Klimaänderungen haben weit reichende Auswirkungen auf die verschiedenen Ökosysteme, unter anderem im Auftreten und Vorkommen von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen, aber auch in einer sich ändernden Bodenfruchtbarkeit und im Auftreten von wind- und niederschlagsbedingter Bodenerosion und auf das Versickerungsregime in den verschiedenen Naturräumen. Im Rahmen von wissenschaftlichen Studien wurden diesbezüglich regionalspezifische Handlungsfelder und Handlungsmöglichkeiten identifiziert.

### Notwendigkeit der Klimafolgenforschung in Sachsen Anhalt

Hinsichtlich der Anfälligkeit, aber auch der Folgen des Klimawandels weist Sachsen-Anhalt eine besondere Situation auf. Diese erhöhte **Vulnerabilität** (UBA 2005), die nur für zwei Gebiete in Deutschland zutrifft, ergibt sich insbesondere aus der geographischen Lage im Mitteldeutschen Trockengebiet, aber auch auf Grund der (spezifischen) Landnutzungsbedingungen. Da große Teile des Landes schon gegenwärtig

durch ein geringes Niederschlagsdargebot und große Verdunstungsraten bei gleichzeitig hohen Ansprüchen bezüglich Wasserquantität und -qualität gekennzeichnet sind, existieren diesbezüglich schon jetzt Defizite. Da gerade Landschaften in solchen Grenzräumen zwischen humiden und semiariden Verhältnissen auf Klimaänderungen (Temperaturerhöhung, Verschiebung des Niederschlagsanges) mit großen Amplituden in ihrer Systemdynamik (Hochwasser, Dürre, Stürme - mit entsprechenden Folgen) reagieren, ergibt sich hieraus ein erheblicher Forschungs-, aber auch Handlungsbedarf. So werden sich in Trockengebieten, in denen derzeit Regenfeldbau gerade noch möglich ist, zukünftig die Notwendigkeit der Bewässerungswirtschaft oder ein Wandel in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise bis hin zum Anbau neuer Fruchtarten ergeben. Dies gilt nicht nur für landwirtschaftliche Nutzungsinteressen. Hieraus wird erkennbar, dass die Verfügbarkeit und Nutzung der Ressource Wasser in diesem Sachzusammenhang eine besondere Bedeutung zukommt. Deshalb sind hierfür Konzepte zur Gewährleistung einer ausreichenden Versorgung mit Trink- und Brauchwasser unter Berücksichtigung der neuen Rahmenbedingungen zu entwickeln. Aktuelle Bewirtschaftungspläne werden ihre Wirksamkeit unter veränderten klimatischen und hydrologischen Bedingungen verlieren.

Mit der Entwicklung von regional differenzierten Prognosen des Klimawandels und seiner Folgen für den regionalen Landschaftshaushalt müssen Grundlagen für zukunftsorientierte Strategien einer nachhaltigen Nutzung geschaffen werden. Dabei müssen auch Szenarien über die aus der Zunahme von Extremereignissen (Starkregen, Stürme) bedingten Folgen Berücksichtigung finden.

Diese Denkschrift soll auf die herausragende Bedeutung des Klimawandels für die zukünftige ökologische, ökonomische und soziale Ausgestaltung der Gesellschaft hinweisen und die Notwendigkeit der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Auseinandersetzung mit der Problematik unterstreichen.

Es wäre unverantwortlich für offensichtliche Probleme des Raumnutzungswandels, deren Kommen unausweichlich ist, nicht rechtzeitig mit wissenschaftlich fundierten Handlungskonzepten, die auch eine Akzeptanz in der Bevölkerung finden, bereitzustehen.

„Aus der erforderlich gewordenen Zuwendung zur Bestimmung und Beurteilung der Auswirkung von Klimaschwankungen auf Natur und Gesellschaft entstehen jetzt schon die Konturen eines neuen interdisziplinären Forschungsgebietes, das wie kaum ein anderes Gebiet geeignet ist, tragende Idee universitärer Umweltforschung zu sein“ (HUPFER u. BERNHARDT 1993).

#### **Die Unterzeichner**

Prof. Dr. M. Frühauf, Dr. G. Schmidt

Institut für Geographie

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Dr. J. Müller

Außenstelle Leipzig-Holzhausen

Agrarmeteorologischer Dienst

DWD Deutscher Wetterdienst

Prof. Dr. Ralph Meißner

Department Bodenphysik

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ

### **Erste Schlussfolgerungen und notwendige Konsequenzen**

Bisherige Befunde geben deutliche Hinweise auf Erscheinungsformen des Klimawandels auch für Sachsen-Anhalt. Weitergehende Publikationen lassen diesbezüglich für Sachsen-Anhalt sogar eine besondere Vulnerabilität erkennen. Allerdings steht eine detaillierte Auswertung des (vorhandenen) Datenpools für den mitteldeutschen Raum noch aus.

Zum anderen widerspiegeln aber die vorhandenen Erkenntnisse auch, dass unser Bundesland sowohl hinsichtlich aktueller Erkenntnisse zum Klimawandel, vor allem aber zu den hieraus erwachsenden Folgen im Vergleich zu anderen (benachbarten) Bundesländern deutliche Defizite aufweist.

Deshalb müssen zeitnah regionalorientierte weitergehende Untersuchungen ausgeweitet werden. Hierfür sind vorhandene Ressourcen zu nutzen, aber auch Fördermöglichkeiten zu optimieren sowie neue Strukturen zu entwickeln. Erst dadurch wird es möglich sein, den aktuellen und zukünftigen Erfordernissen im Sinne von aus Forschungsbefunden ableitbaren Handlungsempfehlungen von Anpassungsstrategien, aber auch einer notwendigen Politikberatung, besser gerecht zu werden.

Hierbei stehen nach Sicht der Unterzeichner des Memorandums unter Berücksichtigung der spezifischen Naturraum- und Nutzungsbedingungen unseres Bundeslandes folgende Schwerpunkte im Vordergrund:

#### **Landwirtschaft/Bodennutzung**

- Anpassung an zunehmende Sommertrockenheit (Bewässerung; neue Kulturen, wassersparende Anbausysteme, Winderosionsgefährdung)

- Zunahme von Wassererosionsgefährdung von Lössstandorten durch Zunahme von Starkregen
- Veränderungen der Ökologie von ombrogen/topogner Moorstandorte sowie grund-/stauwasserbeeinflusster, landwirtschaftlich genutzter Böden

#### **Forstwirtschaft**

- Konsequenzen bezüglich der Änderungen der Baumartenzusammensetzung
- Zunahme der Anfälligkeit bezüglich der Waldbrände bzw. des Schädlingsbefalls

#### **Wasserhaushalt/Wasserwirtschaft**

- Veränderung der regionalen Wasserhaushaltsparameter und ihrer Konsequenzen für Oberflächenabflussbedingungen (inklusive Rückwirkungen auf Erosions-/Nährstofftransfer-Geschehen), Fließ-/Standgewässer sowie Grundwasserneubildung
- Konsequenzen für Entstehung der Braunkohlenfolgen-Seen-Landschaft
- Bewertung/Szenarien für Hoch- und Niedrigwasserereignisse (Rückwirkungen auf Maßnahmen des zentralen/dezentralen Hochwasserschutzes)

#### **Tourismus/Gesundheitswesen**

- Rückwirkungen auf Tourismus im Harz und in anderen Naherholungsgebieten
- Rückwirkungen auf gesundheitliche Aspekte (Zunahme wärmeliebender Krankheitsüberträger)

Für die Umsetzung dieser Zielstellungen soll möglichst umgehend eine

*Projektgruppe für Klimafolgenforschung und -anpassung in Sachsen-Anhalt*

mit Vertretern aus Verwaltung und Wissenschaft eingerichtet und mit entsprechenden Kompetenzen ausgestattet werden. Ihre Zusammensetzung und Strukturierung, vor allem aber die durch sie zu erledigenden (nächsten und längerfristigen) Aufgaben (mit Partnern innerhalb und außerhalb von Sachsen-Anhalt), aber auch ihre Handlungskompetenzen sind in einem ersten Arbeitsschritt zwischen Vertretern des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt LSA, des LAU sowie Vertretern der Wissenschaft baldmöglichst festzulegen und durch regelmäßige Beratungen sowie öffentliche Veranstaltungen zu überprüfen bzw. zu dokumentieren.

#### Literatur, Quellen

**CHMIELEWSKI, F.-M. (1990):** Klimaschwankungen und Vegetation. In: Klimaschwankungen und Klimawirkungen. Manuskripte, Mathematik/Naturwissenschaften, Berlin, 2, 2, 36-65.

**DÖRING, J., MÜLLER, J., JÖRN, M., NEUBERT, S., PANNICKE, I., WEDEKIND G., U. J. SCHURIGT (1995):** Klimatische Kennzeichnung des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. In: **KÖRSCHENS, M., und E.G MAHN** (Hrsg.): Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart/Leipzig, 533-568.

**DWD** – Deutscher Wetterdienst (2001): Klimastatusbericht

**GERSTENGARBE, F.W., BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOW, F., WECHSUNG, F., U. P.C. WERNER (2003):** Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, Die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Prognosen, PIK – Potsdam Institut für

Klimafolgenforschung, Im Auftrag des Landes Brandenburg

**HEYER, E. (1993):** Witterung und Klima: eine allgemeine Klimatologie. B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, 344 S.

**HUPFER, P. U. K.-H. BERNHARDT (1992):** Vorwort. In: Klima- und Atmosphärenforschung, Diagnostik-Theorie-Modellierung. In: Wiss. Z. d. Humboldt-Univ. Berlin, Mathematik/Naturwissenschaften, 41, 2, 3.

**MLNU** – Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt des Landes Thüringen (2000): Klimaschutz in Thüringen - Analysen, Potentiale, Handlungsfelder.

**MÜLLER, J., SCHUMANN, P. U. P. JÖRN (1998):** Zur Häufigkeit von Bodendürren im mitteldeutschen Trockengebiet. Deutsche Meteorologentagung, 14.-18.09. 1998 in Leipzig, Annalen der Meteorologie, Bd. 1, Offenbach a. M., 37, S. 167-168

**RAPP, J. U. C. SCHÖNWIESE (1996):** Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891–1990, Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten: Ser. B, Meteorologie und Geophysik; Bd. 5, Frankfurt am Main, 1996

**SCHÖNWIESE, C. (2004):** Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland, 4. Annaberger Klimatage, Vortrag Mai 2004

**SCHUMANN, A., U. J. MÜLLER:** Klimatologische Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebiets. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 77 (1995), S. 43-48

**SMUL** – Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2005): Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick

**UBA** – UMWELTBUNDESAMT - (2005): Klimawandel in Deutschland: Vulnerabilität u. Anpassungsstrategien klimaintensiver Systeme, UBA FB 000844, Dessau.

## Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Datengrundlage für die Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt -

Dipl.-Phys. Wigbert Albrecht

### Einführung

Unter **Klima** versteht man die Gesamtheit meteorologischer Größen, gemittelt über eine Zeitspanne an einem bestimmten Ort. Es wird nicht nur durch atmosphärische Prozesse beeinflusst, sondern auch durch die Erdoberfläche, die Sonneneinstrahlung und den Menschen. Natürliche Schwankungen einer oder mehrerer meteorologischer Größen hat es immer gegeben. Jedoch weisen viele Größen eine starke Änderung in eine Richtung in den letzten 150 Jahren auf, die es zuvor noch nie gegeben hat – der so genannte anthropogene **Klimawandel**.

Auswirkungen des Klimawandels sind inzwischen deutlich spürbar und werden in den Sachstandsberichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) umfassend dargelegt /1/.

Um mögliche zukünftige Entwicklungen des Klimas abzuschätzen, wurden in letzter Zeit durch verschiedene Institutionen Klimaszenarien/-projektionen entwickelt. Die Klimaänderungsszenarien lassen sich somit als plausible, mögliche Darstellungen der Zukunft, jedoch nicht als Vorhersagen des Wetters für morgen oder übermorgen verstehen.

Sie werden auf der Grundlage plausibler, oft vereinfachter Annahmen über den künftigen demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaft-

lichen und technischen Wandel bestimmt und mit speziellen Klimamodellen berechnet.

Ausgehend von den Aktivitäten des IPCC zum globalen Klimawandel und dem globalen IPCC-Klimamodell laufen derzeit Modellrechnungen, um die Auswirkungen globaler Klimaänderungen im regionalen Bereich (Europa, Deutschland) bis zum Jahr 2100 abzuschätzen.

Im Auftrag des UBA erstellten das Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI), Hamburg, und die Firma Climate & Environment Consulting GmbH (CEC), Potsdam, unter der Leitung von Dr. Daniela Jacob und Dr. Wolfgang Enke Szenarien für mögliche Klimaänderungen in Deutschland bis zum Jahr 2100 /2/, /3/.

Dabei werden zwei verschiedene Herangehensweisen für die Modellierung gewählt.

Mit dem Modell REMO (Regionale Modelle - MPI) bilden die Forscher die dynamischen Vorgänge in der Atmosphäre ab. Das Modell WETTREG (CEC) nutzt die statistischen Wechselbeziehungen bisheriger Klimabeobachtungen – vor allem den Einfluss der Großwetterlagen auf das Lokalklima.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen bilden die wesentliche Datengrundlage auch für die Bewertung der Klimaveränderungen in Sachsen-Anhalt und die darauf aufbauende Klimafolgenforschung.

Tabelle 1: Modelle für Klimaszenarien

	<b>REMO</b>	<b>WETTREG</b>
<b>Modelltyp</b>	Dynamisches Modell, Antrieb: ECHAM5	Statistisches Regionalisierungsverfahren Basierend auf ECHAM5
<b>Entwicklung</b>	MPI für Meteorologie, Ham- burg	Meteo-Research, Potsdam
<b>Modellgebiet</b>	Deutschland plus Alpenraum	Deutschland
<b>Modellzeitraum</b>	bis 2100	bis 2100
<b>IPCC-Emissionsszenarien</b>	A1B, B1, A2	A1B, B1, A2
<b>Räuml. Auflösung</b>	0,08° (ca. 10 x 10 km)	Bezogen auf meteorologische Stationen
<b>Struktur</b>	Rotiertes Modellgitter Reguläres Lat/Lon-Gitter Kleinräumige Ausschnitte möglich	Kleinräumige Ausschnitte möglich

### Datengrundlage

An dieser Stelle sollen nur einige wesentliche Punkte genannt werden, Details sind in den Veröffentlichungen des MPI bzw. der CEC GmbH nachzulesen.

Die Modelle REMO bzw. WETTREG sind in der oben aufgeführten Tabelle charakterisiert.

Den Modellrechnungen werden die für den 4. Sachstandsbericht des IPCC ausgewählten Emissionsszenarien A2, A1B und B1 zugrunde gelegt.

- Das Emissionsszenario **A2** beschreibt eine sehr heterogene Welt. Die Geburtenraten der verschiedenen Regionen nähern sich nur langsam an, was zu einem kontinuierlichen Anstieg der Weltbevölkerung führt. Wirtschaftliches Wachstum ist vor allem regional orientiert, und das wirtschaftliche Pro-Kopf-Wachstum sowie der technologische Wandel verändern sich fragmentierter und langsamer als in anderen Szenarien.
- Das Emissionsszenario **A1B** beschreibt eine künftige Welt mit sehr raschem wirtschaftlichem Wachstum, mit einer Weltbevölkerung, deren Zahl bis Mitte des

21. Jahrhunderts zunimmt und danach abnimmt, und mit einer raschen Einführung von neuen und effizienteren Technologien. Die Energienutzung ist durch eine Ausgeglichenheit über alle Energieträger hinweg gekennzeichnet.

- **B1** geht von der gleichen globalen Bevölkerung wie im Szenario A1B aus; aber mit raschen Veränderungen in den wirtschaftlichen Strukturen hin zu einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, mit deutlich geringerer Materialintensität sowie der Einführung von emissionsarmen und ressourcenschonenden Technologien. Der Schwerpunkt liegt auf globalen Lösungen in Richtung wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit, einschließlich verbesserter Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimaschutzinitiativen.

Die Zukunftsszenarien B1, A1B und A2 wurden vom (IPCC) definiert und beschreiben sich unterschiedlich entwickelnde Welten. Im Ergebnis unterschiedlicher Entwicklungen steigen die globalen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen in allen

Szenarien bis 2050 an auf etwa 9, 16 bzw. 17 Gt CO<sub>2</sub> (Gigatonnen, eine Gigatonne = 1 Milliarde Tonnen CO<sub>2</sub>). Anschließend sinken sie in B1 unter die Werte von 1990 und in A1B auf 13 Gt C. In A2 steigen sie ungebremst auf fast 30 Gt CO<sub>2</sub>. Die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen betragen im Jahr 2100 etwa 540, 710 bzw. 840 ppm

CO<sub>2</sub>. Zum Vergleich: die CO<sub>2</sub>-Konzentration lag 1880 bei etwa 280 ppm und hat momentan 381 ppm CO<sub>2</sub> erreicht.

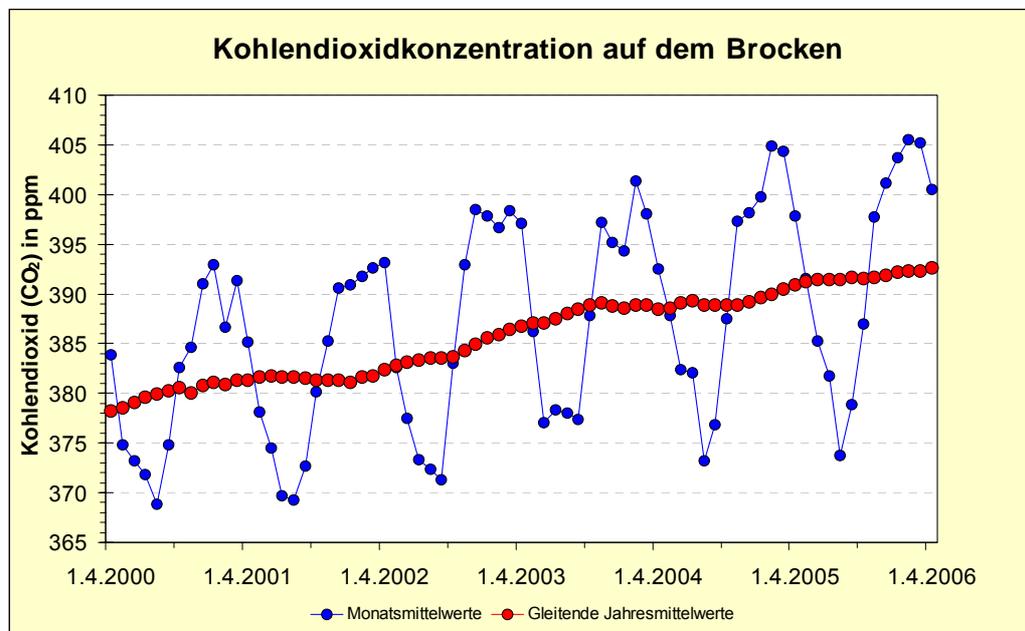
Eine Auswertung der Messergebnisse zur Kohlendioxidimmissionskonzentration auf dem Brocken bestätigt den ansteigenden Trend in den Prognosen, s. Abb. 1.

*Tabelle 2: Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) aus fossilen Brennstoffen, industriellen Aktivitäten und Landnutzungsänderungen in den verschiedenen IPCC-Szenarien*

*1 Petagramm Kohlenstoff (Pg C) = 1 Milliarde Tonnen Kohlenstoff,*

*1 Teragramm Schwefel (Tg S) = 1 Million Tonnen Schwefel.*

	CO <sub>2</sub> - Emission (Pg C/a)			SO <sub>2</sub> - Emission Tg S/a		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
<b>2000</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>69</b>	<b>69</b>	<b>69</b>
<b>2020</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>75</b>
<b>2040</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>109</b>	<b>69</b>	<b>79</b>
<b>2060</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>90</b>	<b>47</b>	<b>56</b>
<b>2080</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>65</b>	<b>31</b>	<b>36</b>
<b>2100</b>	<b>29</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>60</b>	<b>28</b>	<b>25</b>



*Abb. 1: Verlauf der Kohlendioxid-Immissionskonzentration an der LÜSA-Messstation Brocken*

*vom Jahr 2000 bis Mitte 2006*

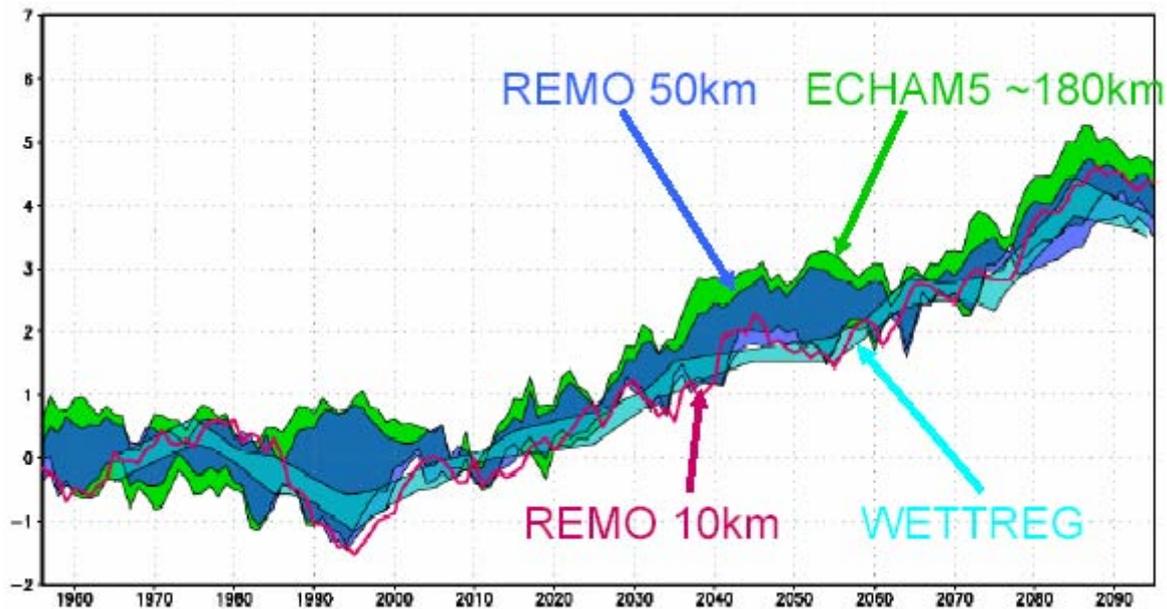


Abb. 2: Modellrechnungen zur Änderung der 2m-Temperaturänderung [°C] im Winter bis zum Jahr 2100 Emissionsszenario A1B; JACOB, KREIENKAMP u.a., 2006 /4/

Die unterschiedlichen Klimamodelle und Emissionsszenarien führen sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene erwartungsgemäß zu unterschiedlichen Ergebnissen bei den einzelnen klimarelevanten Parametern (Abb. 2 und 3).

### Ergebnisse aus regionalen Klimamodellierungen

Im Laufe des Jahres 2006 liegen Ergebnisse aus den räumlich und zeitlich hochaufgelösten regionalen Klimamodellrechnungen mit WETTREG und REMO vor. Diese umfassen einen Zeitraum bis zum Jahr 2100 und es können Aussagen zu einer Vielzahl von meteorologischen Größen, wie z.B. Temperatur (Tagesmittel, Maximum, Minimum), Niederschlag, Luftdruck, relative Feuchte, Taupunkt, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, Wolkenbedeckungsgrad, Schneebedeckungsgrad, Windstärke, abgeleitet werden.

Erste Ergebnisse wurden im Rahmen von Workshops „Künftige Klimaänderungen in Deutschland - Regionale Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert“ beim UBA vorgestellt.

Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse zum Niederschlag und zur mittleren Temperatur diskutiert.

Am Beispiel des Niederschlages wird deutlich, wie wichtig auch eine zeitlich aufgelöste Betrachtung der einzelnen Parameter ist.

So bleibt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge in vielen Teilen Deutschlands nahezu gleich. Betrachtet man dagegen das Sommer- und Winterhalbjahr getrennt, so zeigt sich, dass im Winterhalbjahr deutliche Zunahmen und im Sommerhalbjahr deutliche Abnahmen der Niederschlagsmengen zu erwarten sind (s. Abb. 4). Die ohnehin niederschlagsarmen Regionen in Sachsen-Anhalt werden somit noch trockener.

# The global climate of the 21st century

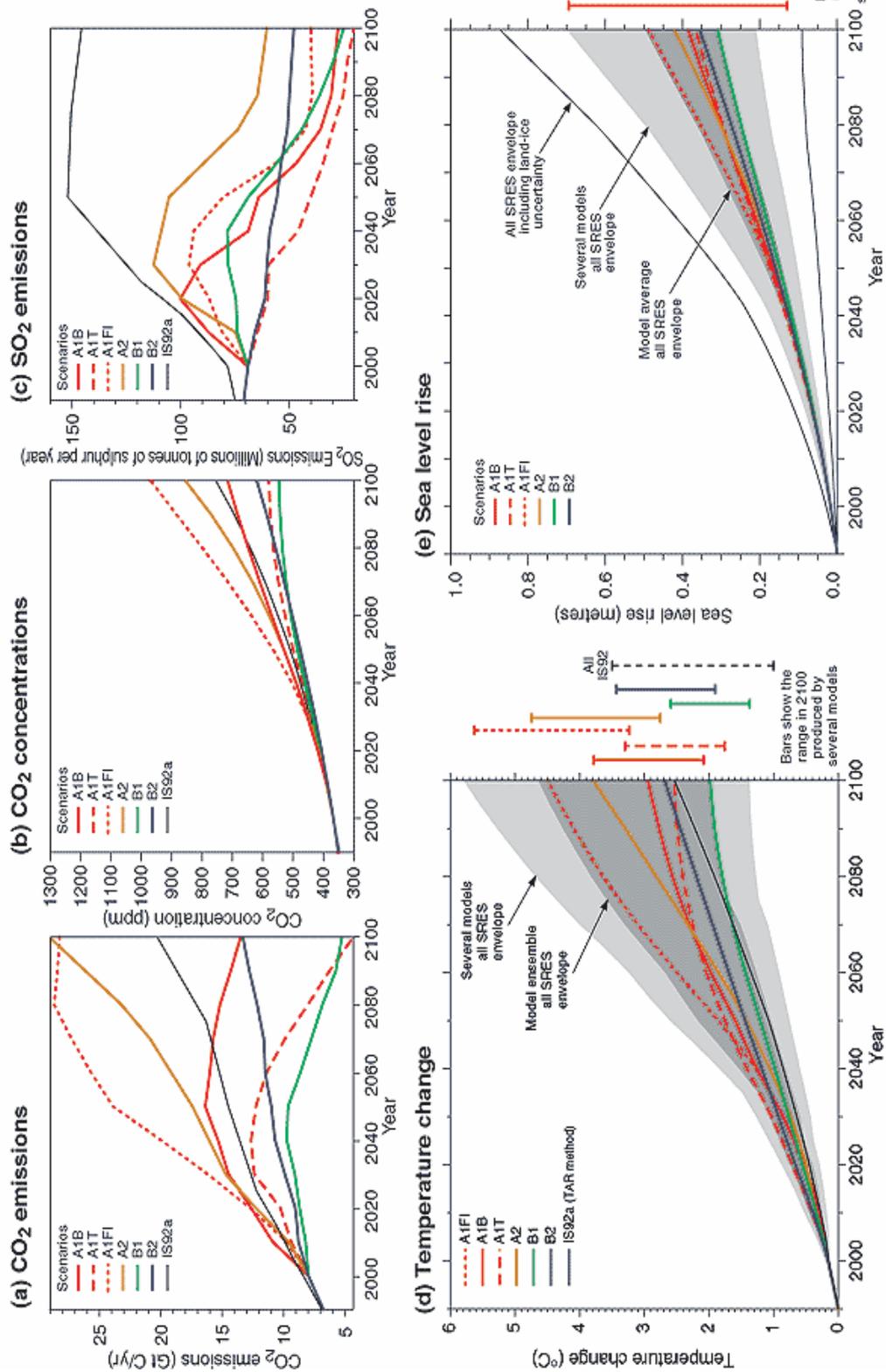


Abb. 3: Ergebnisse von Modellrechnungen aus dem 3. Sachstandsbericht des IPCC

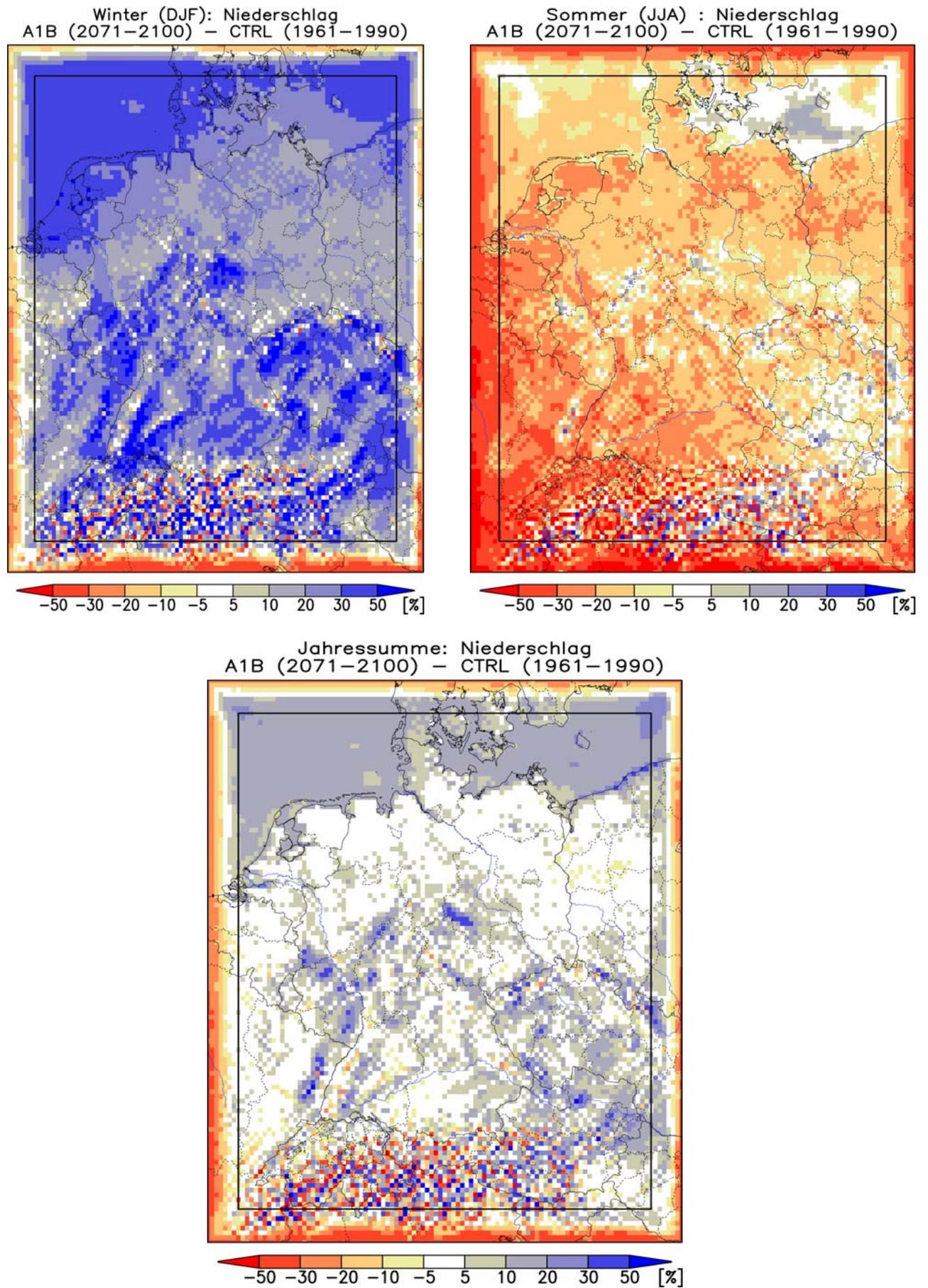


Abb. 4: Veränderung des Niederschlages im Jahresmittel, Winter bzw. Sommer im Zeitraum von 2071-2100 gegenüber dem Zeitraum von 1961-1990 (REMO; Szenario A1B)

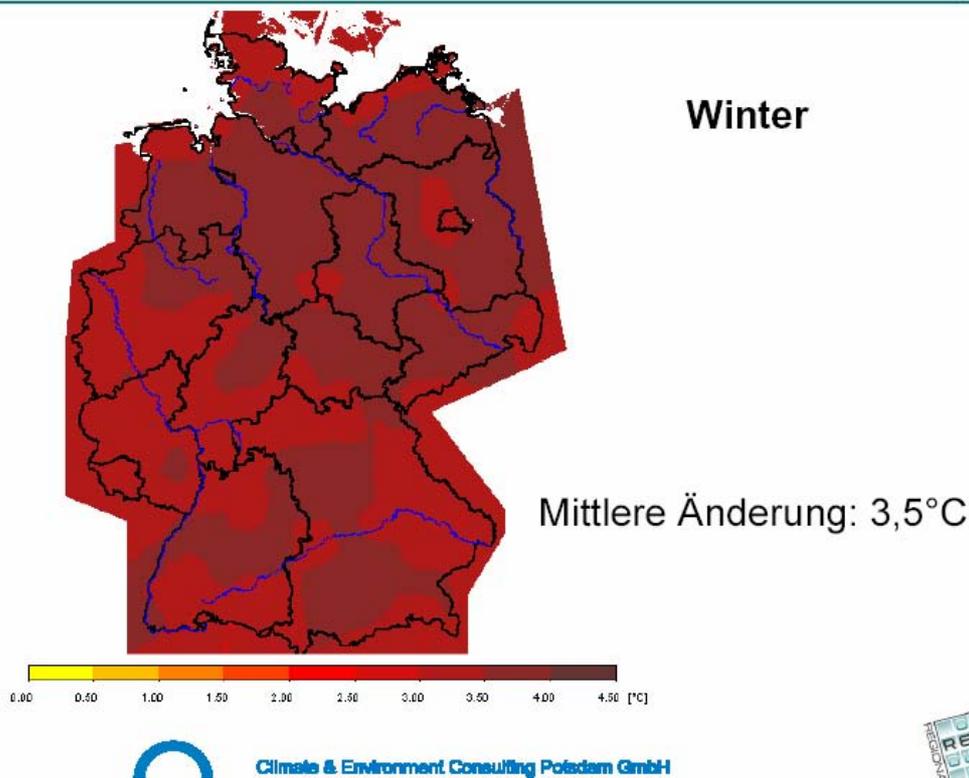


Abb. 5: Änderungen der Winter-Temperatur im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 2071-2100 /3/

In Abbildung 5 ist die Temperaturveränderung im Winter für den Vergleich der o.g. Zeiträume angegeben (WETTREG, Szenario A1B).

Für Deutschland ist von einer mittleren Temperaturerhöhung um 3,5 °C im Zeitraum 2071-2100 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990 auszugehen; in der Nordhälfte Deutschlands etwas stärker ausgeprägt als im Süden.

Es bleibt Aufgabe der Bundesländer, aus den vorliegenden Ergebnissen der Klimaszenarien die eigene Betroffenheit zu analysieren sowie Anpassungsstrategien an die Folgen des Klimawandels zu entwickeln.

#### Zugang zu den Daten

Prinzipiell sind die REMO- und WETTREG-Daten für die Bundesländer kostenfrei zugänglich.

In einem ersten Schritt sind hierfür mit dem UBA Nutzungsvereinbarungen für die REMO- und WETTREG-Daten abzuschließen. Hierbei sind insbesondere Angaben zum Zweck der Datennutzung auszuführen.

Mit der Unterzeichnung der Nutzungsvereinbarung wird ein Zugang zur CERA-Datenbank des Deutschen Klimarechenzentrums eingerichtet (<http://cera-www.dkrz.de>).

In der Datenbank stehen die REMO- und WETTREG-Daten zum Download zur Verfügung.

Auf den Internet-Seiten des Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung beim UBA sowie beim MPI werden Hinweise für Datennutzer angeboten /4/.

Für die WETTREG-Daten wurde durch CEC im Auftrag der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen ein Interaktives Diagnose- und Präsentationstool (IDP2006) entwickelt, welches eine Datenanalyse und Visualisierung der WETTREG-Daten ermöglicht.

Über eine Nutzungsvereinbarung ist die kostenfreie Nachnutzung durch die anderen Bundesländer möglich.

#### **Ausblick für Sachsen-Anhalt**

Durch das Landesamt für Umweltschutz wurden mit dem UBA Nutzungsvereinbarungen für die WETTREG- und REMO-Daten abgeschlossen.

Die WETTREG-Daten mit dem zugehörigen interaktiven Diagnose- und Präsentationstool werden inzwischen im Landesamt für Umweltschutz genutzt.

Das LAU hat zwischenzeitlich auch Zugriff auf die CERA-Datenbank des Deutschen Klimarechenzentrums. Von dieser können schrittweise nach Fertigstellung der einzelnen Rechenläufe die REMO-Daten geladen werden. Infolge der Datenformate und des Datenumfangs bedarf es einer weiteren Datenaufbereitung, um entsprechende Materialien für die Politikberatung bereitzustellen.

#### **Literatur**

/1/ **IPCC** Third Assessment Report – Climate Change 2001

/2/ Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert . Max Planck Institut für Meteorologie Hamburg, Januar 2006

/3/ **JACOB, D., und F. KREIENKAMP:** Regionale Klimaszenarien für Deutschland. Zweiter nationaler Workshop „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland — Regionale Szenarien und nationale Aufgaben“, UBA 10/2006

/4/ Zugang zu den REMO-Daten MPI, Stand: Juli 2006

Dipl.-Phys. Wigbert Albrecht

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Fachbereich 3

Luftreinhaltung/Klimaschutz/Verkehr

E-Mail:Wigbert.Albrecht@lau.mlu.sachsen-anhalt.de

## Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen

Dr. Ilka Fabig

### 1 Einleitung

Unbestritten ist, dass seit Mitte des 20. Jahrhunderts aufgrund der Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes weltweit eine deutliche Temperaturerhöhung eingetreten ist (IPCC 2001). Die Auswirkungen dieses sich auf globaler Ebene vollziehenden Klimawandels sind dabei sowohl räumlich als auch jahreszeitlich unterschiedlich entwickelt, so dass die Betrachtung **regionaler Folgewirkungen** in den Mittelpunkt des Interesses gerückt ist. Im Gegensatz zu benachbarten Bundesländern (WECHSUNG et al. 2005, TLUG 2004, GERSTENGARBE et al. 2003, ENKE et al. 2001) muss für das Land Sachsen-Anhalt der derzeitige Kenntnisstand bezüglich regionaler Folgen globaler Klimaveränderungen als unzureichend bewertet werden. Vor allem vor dem Hintergrund der klimatischen und naturräumlichen Rahmenbedingungen und der daraus resultierenden außerordentlich hoch eingeschätzten Vulnerabilität gegenüber den aktuellen und zukünftigen Entwicklungen (ZEBISCH et al. 2005) ist es zwingend erforderlich, in diesem Raum Untersuchungen zu Ursachen, Verlauf und Folgen des Klimawandels voranzutreiben. Dies gilt in verstärktem Maße für das **Mitteldeutsche Trockengebiet**, das, begründet durch die Regenschattenwirkung des Harzes, mit Jahresniederschlägen unter 500 mm eine der niederschlagsärmsten Regionen Mitteleuropas dar-

stellt (HENDL & ENDLICHER 2003). Räumliche und saisonale Verschiebungen des Niederschlagsangebotes und eine Erhöhung der Verdunstungsraten aufgrund steigender Temperaturen hätten für den Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes weit reichende Folgen. Insbesondere in einem, bedingt durch die fruchtbaren Schwarzerdeböden, agrarisch sehr intensiv genutzten Raum, könnte sich die bereits heute angespannte Wasserhaushaltssituation weiter verschärfen (ZEBISCH et al. 2005). Darüber hinaus würde, begründet durch die hohe ackerbauliche Nutzung und die Substrateigenschaften des Lösses, eine Zunahme intensiver Niederschlagsereignisse das Gefährdungspotenzial für den Bodenabtrag weiter heraufsetzen. Diese durch Bodenerosion bedingten Sedimenteinträge in die Vorfluter stellen eine zusätzliche Beeinflussung des Gewässerzustandes dar und haben weit reichende Folgen für die Gewässergüte.

### 2 Untersuchungsgebiet

Das Mitteldeutsche Trockengebiet ist, bis auf einen flächenmäßig kleinen Bereich im Südwesten, administrativ dem Bundesland Sachsen-Anhalt zuzuordnen. Zur Abgrenzung des Untersuchungsraumes wurde die 500 mm - Niederschlagsisohyete (langjähriges jährliches Mittel 1970-2000) gewählt. Charakteristisches Merkmal für das Klima des Mitteldeutschen Tro-

Tab. 1: Anzahl der Niederschlagsstationen innerhalb unterschiedlicher Betrachtungszeiträume

	Zeitraum					
	1902-2000	1902-1930	1931-1960	1961-1990	1971-2000	1991-2002
Stationen mit Tageswerten	4	6	7	19	39	16
Stationen mit Monatswerten	23	24	32	45	43	16

ckengebietes sind die durch die Lee-Wirkung des Harzes hervorgerufenen geringen **Niederschläge**. Die mittleren jährlichen Niederschlags Höhen liegen zwischen 450 mm im Gebiet der Mansfelder Seen, dem Kern des Mitteldeutschen Trockengebietes, und 500 mm in den Randbereichen, so dass der gesamte Untersuchungsraum als niederschlagsbenachteiligt zu bezeichnen ist (HENDL & ENDLICHER 2003). In sehr trockenen Jahren können im östlichen Harzvorland nur 230 bis 300 mm Niederschlag erreicht werden, was zumindest vorübergehend zu ariden Bedingungen in diesen Gebieten führen kann (DÖRING et al. 1995). Treten zusätzlich sehr trockene Jahre in rascher Abfolge auf, so können sich die entsprechenden Auswirkungen noch verstärken. Hinsichtlich der jahreszeitlichen **Niederschlagsverteilung** ist ein kontinentaler Einfluss prägend, der ein Niederschlagsmaximum in den Sommermonaten und ein Minimum in den Monaten Februar und März bewirkt (DÖRING et al. 1995). Charakteristisch für die Sommermonate sind konvektive Ereignisse und ein damit verbundener hoher Anteil erosionsgefährdender Niederschläge.

### 3 Methodik

Für die Untersuchungen waren Daten hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zwingend notwendig. Um eine ausreichende Qualität gewährleisten zu können, wurden ausschließlich Daten des Stationsmessnetzes des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Ausgangspunkt der nachfolgenden Auswertungen sind

Niederschlagszeitreihen, die durch eingehende Korrektur- und Homogenitätsprüfungen für die statistische Analyse aufbereitet wurden. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Stationen, die für die jeweiligen Betrachtungsräume zur Verfügung stand.

An die Betrachtung der Jahres-, Quartals- und Monatsebene schloss sich die Auswertung stärkerer Einzelereignisse an. In diesem Zusammenhang war es zunächst erforderlich, aus den vorliegenden Reihen täglicher Niederschlagsmessungen die **Extremereignisse** auszuwählen. In der Literatur ist der Begriff „Extremwert“ nicht eindeutig definiert. Allgemein kann festgestellt werden, dass ein Extremwert ein Ereignis darstellt, das stark von den entsprechenden Durchschnittswerten einer bestimmten Region abweicht. Im Rahmen der Auswertungen wurde so verfahren, dass ein Tagesniederschlag ab einer Höhe von  $\geq 10$  mm als ein stärkeres Ereignis eingeschätzt wurde. Um zusätzlich größere Ereignisse in die Auswertung einzubeziehen, ohne dabei jedoch die statistische Sicherheit herabzusetzen, wurde als weitere Grenze 20 mm gewählt.

### 4 Ergebnisse

Als **Kernaussage** lässt sich festhalten, dass es **im Untersuchungsgebiet bezüglich des Parameters Niederschlag zu beobachtbaren Veränderungen** gekommen ist. Dabei differieren sowohl Richtung als auch Stärke der ermittelten Trends in Abhängigkeit vom gewählten Zeitintervall und hydrologischen Betrachtungszeitraum.

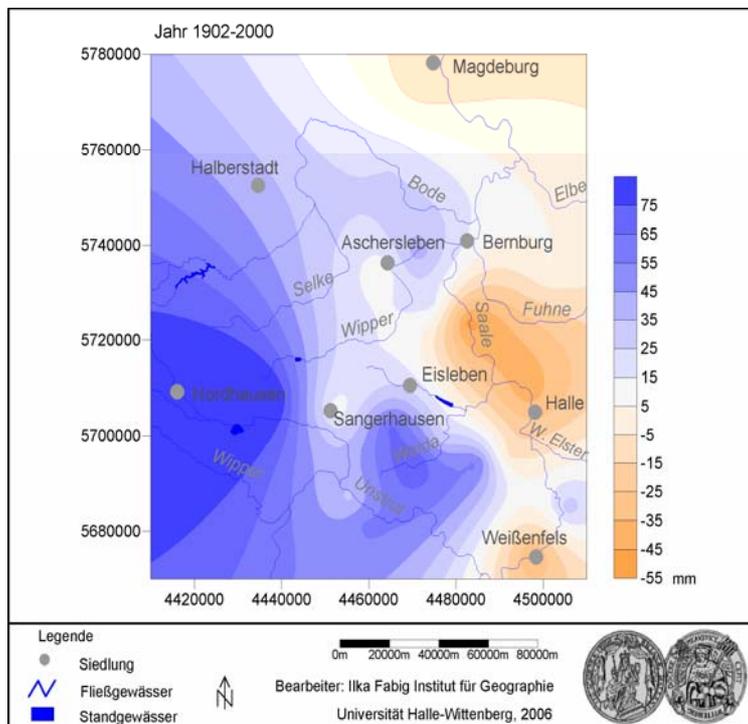


Abb. 1:

*Absoluter linearer Trend des Niederschlages [mm] für den Zeitraum 1902-2000, bezogen auf das hydrologische Jahr*

Bei der **ganzjährigen** Betrachtung auf Basis der vergangenen 100 Jahre (Abb. 1) zeigt sich, dass, mit Ausnahme des Bereiches nordöstlich der Mansfelder Seen, dessen Niederschlagsdefizit gegenüber den anderen Gebieten bis zu 10% beträgt, im 20. Jahrhundert von einer **Zunahme der Niederschläge im Untersuchungsgebiet** auszugehen ist. Die lokal entwickelten **negativen Jahrestrends** sind in diesem Zusammenhang besonders brisant, da in den betroffenen Gebieten auch eine Erhöhung des Winterniederschlages die zurückgehenden Sommerniederschläge nicht mehr kompensieren kann. Betrachtet man die Starkniederschlagsaktivität auf Basis des Jahresniederschlages, können entsprechende Aussagen getroffen werden. Interessant ist eine Trendumkehr, die sich zwischen den Zeiträumen 1961-1990 und 1971-2000 vollzogen hat. Damit wird ein Wandel in Richtung einer Häufigkeitszunahme stärkerer Ereignisse in der jüngsten Vergangenheit angezeigt.

Aufgrund einer, über das Jahr betrachtet, unterschiedlichen Niederschlagsentwicklung, wurde die Unterteilung der Jahressumme in verschie-

dene Bezugszeiträume, wie Halbjahre oder Quartale, vorgenommen. Das **Winterhalbjahr** und die dazugehörigen Quartale zeigen dabei eine **klare Dominanz signifikanter Trendverstärkung**, die vor allem im Bereich des Harzes und der Querfurter Platte ausgeprägt ist (Abb. 2). Insbesondere während des Winterquartals konnten **positive Trends von Gesamtniederschlag und Starkniederschlagsaktivität** dokumentiert werden, die zudem deutlich häufiger Signifikanz aufwiesen als vergleichbare Ergebnisse auf Basis der Sommermonate. Somit gewinnen stärkere Ereignisse für die Wintermonate zunehmend an Relevanz. Bei der Betrachtung der Winterniederschläge sollte einschränkend berücksichtigt werden, dass infolge eines abnehmenden Schneeanteils von einer Verringerung des Messfehlers (Niederschlagsverlust) auszugehen ist. Dies könnte bedeuten, dass der auffallend hohe Niederschlagsanstieg nicht allein Folge eines veränderten Niederschlagsverhaltens ist, sondern auch durch eine verbesserte Erfassung der Niederschlagsmengen (geringere Verluste) verursacht wurde. Unabhängig von der Bedeutung des messtechnischen Einflusses auf

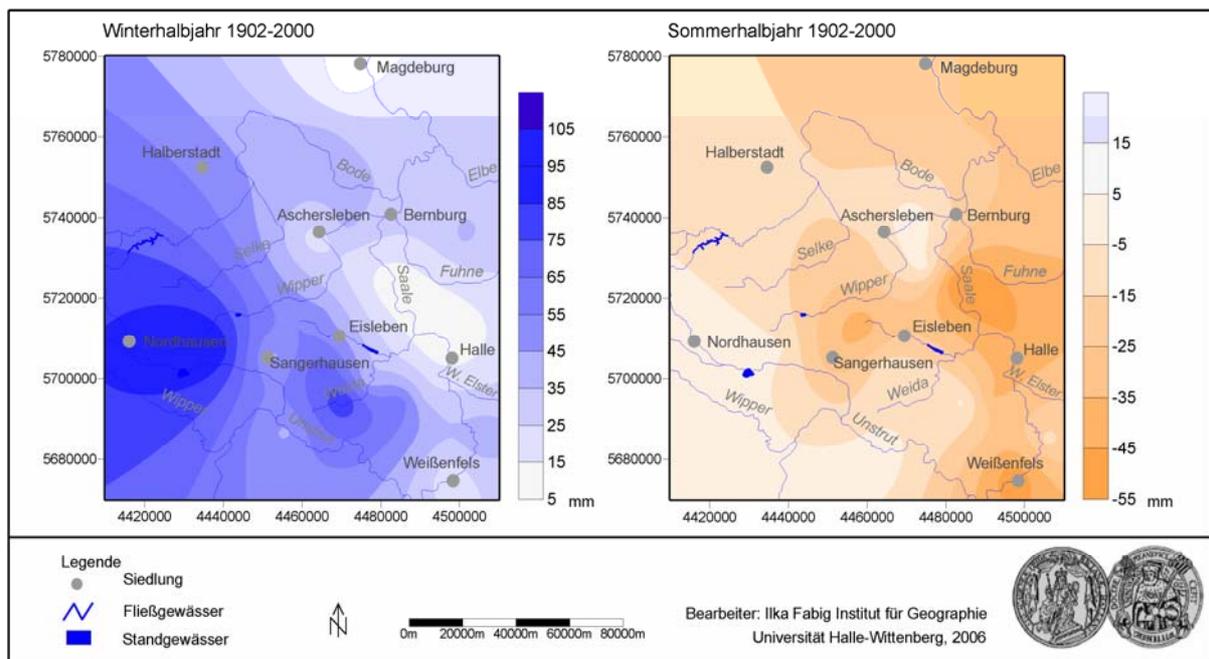


Abb. 2: Absoluter linearer Trend des Niederschlages [mm] für den Zeitraum 1902-2000, bezogen auf das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr

den steigenden Winterniederschlagstrend erscheint trotzdem die Gefahr für ein häufigeres **Auftreten von Winterhochwässern** gegeben. Aufgrund des Klimawandels sind die durchschnittlichen Wintertemperaturen, die die Anzahl der Frosttage und auch die Länge der Schneebedeckung bestimmen, nachweislich angestiegen. Eine beständige Schneedecke steuert durch den einsetzenden Tauvorgang und das daraus resultierende allmähliche Versickern des Niederschlages maßgeblich die Wasserabgabe. Fehlt diese Zwischenspeicherung, kann das zu einem abrupten Abfließen der Niederschläge führen, was die Hochwassergefahr schon in den Wintermonaten zunehmen lässt. Im Gegensatz dazu wäre es aber auch möglich, dass infolge ansteigender Temperaturen ein Gefrieren des Bodens seltener auftritt und Niederschlag somit häufiger vom Boden aufgenommen werden kann.

Für die **Sommermonate** ist die spiegelbildliche Entwicklung zum winterlichen Verlauf charakteristisch. Vielerorts überwiegen **Tendenzen zu geringeren Niederschlagssummen**, die mehrheitlich Signifikanz aufweisen (Abb. 2). Die

sommerliche Reduzierung des Niederschlagsdargebotes ist von besonderer Relevanz, weil große Teile des Untersuchungsraumes aufgrund fruchtbarer Böden überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden. Für die ackerbauliche Nutzung der ohnehin niederschlagsbenachteiligten Flächen bedeutet dies, möglichen Dürreschäden durch erhöhten Bewässerungsaufwand bzw. den Anbau trockenresistenter Sorten entgegenzuwirken. **Ausgewählte Zeiträume** zeigen jedoch einen **steigenden Gesamtniederschlagstrend** sowie eine **Zunahme von Häufigkeit und Menge stärkerer Ereignisse**. Diese Entwicklung tritt insbesondere **in der jüngsten Vergangenheit** (1971-2000, 1991-2002) in Erscheinung. Nach der Auswertung aller Ergebnisse könnte das ein Hinweis darauf sein, dass sich gegenwärtig ein Trend zu eher feuchteren Sommern vollzieht, der in der langfristigen Trendauswertung noch nicht wirksam wird. Die **Aussagen** für die **Sommermonate** sind somit **noch relativ unsicher**.

Die **vergleichende Betrachtung** der **überregionalen Trends** mit den **eigenen Ergebnissen** für das Untersuchungsgebiet ließ erkennen, dass

der betrachtete Raum bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf das Niederschlagsregime mehrere **Besonderheiten** aufweist. Insbesondere die durch andere Untersuchungen (z. B. BECK & GRIESER 2003, SCHÖNWIESE 2003) ermittelten positiven Trends des Gesamtniederschlags und der Einzelereignisse in den Sommermonaten für Deutschland konnten für das Mitteldeutsche Trockengebiet nicht eindeutig belegt werden. In Anbetracht dieses Ergebnisses muss deshalb an dieser Stelle nochmals deutlich hervorgehoben werden, dass sich die Folgen **globaler Klimaänderungen**, in Abhängigkeit von den gegebenen naturräumlichen Rahmenbedingungen, **regional sehr differenziert** zeigen. Dies sollte bei der Interpretation großräumig ermittelter Trends stets berücksichtigt werden.

## 5 Ausblick

Ausgehend von den genannten Ergebnissen wird abschließend im Sinne eines **Ausblicks** auf dringend erforderliche Maßnahmen hingewiesen: Entsprechend der aufgezeigten jahreszeitlichen Niederschlagsverschiebungen ist vor allem in den **Wintermonaten** mit einem möglichen **Anstieg der Hochwassergefahr** im Untersuchungsraum zu rechnen. **Raumplanerische Maßnahmen**, insbesondere das Ausweisen von Nutzungsänderungen innerhalb gefährdeter Gebiete, können einer Erhöhung des Schadenpotenzials entgegenwirken. Zusätzlich sollten auf dem Gebiet des Hochwasserschutzes die existierenden Schutzmaßnahmen an die veränderten Rahmenbedingungen angepasst und letztendlich in die Planungen einbezogen werden. Im Bereich der **Landwirtschaft** ist auf Grund der Zunahme witterungsbedingter Schäden, z.B. durch das häufigere Auftreten von Dürreperioden in den Sommermonaten, anzuraten, das Hauptaugenmerk auf die Erarbeitung gezielter **Anpassungsstrategien**, wie die Auswahl geeigneter

Sorten oder die Veränderung des Aussaattermins, zu legen.

Um die **Forschungsdefizite** hinsichtlich regionaler Folgen globaler Klimaänderungen zu reduzieren, ist die detaillierte Bestandsaufnahme des räumlich sowie zeitlich differenzierten Niederschlagsgeschehens entsprechend verschiedener Projekte anderer Bundesländer auf die Fläche **Sachsen-Anhalts** zu erweitern. Damit würde eine wichtige Datenbasis für zukünftige klimarelevante Untersuchungen zur Verfügung stehen. Untersuchungen zum Niederschlagsverhalten berühren jedoch nur einen Teil der gesamten Klimafolgenforschung. Aus diesem Grund ist es gerade im Hinblick auf die naturräumlichen Rahmenbedingungen des Untersuchungsraums und darüber hinaus für Sachsen-Anhalt von äußerster Dringlichkeit, weitere Parameter in die **Erforschung regionaler Folgen globaler Klimaänderungen** einzubeziehen. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Betrachtung von Häufigkeit und Andauer **saisonaler Trockenzeiten** – gegebenenfalls unter dem Aspekt nachfolgend erosiv wirksamer Starkniederschläge – genannt. Letztendlich kann nur eine **Verbesserung der Datengrundlage** dazu beitragen, die Folgen globaler Klimaänderungen in der Region zu quantifizieren und entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Für eine effiziente Arbeit ist es jedoch dringend erforderlich, bereits existierende Forschungsergebnisse in einer **zentralen Datenbank** zu verknüpfen und anschließend transparent für wissenschaftliche, wirtschaftliche und politische Institutionen zugänglich zu machen. Somit können vorhandene Kompetenzen gebündelt und die Zusammenarbeit zwischen der Politik bzw. den untergeordneten öffentlichen Behörden und den wissenschaftlichen und privaten Einrichtungen intensiviert werden. Denn nur durch konkrete Ergebnisse ist es möglich, Unsicherheiten bezüglich zukünftiger Veränderungen

des Lebensumfeldes zu minimieren und das Bewusstsein von Öffentlichkeit und Politik für notwendige Anpassungsstrategien zu sensibilisieren.

## 6 Literatur

**BECK, C., & J. GRIESER (2003):** Extremniederschläge in Deutschland seit 1900. – Terra Nostra, 2003/6. S. 35-39.

**CUBASCH, U., & D. KASANG (2000):** Anthropogener Klimawandel. Stuttgart.

**DÖRING, J., JÖRN, M. & J. MÜLLER (1995):** Klimatische Kennzeichnung des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. – **KÖRSCHENS, M., & E.-G. MAHN** [Hrsg.]: Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. S. 534-567.

**ENKE, W., KÜCHLER, W. & W. SOMMER (2001):** Klimaprognosen für Sachsen – Zusammenfassender Bericht - Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen. – Zusammenfassender Abschlussbericht. Berlin/ Dresden.

**GERSTENGARBE, F.-W. et al. (2003):** Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – PIK Report No. 83. Potsdam.

**HENDL, M. & W. ENDLICHER (2003):** Klimaspektrum zwischen Zugspitze und Rügen. – Leibniz-Institut für Länderkunde [Hrsg.]: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. – Band Klima, Pflanzen- und Tierwelt. S. 32f. Heidelberg/Berlin.

**IPCC (2001):** Climate Change 2001: The Scientific Basis. – Houghton, J. et al. Contribution of Working Group I to the Third

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.

**SCHÖNWIESE, C.-D. (2003):** Jahreszeitliche Struktur beobachteter Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland. – **CHMIELEWSKI, F.-M. und TH. FOKEN** Hrsg.]: Beiträge zur Klima- und Meeresforschung. S. 59-68.

**TLUG - THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE** [Hrsg.] (2004): Klimawandel in Thüringen - eine Herausforderung in unserer Zeit. – Umweltschutz 05/04. Jena.

**WECHSUNG, F., BECKER, A. & P. GRÄFE** [Hrsg.] (2005): GLOWA-ELBE I - Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Potsdam.

**ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U. & W. CRAMER (2005):** Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. –Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844.

Dr. Ilka Fabig  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Institut für Geowissenschaften  
Arbeitsgruppe Geoökologie  
ilka.fabig@geo.uni-halle.de

Tempo und Ausmaß des vom Menschen ange-  
stoßenen globalen Klimawandels gegen Ende  
des 20. und zu Beginn des 21. Jahrhunderts sind  
ohne Beispiel. Auf der Erde ist es heute bereits  
so warm wie seit mindestens 400 Jahren nicht  
mehr. Die Temperatur ist im 20. Jahrhundert  
weltweit um 0,6 Grad Celsius gestiegen, in  
Deutschland sogar um 0,9 Grad Celsius. Nach  
einer aktuellen Studie der US-Raumfahrtbehörde  
NASA nimmt die globale Erdmitteltemperatur mit  
circa 0,2 Grad Celsius pro Jahrzehnt gegenwär-  
tig erheblich zu. Damit hat sich der Klimawandel  
stark beschleunigt. Seit Beginn der systemati-  
schen weltweiten Messungen 1856 war 2005  
das zweitwärmste Jahr nach 1998. Nordhemi-  
sphärisch war es das wärmste Jahr. Europa  
verzeichnete seit 1998 die heißesten Sommer  
seit Beginn der Aufzeichnungen. Bis 2100 rech-  
net das IPCC in Europa mit einem weiteren  
Temperaturanstieg um 2,0 bis 6,3 Grad Celsius.  
Die simulierte Erderwärmung könnte durch  
Rückkopplungseffekte noch deutlich beschleunigt  
werden. Viele Probleme der Menschheit  
werden sich durch den Klimawandel wahrschein-  
lich gravierend verschärfen; seine Begrenzung  
ist daher eine der größten politischen und tech-

nologischen Herausforderungen des 21. Jahr-  
hunderts. Es geht längst nicht mehr darum, ob  
es zum (anthropogenen) Klimawandel kommt,  
dieser hat ja bereits begonnen, sondern nur noch  
darum, wie gravierend die klimatischen Verände-  
rungen und ihre Auswirkungen voraussichtlich  
sein werden.

In Deutschland wurden erste Pilotstudien zur  
regionalen Klimaentwicklung auf der Basis un-  
terschiedlicher Simulationsmodelle in den Bun-  
desländern Bayern (BAYERISCHER KLIMA-  
FORSCHUNGSVERBUND, 1999) und Branden-  
burg (GERSTENGARBE et al, 1996) bereits in den  
90er Jahren realisiert. Erste Projektionen des  
Klimas in Sachsen sind ab 1999 mit dem Regio-  
nalisierungsverfahren *REKLISA* (*jetzt*  
**WETTREG**) durchgeführt worden (ENKE et al,  
2001). Die Stärke des für Sachsen prinzipiell  
zugrunde gelegten Regionalisierungsansatzes  
für globale Klimamodelldaten besteht in der sta-  
tistischen Kopplung zwischen großräumigen  
meteorologischen Datenfeldern der freien Atmo-  
sphäre und Messreihen der Klimatelemente an  
Bodenstationen des Deutschen Wetterdienstes  
(Abb.1).

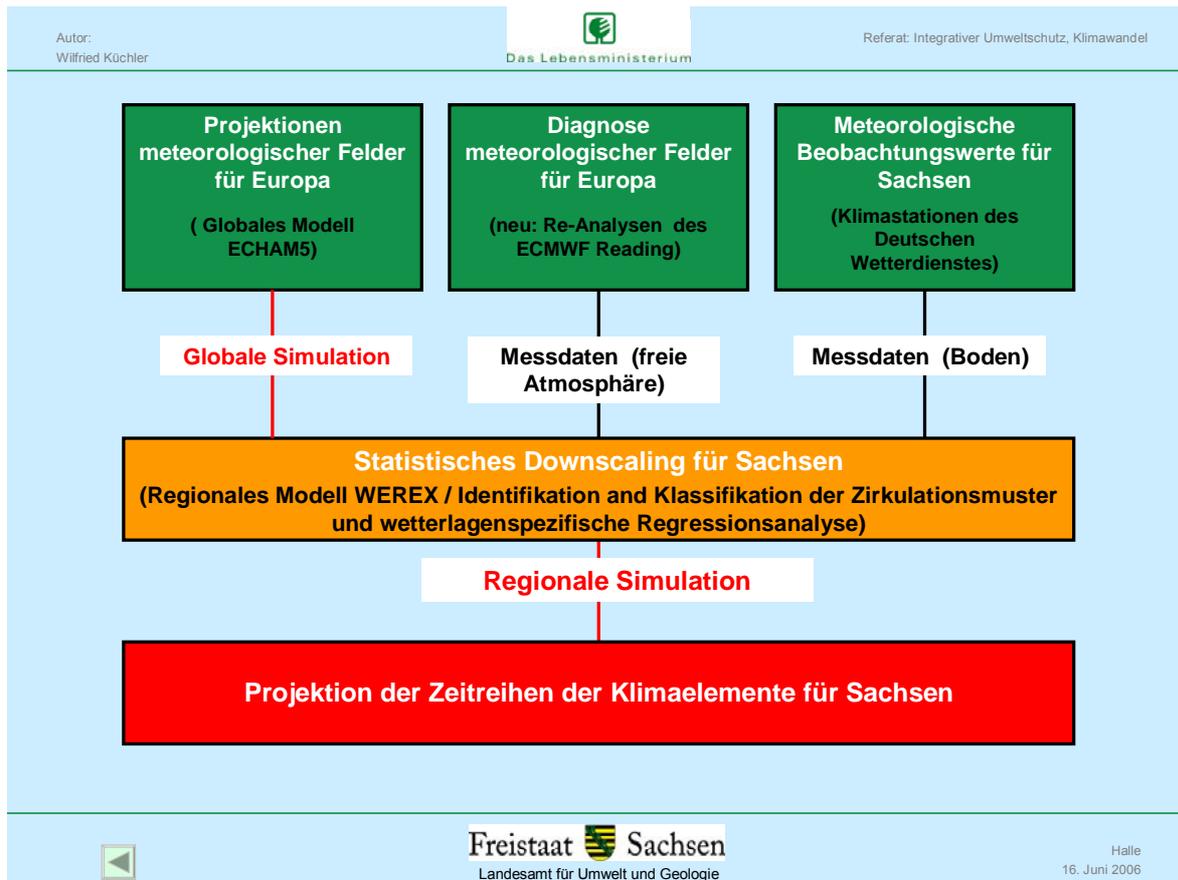


Abb. 1: Grundstruktur des regionalen Klimamodells WETTREG

Für eine belastbare Abschätzung der im regionalen Maßstab resultierenden Klimaänderungen wurde das Verfahren WETTREG vom CEC Potsdam in Zusammenarbeit mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) kontinuierlich weiter entwickelt und dabei den wachsenden Anforderungen seitens der Klimafolgenforschung angepasst. Über die Kombination von objektivem Wetterlagenkonzept und Zeitreihensimulation bietet WETTREG die Möglichkeit, auf der Basis globaler Modellsimulationen (z.B. der neuesten Version des globalen Klimamodells des MPI- Hamburg: ECHAM5/MPI-OM T63L31) auch zu plausiblen Aussagen über die Bandbreite zukünftiger Klimaentwicklungen in den verschiedenen Regionen Deutschlands zu gelangen. WETTREG bestimmt mögliche Klimaänderungs-Szenarien auf regionaler Ebene in der ersten Stufe aus der sich ändernden Häufig-

keit der Wetterlagen des Temperaturregimes, wie sie durch ein globales Klimamodell prognostiziert werden. Somit können die von globalen Klimamodellen vorgezeichneten Änderungen objektiver Wetterlagen direkt zu ihren möglichen lokalen und regionalen Auswirkungen in Beziehung gebracht werden (Wetterlagenkonzept). Das skizzierte Wetterlagenkonzept stellt das Grundgerüst für die diskutierten sächsischen Klimasimulationen dar. Inzwischen ist dieses Modell weiter entwickelt worden und erlaubt qualitativ deutlich verbesserte Projektionen der künftigen regionalen Klimaentwicklung.

#### **Das Wetterlagenkonzept**

*Im regionalen Maßstab stellen die Veränderungen der atmosphärischen Zirkulationsparameter im atlantisch-europäischen Raum die wichtigste Ursache für die regionalen bzw. lokalen Klima-*

änderungen in Mitteleuropa dar. Das sächsische Klima wird dabei im Wesentlichen durch die Veränderungen des Strömungssystems im atlantischen Ozean und die Nordatlantische Oszillation (NAO) beeinflusst, deren Fluktuationen und Trends den mittel- und längerfristigen Ablauf der Witterung in Mitteleuropa entscheidend prägen. Es kann davon ausgegangen werden, dass künftige Klimaänderungen mit Veränderungen der Zirkulationsverhältnisse bzw. der Veränderung von Häufigkeit und Andauer der Großwetterlagen gekoppelt sein werden. Simulationen mittels globaler Klimamodelle bilden die Grundlage für eine bestmögliche Projektion der großräumigen Zirkulation. Auf der Basis entsprechender Modelloutputs globaler Modelle können voraussichtliche Veränderungen der Häufigkeiten und Andauern der charakteristischen Wetterlagen in den nächsten Jahrzehnten dargestellt werden.

Es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass sich die zu erwartende Klimaänderung nicht nur in einer Änderung der Häufigkeitsverteilung der Wetterlagen niederschlägt, sondern dass sich das Wettergeschehen auch innerhalb der einzelnen Wetterlagen im Laufe der Jahrzehnte ändert. Diese für jede Klimareihe berechnete mittlere wetterlagenspezifische Änderung wird in einer zweiten Stufe des Verfahrens auf die Simulation dieser Zeitreihen aufgeprägt. Somit wird bei Einsatz der aktuellen Modellvariante ein Klimaänderungs-Szenario nicht allein durch die Änderung der Häufigkeit der Wetterlagen, sondern zusätzlich durch die Änderung des Wettergeschehens innerhalb der Wetterlagen bestimmt. Das Modell ist somit in der Lage, auch diese internen Modifikationen der atmosphärischen Verhältnisse zu berücksichtigen. Durch die Einbeziehung neuer Prediktorfelder des Europäischen Mittelfrist-Wettervorhersagezentrums in Großbritannien kann inzwi-

schen eine verbesserte Projektion insbesondere des Niederschlages erwartet werden. Gleichzeitig wurde der methodische Ansatz insofern optimiert, als nun im Vergleich zu den Zeitscheibensimulationen vorangegangener Studien eine kontinuierliche (transiente) Simulation der zu erwartenden Klimaänderung möglich ist. Tendenziell bringt auch WETTREG die von globalen Modellen vorgezeichnete Entwicklung für Deutschland zum Ausdruck, wonach bei allgemeiner Erwärmung bis zum Jahr 2100 die Sommer insgesamt deutlich trockener werden. Diese regionale Tendenz stützt zudem eine Kernaussage des IPCC, nach der der globale Klimawandel mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Zunahme der kontinentalen Sommertrockenheit über den großen Landmassen mittlerer Breite begleitet wird. Weite Teile Mitteldeutschlands und Brandenburgs könnten bei diesem projizierten Wandel des Klimas in besonderem Maße vom Problem der Wasserverfügbarkeit betroffen sein, da der insgesamt zu erwartende Rückgang der klimatischen Wasserbilanz im Sommer zu zeit- und gebietsweise angespannten Situationen des Bodenwasserhaushaltes führen kann. Hierbei ist auch in Betracht zu ziehen, dass im Kontext mit der globalen Erwärmung ähnliche Hitze- und Dürreperioden wie im Jahr 2003 und 2006 in Zukunft weit häufiger auftreten werden als unter den gegenwärtigen Klimaverhältnissen.

Für den Freistaat Sachsen liegen WETTREG-Klimaprojektionen auf der Basis der Modelloutputs der neuesten Version des globalen Klimamodells ECHAM für die SRES-Emissionsszenarien B1, A1B und A2 des IPCC bis zum Jahr 2100 vor. Das für diese Abschätzungen zugrunde liegende Projekt WEREX IV wurde vom LfUG initiiert und gesteuert. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Dynamik des großräumigen Zirkulationssystems in Mitteleuropa im

21. Jahrhundert grundlegend verändern wird. Insgesamt muss mit drastischen und regional differenzierten Klimaänderungen gerechnet werden, wobei die Größenordnung des regionalen Klimawandels in hohem Maße von der weiteren Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen (Szenarien A2, A1B, B1) geprägt wird (Abb. 2).

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse der Klimaprojektionen für den sächsischen Raum skizziert. Nach den aktuellen Simulationen wird es in Sachsen in den nächsten 100 Jahren deutlich wärmer. Die mittlere Lufttemperatur steigt bis 2100 um 2 bis 3 Grad an. Im Sommerhalbjahr werden ausgeprägte Hitze- und Dürreperioden weit häufiger auftreten als heute. Insbesondere

im Winter ist mit einer deutlichen Zunahme der Häufigkeit warmer Wetterlagen in Verbindung mit vorherrschender Südwestanströmung zu rechnen. Folglich werden mit Niederschlagsabschwächung verbundene Lee-Effekte nördlich des Erzgebirges in den Wintermonaten eine zunehmende Rolle spielen. Diese voraussichtliche Entwicklung deutet sich in den aktuellen Trends der Klimaparameter bereits an.

Die projizierte Zunahme der Lufttemperatur weist jahreszeitliche Unterschiede auf. Der stärkste Temperaturanstieg wird im Winter erwartet (Abb. 3).

Es existieren keine signifikanten geographischen Unterschiede für den simulierten Temperaturtrend.

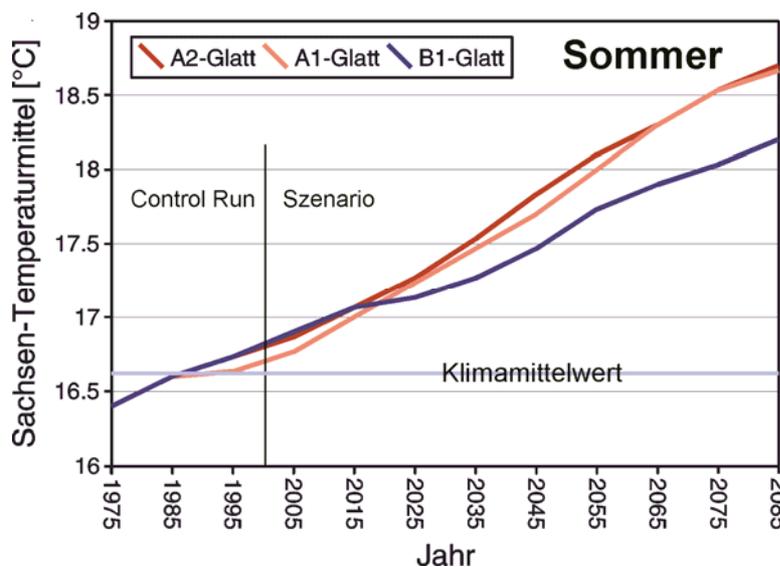


Abb. 2: Projektion des Trends der Lufttemperatur im Sommer in Sachsen (Zeithorizont 2100)

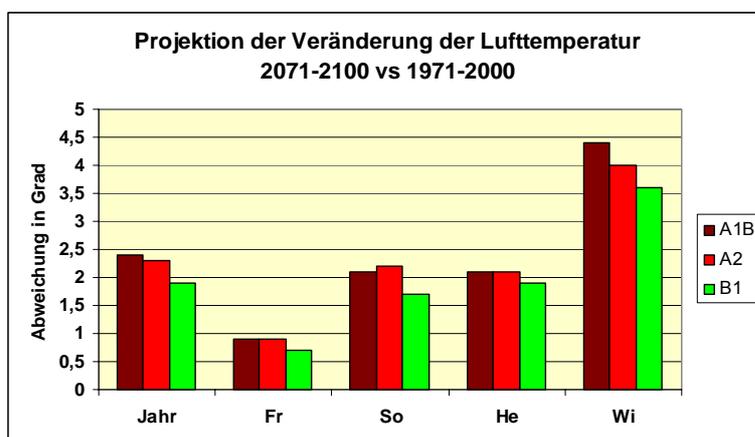


Abb. 3: Projektion der jahreszeitlichen Veränderungen der Lufttemperatur in Sachsen für die SRES-Emissionsszenarien B1, A1B und A2 des IPCC

Folgende Projektionen können wir für Sachsen bis 2100 im Mittel vorläufig annehmen:

<b>Lufttemperatur</b>	Jahr	Anstieg um bis zu + 2,5 Grad
	Frühjahr	Anstieg um etwa + 1 Grad
	Sommer	Anstieg um etwa + 2 Grad
	Herbst	Anstieg um etwa + 2 Grad
	Winter	Anstieg um etwa + 4 Grad
<b>Niederschlag</b>	Jahressumme	Rückgang
	Frühjahr	geringe Abnahme
	Sommer	starke Abnahme
	Herbst	mäßige Abnahme
	Winter	keine signifikanten Veränderungen

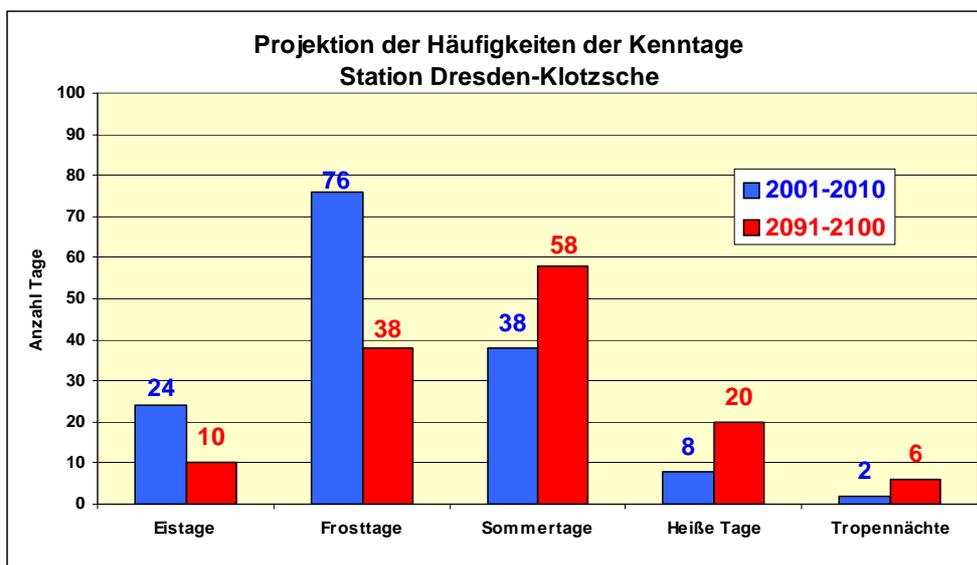


Abb. 4: Szenario der Änderung der Ereignistage in der Dekade 2091-2100 gegenüber der Referenzperiode 2001-2010 (SRES-Szenario A2)

Hinsichtlich der voraussichtlichen Entwicklung der auf die Lufttemperatur bezogenen Ereignistage (Abb. 4) zeichnen sich folgende Veränderungen ab: Die Zahl der Eis- und Frosttage wird sich voraussichtlich sehr markant verringern. Die Zahl der Sommertage und heißen Tage nimmt deutlich zu. Die gesundheitsrelevanten Tropennächte werden weit häufiger als unter heutigen Klimaverhältnissen zu verzeichnen sein.

Bei genereller Erwärmungstendenz zeichnen sich deutliche Signale infolge einer projizierten

Zunahme der Andauer von Hitze und Dürre in der Vegetationsperiode und einer markanten Temperaturzunahme im Winter ab. Kalte und schneereiche Winter werden in Mitteleuropa in den nächsten Jahrzehnten immer seltener auftreten und dürften etwa ab 2070 wohl ganz ausbleiben. Zünglein an der Waage ist hierbei die Nordatlantik-Oszillation (NAO).

Aus Abb. 5 ist die signifikant negative Korrelation zwischen der Winterstrenge in Sachsen und dem NAO-Index deutlich erkennbar.

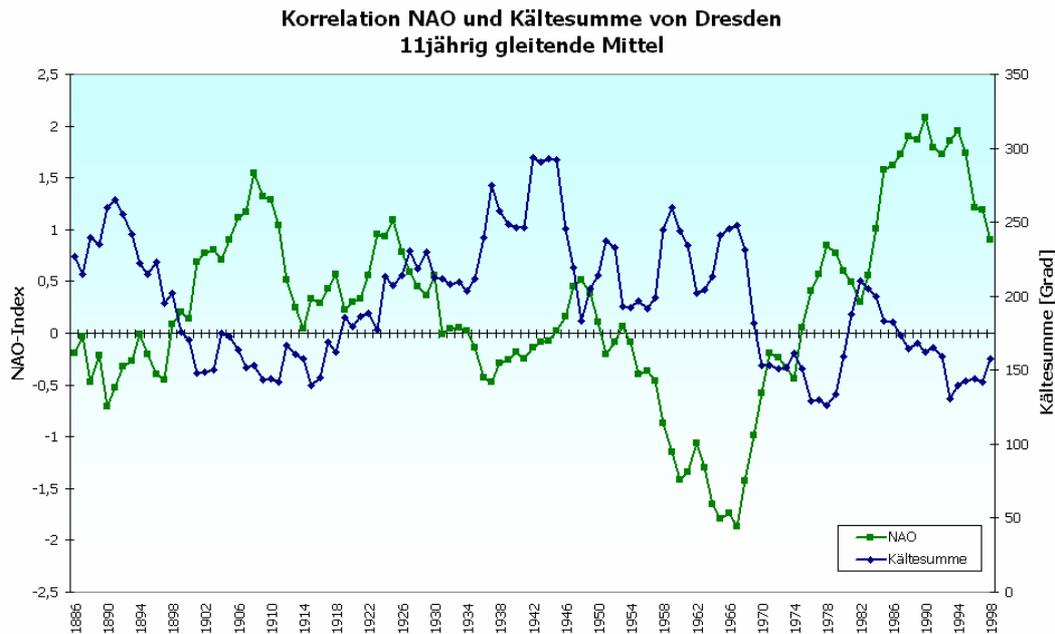


Abb. 5: Korrelation zwischen Winterstrenge (Kältesumme) in Dresden und NAO-Index

### **Nordatlantik-Oszillation**

Der meridionale (entlang eines Längengrades gebildet) mittlere Druckgradient zwischen Island (hier liegen üblicherweise Tiefdruckgebiete) und den Azoren (Hochdruckgebiet) unterliegt längerfristigen, unregelmäßigen Schwankungen. Ein hoher Gradient (Index) bedeutet windiges Westwindwetter in Europa, welches im Sommer kühl und im Winter mild ist. Die Schwankungen dieses Gradienten nennt man die Nordatlantik-Oszillation (NAO).

Modellprojektionen der NAO für die nächsten Jahrzehnte sind noch recht unsicher. In den nächsten Jahren können daher trotz des allgemeinen Erwärmungstrends strenge Winter nicht ausgeschlossen werden. Damit wird aber der sich in den Klimaänderungs-Szenarien deutlich abzeichnende Trend zu immer milderem Win-

tern in Deutschland im 21. Jahrhundert nicht in Frage gestellt.

Die Entwicklung der für das 21. Jahrhundert simulierten jahreszeitlichen Niederschläge ist stärkeren Schwankungen unterworfen. Relativ feuchte Jahrzehnte werden von trockeneren Jahrzehnten abgelöst. Dabei existieren signifikante geographische Unterschiede für die simulierten monatlichen Niederschläge in Sachsen. Ein markanter Rückgang der monatlichen Niederschlagssummen zeigt sich im sächsischen Mittel im Sommer (Abb. 6). Nach aktuellen Klimasimulationen werden sich in Sachsen die Winterniederschläge bis 2100 hingegen nur unwesentlich verändern, so dass hier - im Unterschied zu den meisten anderen Regionen Deutschlands - der Winter das Niederschlagsdefizit des Sommers bei weitem nicht ausgleichen kann.

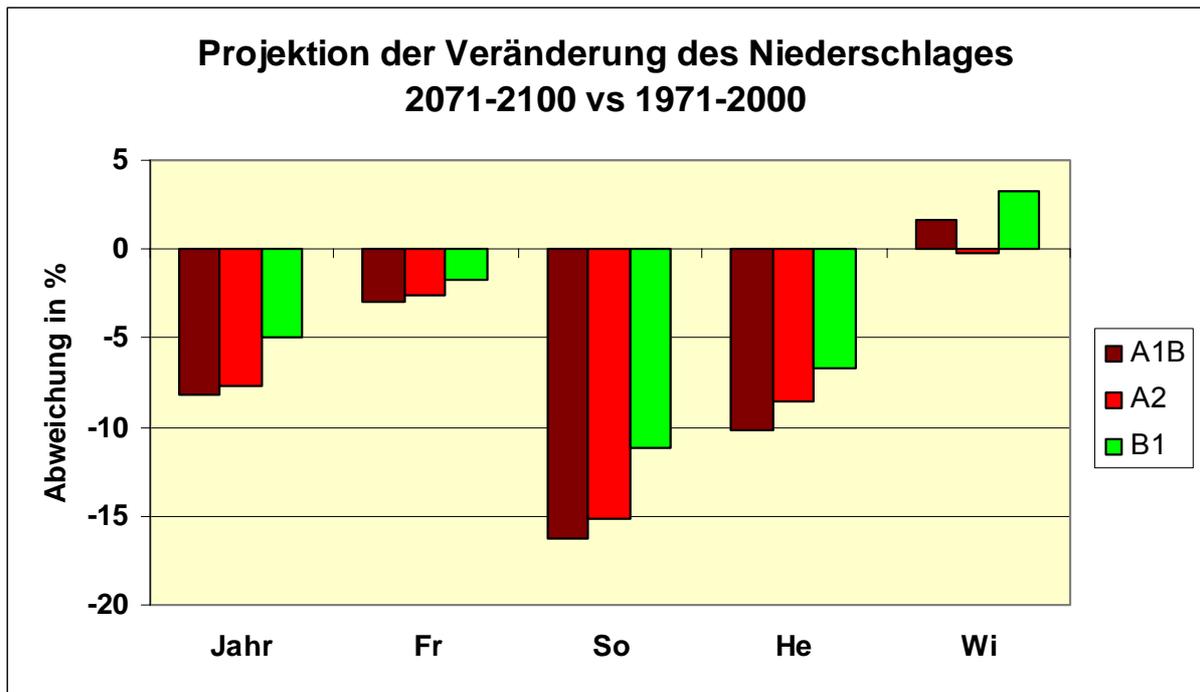


Abb. 6: Projektion der jahreszeitlichen Veränderungen des Niederschlages in Sachsen für die SRES-Emissionsszenarien B1, A1B und A2 des IPCC

In Abb. 7 und Abb. 8 sind die für Deutschland gegenüber heutigen Verhältnissen exemplarisch berechneten Veränderungen der Niederschlagsmengen für den Zeitraum 2081-2100 gegenüber heutigen Verhältnissen exemplarisch für Sommer und Winter dargestellt.

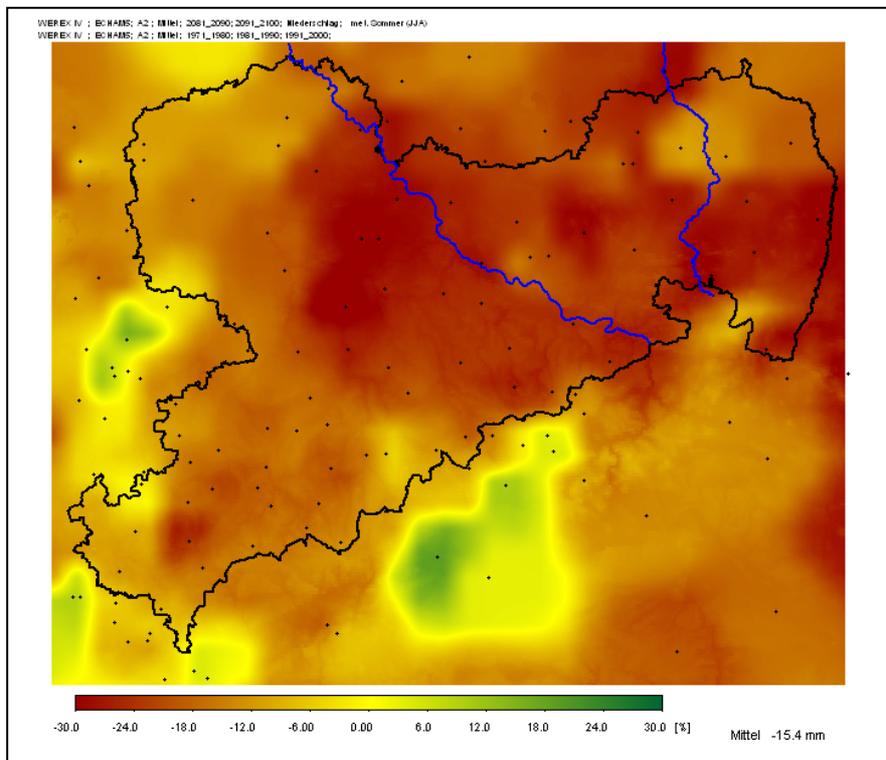


Abb. 7: Projektion der Niederschlagsänderung im Sommer in Sachsen (SRES-Szenario A2) Abweichung 2081-2100 gegenüber der Referenzperiode 1971-2000 in Prozent

Die Simulationen lassen auch erkennen, dass die Veränderungen des Niederschlages in den einzelnen Regionen Sachsens recht differenziert ausfallen werden. Insbesondere in den letzten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts nimmt die Sommertrockenheit in weiten Teilen Sachsens offensichtlich erheblich zu (in Ost- und Nordsachsen im Sommer markante Rückgänge der Regenmengen bis über 30 %). Obwohl die Sommerhalbjahre insgesamt trockener werden, nehmen die Tage mit extremen Niederschlägen in diesem Zeitabschnitt insgesamt zu. Hieraus

kann auf eine Verstärkung der Intensität lokaler Schauer und Gewitter geschlossen werden.

Abb. 8 dokumentiert für Sachsen keine signifikante Zunahmen im Winter, wie sie für die meisten anderen Regionen Deutschlands zum Ausdruck kommen. Dieser orographisch bedingte Effekt im Lee des Erzgebirgskammes erfasst weite Teile Sachsens und ist auf die projizierte Zunahme der Luftströmungen aus Südwest in Verbindung mit entsprechenden Wetterlagen zurück zu führen.

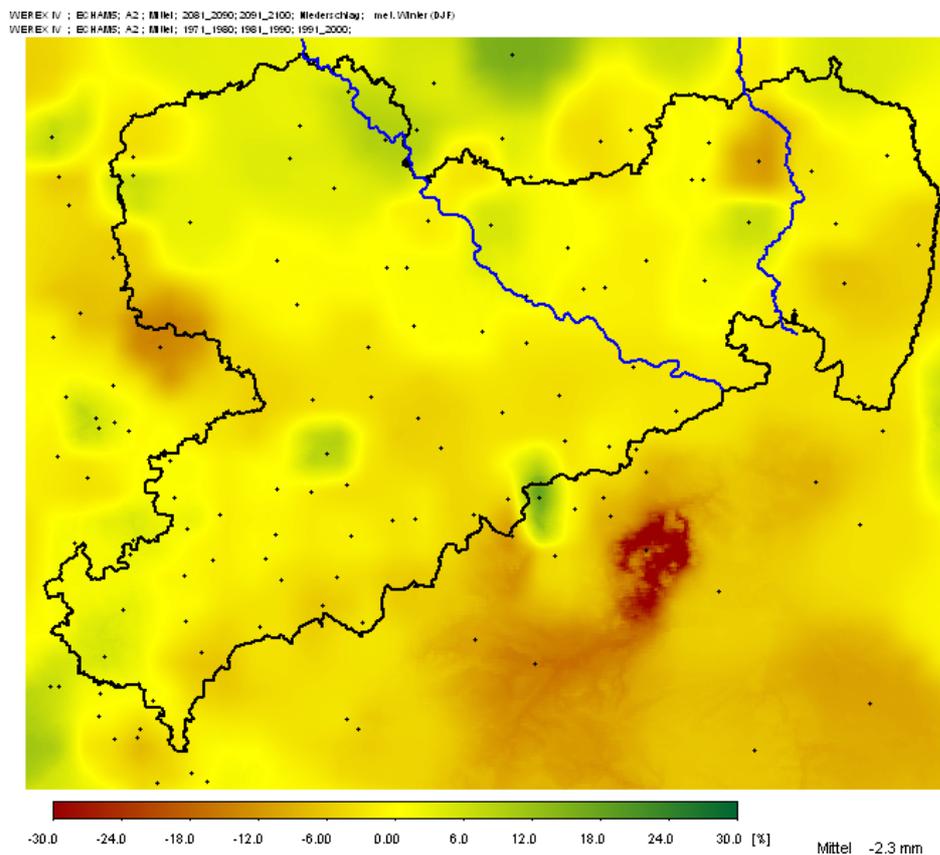


Abb. 8: Projektion der Niederschlagsänderung im Winter in Sachsen (SRES-Szenario A2) Abweichung 2081-2100 gegenüber der Referenzperiode 1971-2000 in Prozent

## Resümee

Bei markanter Erwärmungstendenz in allen Jahreszeiten im Laufe des 21. Jahrhunderts zeichnen sich deutliche Signale infolge einer projizierten markanten Zunahme der Andauer von „Hitzewellen“ und einer Abnahme von „Kälteepisoden“ ab. Veränderungen der Extreme sind besonders klar am Rückgang der Frost- und Eistage, aber auch an einer Zunahme der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte zu erkennen. Strenge Winter, wie man sie aus der Vergangenheit kennt, werden in den letzten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts in Sachsen nicht mehr auftreten.

Bedingt durch zunehmende Sommertrockenheit und sich nur unwesentlich verändernde Winterniederschläge wird der Jahresniederschlag in Sachsen generell zurückgehen. Der Winter kann somit im vieljährigen Durchschnitt das markante Niederschlagsdefizit des Sommers nicht ausgleichen. Während der Vegetationsperiode muss insbesondere in Nord- und Ostsachsen weit häufiger als unter heutigen Klimaverhältnissen mit lang anhaltenden Dürreperioden gerechnet werden. Ausbleibende Niederschläge und mit steigender Temperatur zunehmende Verdunstungsansprüche dürften künftig zu markanten Veränderungen im Wasserkreislauf führen. Gleichzeitig werden lokal eng begrenzte Starkniederschläge stärker in Erscheinung treten. Diese voraussichtlichen Grundtendenzen deuten sich in den aktuellen Trends der Klimaparameter bereits an. Insofern könnten lokale Hochwasserereignisse in der Zukunft eine zunehmende Rolle spielen. Offen ist noch, inwieweit auch mit einer Zunahme regional bedeutsamer Hochwasserereignisse in Sachsen im Sommer (Vb-Wetterlagen wie im August 2002) gerechnet werden muss.

## Literatur

**GERSTENGARBE, F.-W., und P. WERNER (1996):** Szenarien zur Klimaentwicklung im Land Brandenburg bis zum Jahr 2050, Pilotstudie, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam

**BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (1999):** Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen, Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes, München, November 1999

**ENKE, W., KÜCHLER, W., und W. SOMMER (2001):** Zusammenfassender Bericht zum FuE-Bericht „Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen“, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden

Dipl.-Meteorologe Wilfried Küchler  
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
E-Mail: Wilfried.Kuechler@smul.sachsen.de

## **Die Auswirkungen des Klimawandels im Mitteldeutschen Trockengebiet auf den Bodenwasserhaushalt und ihre Konsequenzen für die Landnutzung**

Dr. Jurik Müller, Petra Jörn,  
Falk Böttcher und Hans-Georg Schellin

Insbesondere in niederschlagsärmeren Gebieten oder in Trockenjahren allgemein macht sich auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen der Bodenfeuchtemangel negativ auf den Pflanzenproduktionsprozess bemerkbar. Durch die Bereitstellung von Zusatzwassergaben zum rechten Zeitpunkt kann man Ertragseinbußen weitgehend entgegenwirken. Die Bemessung der Wassergaben erfordert jedoch detaillierte Kenntnisse über den Wasservorrat in der Ausschöpfungsschicht der Kulturpflanzenbestände. Der Wasserbedarf eines Bestandes hängt von Art und Entwicklungsstand seiner Pflanzen, aber auch von der Jahreszeit ab. Etwa 98 % des über die Wurzeln aufgenommenen Wassers gelangen durch Transpiration wieder in die Atmosphäre. Eine Birke verbraucht in der Vegetationsperiode ungefähr 7000 Liter und eine 100jährige Buche etwa 9000 Liter Wasser (aus: Kleine Enzyklopädie Natur, Leipzig 1966). Der Wasserbedarf von Mais zur Produktion von 1 kg Trockenmasse beträgt nach GÜNTHER (2003) ca. 200 Liter. Nach MÜLLER jun. und MÜLLER (1978), MÜLLER jun. und HICKISCH (1982), HICKISCH et al. (1984) sowie MÜLLER (1985) liegt das Optimum der Bodenfeuchte für die Aktivität der Bodenorganismen zwischen 60 und 80 % der Feldkapazität. Dieser Wert wird in trockenen Perioden vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten häufig unterschritten. Während kurze und schwächer ausgeprägte Trockenperioden meist nur Hemmun-

gen im Wachstum und eine veränderte Pflanzenentwicklung zur Folge haben, muss bei lang anhaltenden extremen Dürren mit Schädigungen irreversibler Natur bis hin zum Absterben der Pflanzen gerechnet werden. Das ist immer dann der Fall, wenn der Wasservorrat in der als Ausschöpfungsschicht bezeichneten Bodenschicht bis in den Welkepunktbereich oder darunter abnimmt. Wie häufig so etwas im Mitteldeutschen Trockengebiet vorkommen kann, war Gegenstand vorliegender Untersuchung.

Wie schon der Name aussagt, gilt das Mitteldeutsche Trockengebiet als eine der niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands. Die Ursache dafür bildet in erster Linie das an seiner westlichen Begrenzung gelegene Bollwerk des Harzes (höchste Erhebung: der Brocken mit 1141 m), das sich vor den vom Atlantik herandrömenden feuchten Meeresluftmassen auftürmt. Die im Stau an der Westabdachung des Harzes zum Aufsteigen gezwungene wolkenreiche Luft verliert dort bereits einen Großteil ihrer Niederschlagsfracht. Dadurch gelangt bei den vorwiegend regenträchtigen Westwinden nur sehr wenig Niederschlag in die östlich davon gelegene fruchtbare Schwarzerde-Ebene. Südwestlich davon verstärken einige kleinere durch die Goldene Aue und das Unstruttal vom Harz getrennte Höhenzüge diesen Effekt noch. Zu ihnen gehören neben dem Kyffhäuser (457 m)

auch Windleite, Hainleite, Schmücke, Schrecke und Finne. Nach Osten hin beginnt das Leipziger Tiefland mit den Flussauen von Weißer Elster und Pleiße, bis das Trockengebiet durch die wieder etwas mehr vom Niederschlag begünstigte Dübener Heide seine Begrenzung erfährt. In nördlicher Richtung umranden Fläming und Colbitz-Letzlinger Heide das Gebiet. Südlich schließt sich ein im Zentrum des Thüringer Beckens gelegenes kleineres Trockenareal an, das mit gleicher Berechtigung zum mitteldeutschen Trockengebiet gezählt wird, wenn es auch nur mittelbar mit dem östlichen Harzvorland verbunden ist (siehe auch SCHUMANN und MÜLLER 1995). Die Klimaabschnitte in Mitteleuropa seit dem Jahre 1000, die auch auf das Regenschattengebiet des Harzes übertragen werden können, wurden von FLOHN (1959) beschrieben, der unter anderem bei MÜLLER und SCHUMANN (2001) zitiert wird. Prägendes Klimatelement für den mitteldeutschen Raum östlich des Harzes, in dessen Zentrum das Gebiet um Halle/Saale mit seinen Schwarz- und Braunerden liegt, das durch intensive landwirtschaftliche Nutzung charakterisiert wird, stellt nach DÖRING et al. (1995) die im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands relative Niederschlagsarmut mit Jahressummen von 450 bis 500 mm dar.

Aus dem Niederschlagsmangel resultieren Besonderheiten in Bezug auf das Verdunstungs-, Bodenfeuchte- und Versickerungsverhalten. Auf der Grundlage des in den letzten Jahren unter ökoagrometeorologischen Gesichtspunkten weiter verbesserten Wasserhaushaltsmodells von J. und G. MÜLLER (MÜLLER und MÜLLER 1987, 1988 a, b; 1989 a,b; MÜLLER et al. 1991,1992) wurden für den Saalkreis diese wichtigen Komponenten des Wasserkreislaufes in Tagesschritten bestimmt und untersucht. Als meteorologischen Input benötigt das Modell Ta-

gesmitteltemperatur sowie Tagessumme der Niederschlagshöhe und der Sonnenscheindauer. Für die Simulationsrechnungen wurden die halleschen Datenreihen aus dem Zeitraum 1901 bis 2000 genutzt. Das Modell von J. und G. MÜLLER stellt ein Einschicht-Bodenfeuchtemodell mit zwei Sektoren, einem Entzugssektor und einem Nachlieferungssektor dar, welches nicht nur die Durchwurzelungszone, sondern die gesamte Ausschöpfungszone einbezieht, wobei für die Reduktion der potentiellen Evapotranspiration lediglich der Wasservorrat im Entzugssektor Bedeutung erlangt.

Die reale (aktuelle) Evapotranspiration einer Vegetationsdecke innerhalb eines Zeitintervalls setzt sich aus 3 Komponenten, der Evaporation unmittelbar aus dem Erdreich, der stomatären und cuticulären Transpiration der Pflanzen und der Interzeptionsverdunstung (Verdunstung von Benetzungswasser) zusammen. Das Verhältnis von Transpiration der Pflanzen zu Evaporation aus dem Boden wird im Wesentlichen durch die Bestandsentwicklung bestimmt. Der Berechnung des gemeinsamen Anteils dieser beiden Komponenten (ET) wurde der Ansatz

$$ET = R_K \cdot PET$$

mit dem korrigierten Reduktionsfaktor

$$R_K = \frac{(W_* + \beta) W_*}{1 + \beta} + \frac{1 - W_* (W_* + \beta) / (1 + \beta)}{4}$$

zugrunde gelegt. Dabei entspricht PET der potentiellen Evapotranspiration,  $W_*$  dem Verhältnis von tatsächlichem pflanzennutzbarem zu maximal möglichem pflanzennutzbarem Wasservorrat in der Durchwurzelungsschicht,  $\beta$  einem biologisch-physiologischen Parameter und der Ausdruck  $W_* \cdot (W_* + \beta) / (1 + \beta)$  dem von ANTAL (1968) entwickelten Reduktionsfaktor R, der durch MÜLLER (1987) eine additive Korrektur um  $(1-R)/4$

erfahren hat. Bei der Bestimmung der realen (aktuellen) Evapotranspiration wurde angenommen, dass die Verdunstung des nach Niederschlägen auftretenden Interzeptionswassers pro Zeiteinheit um 30 % über der potentiellen Evapotranspiration nach TURC liegt. Es kann davon ausgegangen werden, dass während der Verdunstung von Interzeptionswasser, bei der ein hoher Prozentsatz der vorhandenen Energie aufgebraucht wird, der Anteil der pflanzlichen Transpiration und der Evaporation aus dem Erdreich vernachlässigbar klein ist. Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration, die für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzenbestände um 15 % erhöht wird, erfolgt auf der Grundlage von Lufttemperatur und Sonnenscheindauer nach dem TURC-Verfahren (siehe WENDLING und SCHELLIN 1986). Beim Input Niederschlag sieht das Modell von J. und G. MÜLLER Korrekturen nach RICHTER (1981) vor. Dieser schlug vor, bei flüssigem Niederschlag eine Korrektur von +10% an der gemessenen Niederschlagsmenge anzubringen und bei festem Niederschlag (Schnee) den Messwert um +30 % zu korrigieren. Neuere von RICHTER (1995) für den östlichen Teil des Norddeutschen Tieflandes durchgeführte Untersuchungen bestätigen die Richtigkeit der Korrekturannahmen. Modellintern wurde bei Tagesmitteln der Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt Niederschlag in fester Form angenommen. Das Modell von J. und G. MÜLLER berücksichtigt die im Jahresverlauf veränderliche Interzeptionskapazität, die effektiv wirksame Durchwurzelungsschichtdicke und den bei POSZA und STOLLAR (1983) beschriebenen bestandsspezifischen biologisch-physiologischen Parameter als pflanzlichen Input (siehe auch MÜLLER et al. 1992).

Die mit dem Modell für Gras simulierten Tagessummen der realen (aktuellen) Evapotranspirationshöhe und der Tagesraten der Versickerung

wurden zu Monats- und Jahressummen zusammengefasst und die sich dabei im Verlauf von 1901 bis 2000 ergebenden Veränderungen untersucht. Dabei zeigte sich sowohl bei den Jahressummen der realen (aktuellen) Evapotranspiration als auch bei den Jahressummen der Versickerung ein abnehmender Trend. Das gleiche gilt für die Jahressummen der korrigierten Niederschlagshöhe, für die als 50jähriger Mittelwert für die erste Hälfte des zu Ende gegangenen Jahrhunderts 564 mm berechnet worden sind, während das Mittel für die zweite Hälfte mit 523 mm um immerhin 41 mm niedriger lag. Wie nicht anders zu erwarten, besteht zwischen den Jahresraten der Versickerung und den Jahressummen der korrigierten Niederschlagshöhe ein statistischer Zusammenhang. Dieser wurde mit dem bei TAUBENHEIM (1969) beschriebenen Vierfeldertest-Verfahren für den Fall eines reinen, mit Gras bewachsenen Lössbodens, der dem Substratflächentyp 61 entspricht, untersucht. Dabei hat sich als Quadrantenverhältnis  $q = 0,44$  ergeben, während für die Testgröße  $X^2$  der Wert 19,36 errechnet worden ist. Da  $X^2$  die Signifikanzschwelle von  $g^2_{0,001} = 10,83$  überschreitet, gilt die betrachtete Korrelation mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1 % als statistisch gesichert. Als tetrachorischer Korrelationskoeffizient schlug der Wert 0,64 zu Buche. Für den betrachteten Lössboden wurde nach LIEBEROTH (1985) eine Feldkapazität von 32 Vol.-% und ein Welkepunkt von 14 Vol.-% angenommen.

Tabelle 1 zeigt uns die für den Kernbereich des Mitteldeutschen Trockengebietes ermittelten jährlichen Sickerstromraten des vergangenen Jahrhunderts an der Untergrenze einer 170 cm dicken reinen Lössschicht, wie sie beispielsweise im Raum Etzdorf bei Halle anzutreffen ist, im Falle unbewachsenen Bodens (Schwarzbrache) sowie unter Gras und unter einem Kleebestand.

Tab 1: Jährliche Sickerstromraten in mm an der Untergrenze einer 170 cm dicken Löß-Schicht im Falle unbewachsenen Bodens (Schwarzbrache) sowie unter Gras und unter einem Kleebestand. Halle, 1901 – 2000

	Bewuchs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1900	Brache	(82)	27	15	15	184	113	93	183	35	96
	Gras	(37)	8	.	.	90	51	43	131	.	15
	Klee	(37)	.	.	.	25	51	.	99	.	.
1910	Brache	20	38	55	74	122	169	81	59	159	33
	Gras	18	.	6	7	65	95	66	.	86	28
	Klee	.	.	.	.	7	17	35	.	.	14
1920	Brache	59	86	134	123	22	205	124	59	44	42
	Gras	18	7	66	59	8	101	74	16	18	.
	Klee	.	.	.	.	.	26	40	1	.	.
1930	Brache	51	110	.	21	51	68	91	83	268	138
	Gras	5	52	.	.	.	.	41	6	176	92
	Klee	.	5	.	.	.	.	.	.	109	65
1940	Brache	230	86	112	149	127	163	67	126	7	149
	Gras	178	34	57	73	63	126	14	20	.	36
	Klee	126	34	.	42	2	97	.	.	.	.
1950	Brache	(29)	118	21	73	85	158	78	83	14	97
	Gras	(29)	31	21	.	35	101	43	.	2	21
	Klee	(28)	.	.	.	.	45	21	.	.	.
1960	Brache	132	32	.	.	112	164	53	100	96	246
	Gras	68	30	.	.	10	95	8	58	76	130
	Klee	14	.	.	.	.	7	8	22	32	45
1970	Brache	21	10	21	142	16	10	102	23	83	100
	Gras	10	.	.	65	15	.	9	1	51	6
	Klee	10	.	.	18	14	.	.	.	3	.
1980	Brache	182	13	25	7	14	82	118	115	19	49
	Gras	106	13	.	.	.	11	30	59	10	.
	Klee	12	2	.	.	.	.	.	28	.	.
1990	Brache	(18)	81	66	124	21	50	94	145	86	77
	Gras	(17)	.	56	123	.	.	11	87	43	43
	Klee	(17)	.	.	110	.	.	.	34	34	3

Die Tabelle verdeutlicht eindrucksvoll die versickerungsreduzierende Wirkung eines Pflanzenbestandes (siehe auch MÜLLER et al. 1997). Während dem Modell zufolge bei der Schwarzbrache in nur drei der 100 Jahre kein Sickerwasserantritt an der Untergrenze der 170 cm dicken Schicht zu verzeichnen ist, fehlt bei Grasbewuchs schon in 25 und bei einem Kleebestand sogar in 60 Jahren des Simulationszeitraumes jegliche Versickerung. In Verbindung damit sei darauf hingewiesen, dass das Maximum der sich jahreszeitlich ändernden Ausschöpfungsschicht-

dicke im Falle von Gras bei 100 cm und im Falle von Klee bei 167 cm liegt. Die gewonnenen Ergebnisse lassen in Näherung Rückschlüsse auf die Grundwasserneubildung unter Löß zu. Andererseits ermöglichen sie, weitete man diese Untersuchungen auf weitere Substrate oder Substratflächentypen aus, Risikoabschätzungen zum Sickerwasseranfall bei mit natürlichem Substrat abgedeckten Deponien (MÜLLER und SCHUMANN 2001) und damit schon vorab Aussagen zur Gestaltung des Abdecksystems im Hinblick sowohl auf das zu nutzende Bodenmaterial als

auch auf den Bewuchs. Unter diesem Aspekt haben MÜLLER et al. (1995b) die unterschiedlichen Jahressummen der Versickerung von Sand bzw. Anlehmsand (Substratflächentyp 1 und 2) einerseits und Löß mit Lößkerf und / oder Ton (Substratflächentyp 62) andererseits an der Untergrenze einer 100 cm dicken Schicht mit Grasbewuchs für den Zeitraum 1901 bis 1990 analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass das im Falle von Sand bzw. Anlehmsand errechnete 90-jährige Sickerwasseraufkommen mit 7604 mm (mittlere Jahressumme: 84 mm) mehr als doppelt so hoch als das bei Löß mit Lößkerf und / oder Ton ist. Für letzteren Substratflächentyp wurden nur 3568 mm (mittlere Jahressumme: 40 mm) bestimmt. Die sich erheblich unterscheidenden Sickerwasserraten resultieren aus dem unterschiedlichen Vermögen der Böden, Niederschlagswasser zu speichern. So beträgt die nutzbare Feldkapazität, darunter ist die Differenz zwischen Feldkapazität und Welkepunkt zu verstehen, von Sand bzw. Anlehmsand nur 8,0 Vol.-%, während sich bei letzterem Substratflächentyp die nutzbare Feldkapazität auf 16,8 Vol.-% beläuft. Die Berechnung der Werte von Feldkapazität und Welkepunkt erfolgte nach einem bei MÜLLER et al. (1995a) beschriebenen Verfahren. Dieses wurde auch bei der Bestimmung der für den betrachteten Saalkreis charakteristischen Werte von Feldkapazität und Welkepunkt genutzt, aber auch zur Ermittlung der entsprechenden Kardinalwerte für die anderen Kreise Sachsen-Anhalts, Thüringens, Sachsens, Brandenburgs und Mecklenburg-Vorpommerns herangezogen. Dem Verfahren liegen von LIEBEROTH (1985) zur Verfügung gestellte Feldkapazität- und Welkepunktwerte der Substrate Löß, lehmiger Ton, Lehm, sandiger Lehm, lehmiger Sand, Sand, Torf, Mudde und Gestein zugrunde. Zur Ermittlung der auf die landwirtschaftliche Nutz-

fläche bezogenen Kreismittel der beiden Kardinalwerte Feldkapazität und Welkepunkt waren folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- a) Berechnung der mittleren Feldkapazität und des mittleren Welkepunktes für alle vorkommenden Substrattypen auf der Basis der Schichtenabfolge der oben angeführten Substrate bis 200 cm Tiefe.
- b) Berechnung der mittleren Feldkapazität und des mittleren Welkepunktes für sämtliche 99 definierten Substratflächentypen auf der Grundlage der mittleren flächenmäßigen Anteile der Substrattypen nach LIEBEROTH et al. (1983).
- c) Bestimmung der mittleren Feldkapazität und des mittleren Welkepunktes für die landwirtschaftliche Nutzfläche des Kreises auf der Basis der Anteile der Substratflächentypen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Bei allen drei Arbeitsschritten war die Bildung gewichteter Mittelwerte erforderlich. Für den Saalkreis wurden für die Schicht 0-100 cm ein Feldkapazitätswert von 261 mm und ein Welkepunktwert von 112 mm erhalten.

Tabelle 2 spiegelt die für den gesamten Saalkreis und das zurückliegende Jahrhundert modellmäßig ermittelten Jahressummen sowohl der realen (aktuellen) Evapotranspiration als auch der Versickerung wieder. Für beide Wasserhaushaltskomponenten ist ein abnehmender Trend feststellbar. So lag in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts die mittlere Jahressumme der realen (aktuellen) Evapotranspiration bei 511 mm, in der zweiten Hälfte aber nur noch bei 484 mm. Diese Tatsache verdeutlicht auch Abb. 1, in der die Jahressummen der realen (aktuellen) Evapotranspirationshöhe als Säulen dargestellt sind.

Tab 2: Jahressummen der realen (aktuellen) Evapotranspirationshöhe AET und der Versickerung PERC für Gras in mm, Saalkreis, 1901 – 2000

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1900</b>	<b>AET</b>	482	522	445	379	567	609	568	577	464	521
	<b>PERC</b>	38	23	.	.	106	64	51	143	.	37
<b>1910</b>	<b>AET</b>	364	447	417	571	477	529	471	504	447	505
	<b>PERC</b>	20	2	24	23	78	119	75	8	110	28
<b>1920</b>	<b>AET</b>	545	527	565	553	515	573	582	484	446	503
	<b>PERC</b>	32	23	84	76	9	132	88	18	35	.
<b>1930</b>	<b>AET</b>	561	525	456	431	500	493	543	496	618	481
	<b>PERC</b>	22	65	.	.	10	12	59	16	206	106
<b>1940</b>	<b>AET</b>	601	489	580	512	562	527	425	558	478	540
	<b>PERC</b>	193	47	70	93	77	137	24	49	.	56
<b>1950</b>	<b>AET</b>	513	498	474	503	543	535	487	570	446	450
	<b>PERC</b>	29	49	21	16	49	113	50	6	10	38
<b>1960</b>	<b>AET</b>	511	407	414	442	507	528	560	499	463	540
	<b>PERC</b>	84	32	.	.	27	118	8	69	88	158
<b>1970</b>	<b>AET</b>	527	488	463	500	480	322	554	455	472	486
	<b>PERC</b>	12	.	.	77	16	.	21	1	63	23
<b>1980</b>	<b>AET</b>	488	397	516	498	413	499	495	408	453	411
	<b>PERC</b>	134	13	.	.	.	27	52	74	10	.
<b>1990</b>	<b>AET</b>	421	524	539	527	499	434	500	541	535	491
	<b>PERC</b>	19	9	72	124	.	6	34	109	52	54

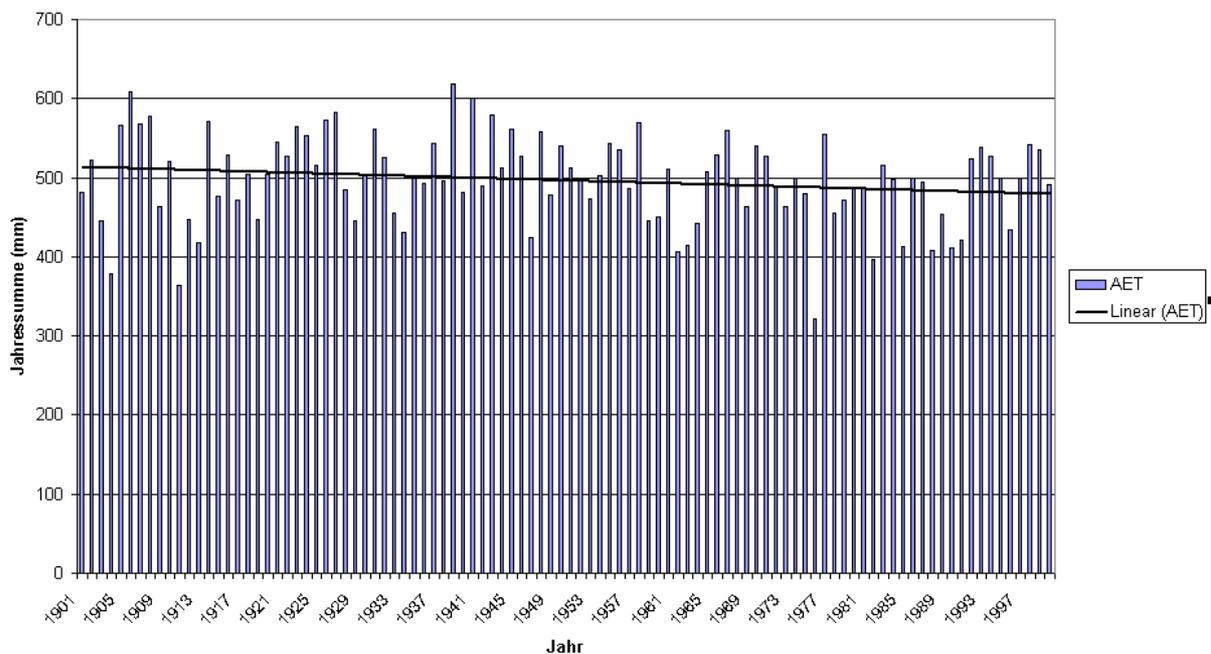


Abb. 1 Reale Grasverdunstung Saalkreis 1901 – 2000

Die mittlere Jahresrate der Versickerung belief sich im Zeitraum von 1901 bis 1950 auf 56 mm und im Zeitraum von 1951 bis 2000 nur auf 39 mm. Auf Grund des abnehmenden Trends sowohl bei der realen (aktuellen) Evapotranspiration als auch bei der Versickerung lag die Vermutung nahe, dass die Böden im Saalkreis im Laufe des vergangenen Jahrhunderts trockener geworden und damit die Zahl der Tage mit Bodendürre pro Jahr gestiegen sein müsste. Zur Überprüfung dieser Vermutung wurde die von MÜLLER et al. (1998) vorgeschlagene Definition der Bodendürre bei der Auswertung der über das gesamte Jahrhundert simulierten Tageswerte der Bodenfeuchte herangezogen. Sie lautet: *Der Zustand der Bodendürre ist gegeben, wenn der Wasservorrat in der Ausschöpfungsschicht eines Pflanzenbestandes, die einer jahreszeitlichen Schichtdickenänderung unterworfen ist, unter 20 % der nutzbaren Feldkapazität liegt. Bei Unterschreitung von 10 % nutzbarer Feldkapazität in ebendieser Schicht kann von stark ausgeprägter, bei Unterschreitung von 5 % derselben von extremer Bodendürre gesprochen werden.* Die Überprüfung ergab, dass in genau 38 der 100 untersuchten Jahre Bodendürre gemäß obiger Definition bei Gras aufgetreten ist. Dabei muss bedacht werden, dass die Ausschöpfungsschichtdicke im Januar nur 50 cm beträgt und im Juli 100 cm erreicht. Bodendürren konnten überhaupt nur in den Monaten Mai bis Dezember verzeichnet werden. Von den insgesamt 36525 Tagen des vergangenen Jahrhunderts waren 1151 durch Bodendürre geprägt. Das sind 3,2 % aller Tage.

Nachstehende Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Häufigkeit von Bodendürretagen in den einzelnen Monaten. Länger anhaltende Bodendürren stellten sich in den Jahren 1911 mit 114, 1947 mit 103, 1976 mit 99 und 1982 mit 125 Tagen ein. Eine Untersuchung der für den Zeit-

raum 1901 bis 2000 für Gras simulierten Bodenfeuchtereihe zeigte, dass sich das Auftreten des in % nutzbarer Feldkapazität ausgedrückten Bodenwasservorratsminimums in der Ausschöpfungsschicht im Verlauf dieser 100 Jahre auf einen durchschnittlich späteren Termin verschoben hat. Während für die erste Hälfte des zurückliegenden Jahrhunderts als mittlerer Termin der 206. Tag seit Jahresbeginn errechnet wurde, ergab sich für das Auftreten des Bodenwasservorratsminimums in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts im Mittel der 223. Tag des Jahres. Der Unterschied von 17 Tagen erscheint beträchtlich. Zur Untersuchung derartiger Sachverhalte gewinnt die Untersuchung der an der Erdoberfläche und in den unteren Schichten der Atmosphäre ablaufenden dynamischen und energetischen Prozesse in Verbindung mit den sich im Erdreich vollziehenden bodenphysikalischen und bodenbiologischen Vorgängen sowie den physiologischen Reaktionen der Pflanzen eine immer größere Bedeutung. Das gilt auch im Hinblick auf die Erhaltung und Wiederherstellung (Sanierung) langfristiger funktionsfähiger Lebensräume (DÖRING et al. 1995). Aus diesem Grunde werden Untersuchungen in Bezug auf die Wasserbereitstellung sowie den Wasserbedarf und die Wasserabgabe landwirtschaftlicher Kulturpflanzenbestände an die Atmosphäre (siehe auch DOMMERMUTH und TRAMPF 1995, BUCHNER et al. 2000) zur Bewertung von Agrarökosystemen, aber auch für die Steuerung der Ertragsbildung unter Berücksichtigung des Ertragspotenzials und zur standortspezifischen Kennzeichnung (Boden) in zunehmendem Maße erforderlich. So haben TREFFLICH und MÜLLER (1998) sowie TREFFLICH et al. (1999) sich mit den Konsequenzen der Brachlegung von Acker- und Grünlandflächen befasst und zu den damit verbundenen Untersuchungen das Modell von J. und G. MÜLLER herangezogen.

Tabelle 3: Absolute und relative Häufigkeit von Tagen mit Bodendürre in den Monaten Mai bis Dezember. Zeitraum: 1901 bis 2000. (nFK bedeutet Nutzbare Feldkapazität)

Monat	<20% nFK		<10% nFK		<5% nFK	
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	Rel.
Mai	11	0,4 %				
Juni	75	2,5 %	19	0,6 %	2	0,1 %
Juli	175	5,6 %	48	1,5 %	26	0,8 %
August	277	8,9 %	110	3,5 %	55	1,8 %
September	291	9,7 %	180	6,0 %	110	3,7 %
Oktober	232	7,5 %	130	4,2 %	93	3,0 %
November	85	2,8 %	22	0,7 %	20	0,7 %
Dezember	5	0,2 %				

Da sich der Trend der Erwärmung fortsetzt - im Laufe des vergangenen Jahrhunderts nahm das Jahresmittel der Lufttemperatur für Deutschland von etwa 8,0 °C auf ungefähr 8,7 °C zu -, wird die Schere zwischen dem Verdunstungshunger der Atmosphäre und der realen Verdunstung weiter zunehmen. Das heißt es könnte, wie 2003 zu beobachten war, viel mehr Wasser in der Lufthülle gebunden werden, was dann dem Boden als Feuchtelieferant zur Versorgung der Pflanzen fehlt. Nach HOLZ (2003) formulierte der britische Klimaforscher JOHN HOUGHTON sehr drastisch: Die globale Erwärmung ähnele einer Massenvernichtungswaffe, die über alle Grenzen hinweg zuschlagen kann – in Form einer Hitze-welle hier, einer Dürre oder Überschwemmung dort. Die drastische Formulierung wird verständlich, wenn man bedenkt, dass der Jahrhundert-sommer 2003 mit seiner Hitze allein in Frank-reich 15000 und in Deutschland etwa 7000 To-desopfer forderte. Hans Joachim Schellnhuber vom Centre for Climate Change Research im britischen Norwich sieht nach HOLZ im Sahara-Sommer 2003 und in der Flut, die 2002 viele Landstriche in Mitteleuropa unter Wasser setzte, ein Menetekel für das 21. Jahrhundert. Bei der Beantwortung der Frage, ob zwischen einer möglichen Klimaerwärmung und den Witte-

rungeextremen von 2002 und 2003 ein ursächli-cher Zusammenhang besteht, ist dennoch Vor-sicht geboten. Freund Zufall in Gestalt einer „Laune der Natur“ könnte hierbei eine große Rolle gespielt haben. Fakt ist aber, dass sich die Häufigkeit extremer Witterungserscheinungen im Laufe der letzten 15 Jahre erheblich vergrößert hat. Erstaunlich dürfte auch die Tatsache sein, dass „Klärchen“ im Jahr 2003 bereits Ende Au-gust die Jahresnorm der Sonnenscheindauer an der Wetterstation Halle-Kröllwitz erfüllt hatte. Als nicht gerade alljährlich erwies sich auch der Um-stand, dass 2003 im Saaletal der November wärmer als der Oktober ausgefallen ist. Das passierte seit Aufnahme meteorologischer Mes-sungen in Halle im Jahre 1851 nur noch ein ein-ziges Mal, und zwar im Jahre 1881. Und ab dem 05. November 2006 traten an der Wetterstation Halle-Kröllwitz 51 Tage in Folge mit über den langjährigen Durchschnittswerten gelegenen Tagesmitteln der Lufttemperatur auf. Trockenere Böden in den kommenden Jahrzehnten könnten neue Ansprüche an das Anbauverhältnis, an die Fruchtfolgegestaltung, die Bodenbearbeitungs-maßnahmen und auch an das Artenspektrum landwirtschaftlicher Kulturen stellen. THEODOR RÖMER schrieb einmal: „Gegen die klimatischen Faktoren zu arbeiten, ist stets verlorene Arbeit,

dem menschlichen Können sind Grenzen gesetzt. Jeder Betrieb ist umso erfolgreicher, je mehr er auf das Lokalklima abgestimmt ist. Es ist eine der wichtigsten Maßnahmen im Ackerbau, die klimatypischen Kulturen und Sorten anzubauen“.

### **Erläuterungen**

**Feldkapazität:** Die Feldkapazität stellt die Wasservorratsmenge dar, die der Boden maximal aufnehmen kann, ohne dass Wasserabfluss in tiefer liegende Schichten erfolgt. Mit dem Erreichen der Feldkapazität stellt sich Feuchtesättigung des Bodens ein. Überschreitet der Wasservorrat des Bodens die Feldkapazität, lässt sich also eine Feuchteübersättigung des Erdreiches verzeichnen, dann kommt es, sofern nicht Sperrschichten oder Frostinseln dies verhindern, zur Versickerung der Wassermenge, welche der Boden nicht mehr zu halten vermag.

**Welkepunkt:** Unter dem Welkepunkt ist die Wasservorratsmenge zu verstehen, welche die Pflanzen auf Grund der begrenzten Saugspannung ihrer Wurzeln nicht mehr aufnehmen kann. Nähert sich der Wasservorrat dem Welkepunkt, dann können sich Bodendürre und damit Wachstums- und Entwicklungsstörungen bei den Pflanzen einstellen. Unterschreitet der Bodenwasservorrat kurzzeitig den Welkepunkt, kommt es bei den Pflanzen zu Welkeerscheinungen. Bei längerem Unterschreiten tritt in der Regel der Zelltod ein, so dass die Pflanzen absterben.

**Nutzbare Feldkapazität:** Sie verkörpert die Maximalmenge des pflanzennutzbaren (produktiven) Bodenwasservorrates und ergibt sich aus der Differenz zwischen Feldkapazität und Welkepunkt.

**Ausschöpfungsschicht:** Unter der Ausschöpfungsschicht eines Bestandes oder einer Bewuchsart ist die oberste Bodenschicht zu verste-

hen, deren Wasservorrat durch die Pflanzen in Anspruch genommen wird, das heißt, ausgeschöpft werden kann. Die Ausschöpfungsschicht ist einer jahreszeitlichen Dickenänderung unterworfen.

### **Zusammenfassung**

Der vor sich gehende, eine überraschende Eigendynamik annehmende Klimawandel erfordert in allen Bereichen der Gesellschaft ein unverzügliches Handeln. Um wirksame Anpassungsstrategien erarbeiten zu können, macht sich eine Diagnose der Klimaänderungen des zurückliegenden Jahrhunderts erforderlich. Insbesondere die Bodenwasserhaushaltskomponenten reagieren außerordentlich empfindlich auf Änderungen des atmosphärischen Strahlungs-, Feuchte- und Wärmeangebots. Die in diesem Zusammenhang für das Mitteldeutsche Trockengebiet unter Zuhilfenahme des komplexen Wasserhaushaltsmodells von J. u. G. MÜLLER durchgeführten Untersuchungen können nur ein kleiner Baustein zur Charakterisierung der in Abhängigkeit vom Klimawandel ablaufenden Veränderungen innerhalb des Wirkungskomplexes „Boden-Pflanze-Atmosphäre“ sein. Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchungen stellt unter anderem die Aussage dar, dass sich das Auftreten des in % nutzbarer Feldkapazität ausgedrückten Bodenwasservorratsminimums in der Ausschöpfungsschicht eines Grasbestandes im Zeitraum von 1901 bis 2000 auf einen durchschnittlich späteren Termin verschoben hat. Während für die erste Hälfte des zurückliegenden Jahrhunderts als mittlerer Termin der 206. Tag seit Jahresbeginn errechnet wurde, ergab sich für das Auftreten des Bodenwasservorratsminimums in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts im Mittel der 223. Tag des Jahres. Der Unterschied von 17 Tagen erscheint beträchtlich.

## Literatur

- ANTAL, E.:** Az öntözés előrejelzése meteorologiai adatok alapján. Kandidátusi értekezés, Budapest 1968, 147 S.
- BUCHNER, W., MÜLLER, J., u. H. SOURELL:** Grundlagen und Anwendung der Agrarmeteorologie im Pflanzenbau. In: **LÜTKE ENTRUP, N., u. OEHMICHEN, J.:** Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 1: Grundlagen, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 2000, S.600-688
- DOMMERMUTH, H., u. W. TRAMPF.:** Daten zum Bodenwasserhaushalt in Deutschland, Zeitraum 1951-1980, Potenzielle und tatsächliche Evapotranspiration, Bodenfeuchte und Wasserstressindex, Band 1, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a.M., 28 S. + 283 S. Tabellenteil
- DÖRING, J., MÜLLER, J., JÖRN, M., NEUBERT, S., PANNICKE, I., WEDEKIND, G., u. J. SCHURIGT:** Klimatische Kennzeichnung des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. In: Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes (Hrsg.: **KÖRSCHENS, M., u. E.-G. MAHN**). B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart/Leipzig, 1995, S. 533-568 (insg. 568 S.)
- GÜNTHER, R.:** Zur Wasserausnutzung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Tagungsband 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, 29./30.04.2003, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, S. 85-90
- FLOHN, H.:** Klimaschwankungen der letzten 1000 Jahre und ihre geophysikalischen Ursachen. Dt. Geogr.-Tagung Würzburg 1957, Tag.-Berichte u. wiss. Abh., Wiesbaden 1959, S.201-214
- HICKISCH, B., MÜLLER, G. jun. u. W. HEISIG:** Einfluß von Witterung und Kulturpflanzenbestand auf bodenbiologische Leistungen. 4. Mitt.: Rangfolgevergleich bei 16 Prüffaktoren im zweiten Anbaujahr der Kulturpflanzen. Zbl. Mikrobiol. 139 (1984), S. 511-517
- HOLZ, P.:** Alle Wetter. Mitteldeutsche Zeitung, 31.12.2003, Blick, S. V2
- LIEBEROTH, I.:** Persönliche Mitteilung 1985
- LIEBEROTH, I., DUNKELGOD, P., GUINIA, W., u. J. THIÈRE:** Auswertungsrichtlinie MMK, Stand 1983, AdL der DDR, FZB Müncheberg, Bereich Bodenkunde / Fernerkundung Eberswalde, Eberswalde-Finow 1983, 55 S.
- MÜLLER, G.:** Bodenfeuchteverlauf in Kulturpflanzenbeständen. Kurzberichte, Wissenschaftl. Jahrestagung 1985 der Sektion Pflanzenproduktion der Humboldt-Univ. Berlin, 5./6.09.1985, Berlin 1985, S. 21-23
- MÜLLER, G., jun. u. B. HICKISCH:** Einfluß von Witterung und Kulturpflanzenbestand auf bodenbiologische Leistungen. 1. Mitt.: Versuchsprogramm und erste Ergebnisse der Prüffaktoren CO<sub>2</sub>-Dynamik und Mikrobenbesiedlung. Zbl. Mikrobiol. 137 (1982), S. 541-549
- MÜLLER, G., jun. u. G. MÜLLER:** Wechselwirkung zwischen Wasserhaushalt des Bodens und Bodenorganismen im Hinblick auf bewässerte Pflanzenproduktion. Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg XXVII (1978) 4, S. 5-13
- MÜLLER, G., u. J. MÜLLER:** Modell zur Abschätzung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. Kongress- und Tagungsberichte d. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge 1989/55 (S 70), Halle (Saale) 1989a, S. 82-87
- MÜLLER, J., JÖRN, P., u. J. THIÈRE:** Erarbeitung einer Karte der pflanzennutzbaren Feldkapazität für die neuen Bundesländer. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 76 (1995a), 1149-1152
- MÜLLER, J., u. G. MÜLLER:** Vorstellung eines komplexen Modells zur Schätzung der Verdunstung und des Bodenwasservorrates sowie dessen Prüfung an dem Material eines ausgewählten Standortes. Kongress- und Tagungsberichte

- d. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge 1987/17 (S 60), Halle (Saale) 1987, S. 86-90
- MÜLLER, J., u. G. MÜLLER:** Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 1. Mitt.: Beschreibung des zur Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration von Kulturpflanzen erarbeiteten Modells. Z. Meteorol., Berlin 38 (1988a) 5, S. 332-337
- MÜLLER, J., u. G. MÜLLER:** Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 2. Mitt.: Überprüfung des Modells von J. u. G. Müller am Beispiel Kartoffel auf lehmigem Sand. Z. Meteorol., Berlin 38 (1988b) 6, S. 361-365
- MÜLLER, J., u. G. MÜLLER:** Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 3. Mitt.: Ermittlung gebietsbezogener Verdunstungswerte durch Anwendung des Modells von J. Müller und G. Müller. Z. Meteorol., Berlin 39 (1989b) 3, S. 142-149
- MÜLLER, J., MÜLLER, G., KRÜGER, R., u. M. THOMÄ:** Zum Evapotranspirationsverhalten landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen. Z. Meteorol., Berlin 41 (1991) 2, S. 1-14
- MÜLLER, J., MÜLLER, G., u. H.-G. SCHELLIN:** Der Vegetationsfaktor bei der Abschätzung der aktuellen Verdunstung – Ein Beitrag zum Wasserhaushalt von Kulturpflanzenbeständen. Deutsche Meteorologentagung v. 16.-20.03.1992 in Berlin, Annalen der Meteorologie, Offenbach a.M. 27 (1992), S. 132-135
- MÜLLER, J., u. A. SCHUMANN:** Das Durchsickerungsrisiko der Oberflächenabdeckung auf der ehemaligen Deponie Kanena – berechnet mit einem agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodell. Bericht unveröffentlicht, Halle (2001)
- MÜLLER, J., u. A. SCHUMANN:** Der Weinbau im Mansfelder Land. Neue Mansfelder Heimatblätter, Mansfelder Heimatverein e.V., Verlag André Gursky, Halle 10 (2001) 9, S. 65 -70
- MÜLLER, J., SCHUMANN, A., u. J. DÖRING:** Zur versickerungsreduzierenden Wirkung von Pflanzenbeständen – Ein Beitrag zur Wasserbewegung im Boden aus agrarmeteorologischer Sicht. Symposium „Modellierung in der Hydrologie“ aus Anlaß des 30-jährigen Bestehens der Dresdner Schule der Hydrologie, 22. bis 24.09.1997, TU Dresden, Tagungsband, S. 357-359
- MÜLLER, J., SCHUMANN, A., u. P. JÖRN:** Zur Häufigkeit von Bodendürren im mitteldeutschen Trockengebiet. Deutsche Meteorologentagung, 14.-18.09.1988 in Leipzig, Annalen der Meteorologie, Bd. 1, Offenbach a.M. 37 (1988), S. 167-168
- MÜLLER, J., SCHUMANN, A., u. H.-G. SCHELLIN:** Agrarmeteorologische Aspekte und Lösungsansätze für die Überwachung des Wasserhaushaltes von Deponien. Deutsche Meteorologentagung v. 11.-15.09.1995 in München, Annalen der Meteorologie, Offenbach a.M. 31 (1995b), S. 271-272
- POSZA, I., u. A. STOLLAR:** A tényleges párolgás szamittáshoz használt növénykonstansok értékei többévi mérés alapján. Időjárás, Budapest 88 (1983) 3, S. 170-177
- RICHTER, D.:** Verfahrenshinweis zur Korrektur von verdichteten Werten der Niederschlagshöhe. Arbeitsmappe Gutachtenerteilung des Meteorol. Dienstes der DDR. III-1, 1981, S. 1-3
- Richter, D.:** Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Ber. Dt. Wetterdienstes, Nr. 194, Offenbach a.M. 1995
- SCHUMANN, A., u. J. MÜLLER:** Klimatologische Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebietes. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 77 (1995), S. 43-48
- TAUBENHEIM, J.:** Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. A-

kademische Verlagsgesellschaft Geest&Portig  
K.-G. Leipzig, 1969, 386 S.

**TREFFLICH, A., u. J. MÜLLER:** Anwendung eines komplexen Wasserhaushaltsmodells auf langjährige Grünbrache im mitteldeutschen Trockengebiet. Deutsche Meteorologentagung, 14.-18.09.1988 in Leipzig, Annalen der Meteorologie, Bd. 1, Offenbach a.M. 37 (1998), S. 289-290

**TREFFLICH, A., KAYSER, M., u. G. WESSOLEK:** Anwendung von Wasserhaushaltsmodellen auf langjährige Ackerbrachen im Mitteldeutschen Trockengebiet. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 91 (1999), S. 1351-1354

**WENDLING, U., SCHELLIN, H.-G., u. M. THOMÄ:** Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der Agrarmeteorologischen Beratung. Z. Meteorol. 41 (1991) 6, S.468-475

*Anschriften der Verfasser:*

Dr. Jurik Müller, Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig, Kärnerstraße 68, 04288 Leipzig.  
E-Mail: [Jurik.Mueller@dwd.de](mailto:Jurik.Mueller@dwd.de)

Petra Jörn, Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorologische Forschung Braunschweig, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.  
E-Mail: [Petra.Joern@dwd.de](mailto:Petra.Joern@dwd.de)

Falk Böttcher, Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig, Kärnerstraße 68, 04288 Leipzig.  
E-Mail: [Falk.Boettcher@dwd.de](mailto:Falk.Boettcher@dwd.de)

Hans-Georg Schellin, Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorologische Forschung Braunschweig, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.  
E-Mail: [Hans-Georg.Schellin@dwd.de](mailto:Hans-Georg.Schellin@dwd.de)

## Der Einfluss von Klima- und Landnutzungswandel auf den Wasserhaushalt – Vergleichende Untersuchungen in zwei Flusseinzugsgebieten Sachsen-Anhalts

Dr. Daniel Wurbs

### Einleitung und Untersuchungsgebiete

Auf Grundlage der Erkenntnisse zum globalen Klimawandel (HOUGHTON et al. 2001) konnte für Deutschland im 20. Jahrhundert eine durchschnittliche Erwärmung um 0,9°C festgestellt werden. Als räumlich differenzierter ist der Trend der Niederschlagsentwicklung zu bewerten. Einer Niederschlagszunahme im Westen und Süden des Landes steht eine Niederschlagsabnahme in den kontinental geprägten Gebieten Ostdeutschlands, speziell im Sommerhalbjahr, gegenüber (RAPP 2002). Legt man die Ergebnisse regionaler Klimaszenarienmodelle zu Grunde, so ist im 21. Jahrhundert für große Teile des ostdeutschen Raumes von einem Temperaturanstieg um etwa 2°C und einem weiteren Rückgang des Niederschlagsdargebotes im Sommerhalbjahr auszugehen (vgl. u.a. ENKE et al. 2001; GERSTENGARBE 2003; WECHSUNG et al. 2005).

Neben den Erkenntnissen zu Ursachen und Ausmaß von Klimaänderungen stehen vor allem die Folgewirkungen für diejenigen Bereiche im Mittelpunkt des Interesses, welche in direkter Wechselwirkung zum Klimasystem stehen. Hierzu zählt das komplexe Wirkungsgefüge zwischen Klimawandel, Landnutzungsänderungen und Wasserkreislauf, in dem Veränderungen einer dieser Kompartimente tief greifende Auswirkungen auf die anderen Teilbereiche haben können. Dies trifft im Besonderen auf große Teile

des Bundeslandes Sachsen-Anhalt zu, in denen sowohl aufgrund der naturräumlichen und klimatisch-hydrologischen Situation als auch des sich seit Beginn der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts vollziehenden Landnutzungswandels spezielle Ausprägungen klimatischer Veränderungen mit den entsprechenden Folgen für die qualitative und quantitative Sicherung der Ressource „Wasser“ erwarten lassen. Die Auswahl der Untersuchungsräume erfolgte vor dem Hintergrund, die klimatischen Folgewirkungen auf den Wasserhaushalt und das Abflussverhalten der Gewässer unter Berücksichtigung des natürlichen und nutzungsabhängigen Inventars vergleichend zu untersuchen. Hierzu wurden zwei Flusseinzugsgebiete im Saale-Einzugsgebiet ausgewählt, welche sich trotz ihrer räumlichen Nähe diesbezüglich maßgeblich voneinander unterscheiden (Abb. 1). Das im Mitteldeutschen Trockengebiet gelegene Einzugsgebiet der **Querne/Weida** weist durch seine klimatische Lage, in Verbindung mit einer intensiven Flächennutzung (Ackerbau), eine angespannte Wasserhaushaltssituation auf, die sich bereits gegenwärtig in einer langjährig defizitären Wasserbilanz widerspiegelt. Hier sind durch die geplante Wiederentstehung des Salzigen Sees mittelfristig großflächige Nutzungsänderungen mit entsprechenden Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt zu erwarten. Demgegenüber lassen sich die im Mittel- und Unterharz gelegenen Bereiche des

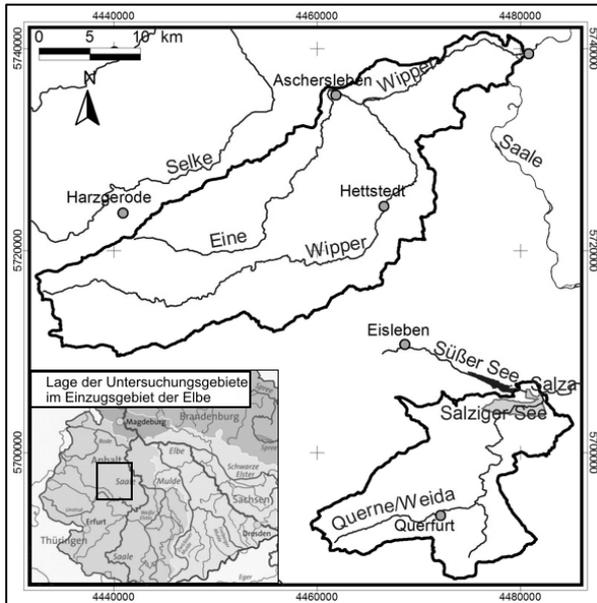


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete

Einzugsgebietes der **Wipper** sowohl nutzungsbedingt (hoher Waldanteil) als auch klimatisch und hydrologisch als begünstigt charakterisieren.

### Methodischer Ansatz

Die Umsetzung der Untersuchungsziele erforderte die Auswahl und integrative Anwendung verschiedener Methoden und Techniken mit der **hydrologischen Modellierung** als maßgeblichem Bezugspunkt. Unter Verwendung des Modellierungssystems ARC-EGMO (BECKER et al. 2002) wurden GIS-basierte hydrologische Modelle erstellt und verifiziert, auf deren Grundlage zunächst die Bewertung des hydrologischen „Ist-Zustandes“ in den Untersuchungsgebieten für den Zeitraum 1951-2000 erfolgte. Anschließend diente die Anwendung der Modelle auf verschiedene **regionale Klimaszenarien** (2001-2050) der eigentlichen Untersuchung der hydrologischen Folgewirkungen von Klimaänderungen. Neben der Integration von komplexen Klimaszenarien der regionalen Klimaszenarienmodelle STAR (GESTENGARBE & BECKER 2003) und

ECHAM/REMO (REIMER et al. 2003), deren Erstellung im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projektes erfolgte (WECHSUNG et al. 2005), wurden hierzu eigene, vereinfachte Klimaszenarien (MAGICC/SCENGEN-Szenario - WIGLEY ET AL. 2000) entwickelt. Ergänzend diente eine beschreibende und semiquantitative Bewertung der Klimaszenarien der Abschätzung ihrer Verwendbarkeit für hydrologische Fragestellungen. Als eine solche kann die Realisierbarkeit der Wiederentstehung des Salzigen Sees, unter Berücksichtigung der an ihn und seinen Abfluss, die Salza, gestellten, ökologisch begründeten Ansprüche gelten. Zur Abschätzung der Bilanzsicherheit wurde auf Grundlage eines **Landnutzungsszenarios** ein **Wasserbilanzmodell** entwickelt, validiert und auf verschiedene Bilanzierungsvarianten angewendet, um sowohl unter gegebenen als auch veränderten klimatischen Bedingungen Aussagen zur Unterschreitungshäufigkeit der hydrologischen Grenzwerte innerhalb ausgewählter Betrachtungszeiträume treffen zu können.

## Ergebnisse

### *Klima- und Abflussveränderungen in den Untersuchungsgebieten*

In Abhängigkeit von den verwendeten Klimaszenarien weisen beide Untersuchungsräume für den Zeitraum 2001-2050 Temperaturerhöhungen zwischen 1,1 und 2,7 ° C auf (Tab. 1). Mit unterschiedlichem Ausmaß ist von einem ganzjährigen Niederschlagsrückgang auszugehen, wobei, mit Ausnahme des STAR-Szenarios, einer Zunahme der Winterniederschläge eine umso stärkere Abnahme der Sommerniederschläge entgegensteht, was dem beobachteten Trend in beiden Gebieten entspricht. Vor allem die niederschlagsarmen Regionen im Regenschatten des Harzes sind in besonderem Maße vom Rückgang der Niederschläge betroffen. Als Folge von Temperaturerhöhung und Niederschlagsrückgang erhöhen sich in beiden Untersuchungsräumen Ausmaß und räumliche Verbreitung des Wasserbilanzdefizites im Sommerhalbjahr. Als direkte Konsequenz des verringerten Niederschlagsdargebotes, verbunden mit einem Anstieg der Verdunstungsraten, weisen beide Gebiete einen deutlichen Rückgang der Grundwasserneubildungsraten auf. Dieser spiegelt sich zum einen in einer überdurchschnittlichen Redu-

zierung der Sickerwasserraten in den heutigen Gunstregionen (Mittel- und Unterharz) sowie einer flächendeckenden Ausdehnung der Grundwasserzehrgebiete (Harzvorland, Salziger See) wider. Die Veränderung des Abflussverhaltens der Gewässer, das sowohl durch die klimatischen als auch die hydrologischen und nutzungsabhängigen Randbedingungen maßgeblich gesteuert wird, beweist, dass klimatische Veränderungen keineswegs in gleichem Maße eine Veränderung des Gewässerabflusses zur Folge haben. Trotz des geringeren absoluten Rückganges der Abflussraten (v. a. Grundwasserabfluss) zeigt insbesondere die Querne/Weida überdurchschnittliche Veränderungen im Abflussverhalten (Tab. 2). So weisen die Modellergebnisse für die Querne/Weida auf einen Abflussrückgang um nahezu zwei Drittel für die Klimaszenarien der Modelle STAR und MAGICC/SCENGEN hin. Demgegenüber verringert sich der Gesamtabfluss der Wipper um 54 bzw. 37 %. Noch gravierender sind die Unterschiede beim Niedrigwasserabfluss, der sich in der Querne/Weida um etwa 85 % verringert. Gleichzeitig konnte eine Homogenisierung des innerjährlichen Abflusses und eine Zunahme abflschwacher Perioden festgestellt werden.

*Tabelle 1: Veränderung von Klima und Wasserhaushalt in Abhängigkeit vom Klimaszenario*

<b>Querne/Weida</b>	Temperatur [°C]	Niederschlag [mm]	Klimatische Wasserbilanz [mm]	Grundwasserneubildung [mm]
1951-2000	8,7	559	- 18	12
MAGICC/SCENGEN	+ 1,6	- 4	- 76	- 32
STAR	+ 1,1	- 25	- 77	- 32
ECHAM/REMO	+ 2,7	- 11	- 50	- 6
<b>Wipper</b>				
1951-2000	8,1	649	112	118
MAGICC/SCENGEN	+ 1,6	- 1	- 73	- 50
STAR	+ 1,1	- 54	- 106	- 74
ECHAM/REMO	+ 2,3	0	- 45	- 15

Tabelle 2: Veränderung der Gewässerabflüsse in Abhängigkeit vom Klimaszenario

<b>Querne/Weida (Pegel Stedten)</b>	Mittlerer Abfluss (MQ) [m³/s]	Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) [m³/s]
1951-2000	0,280	0,133
MAGICC/SCENGEN	0,094	0,021
STAR	0,093	0,020
ECHAM/REMO	0,232	0,102
<b>Wipper (Pegel Mansfeld)</b>	Mittlerer Abfluss (MQ) [m³/s]	Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) [m³/s]
1951-2000	1,265	0,159
MAGICC/SCENGEN	0,877	0,104
STAR	0,704	0,091
ECHAM/REMO	1,292	0,167

### Wasserhaushaltsbilanzierung für den Salzigen See

Ausgehend von den vorliegenden Untersuchungen konnte der Salzige See und sein Umfeld als eine Region identifiziert werden, für die bezüglich der perspektivischen Sicherung der Ressource „Wasser“ ein ausgesprochen hoher Handlungsbedarf hinsichtlich möglicher Klimafolgen besteht.

Die Zukunft des 1894 zur Sicherung des Bergbaus trocken gelegten Gewässers ist vorwiegend aus finanziellen Gründen, trotz positiver Landtagsbeschlüsse, zum gegenwärtigen Zeitpunkt ungewiss. Eine mögliche Wiederentstehung des Salzigen Sees lässt, nicht zuletzt unter Berücksichtigung der in über 100 Jahren erfolgten Veränderungen, einen erneuten Eingriff in die bestehenden Ökosysteme und den regionalen Wasserhaushalt erwarten. Um den vielfältigen hydrologischen, ökologischen und nutzungsabhängigen Randbedingungen und Ansprüchen an den See und die durch ihn gespeiste Salza gerecht zu werden, dienen als hydrologische Zielvorgaben ein Mindestwasserstand des Sees von 85,5 mNN ( $\pm 0,5$  m) (nach BENDEL 1993 und PFÜTZNER 1997) sowie eine Mindestabgabemenge an die Salza von 0,4 (Oktober-April) bzw. 0,5 m³/s (Mai-September) (nach ARGE HPI-BAH 1998). Im Rahmen der Wasserbilanzmodellierung wurden für den „Ist-Zustand“ 1951-2000 und den Szenarienzeitraum 2001-2050 in Ta-

gessritten Wasserstand, Speichervolumen und Wasserfläche ermittelt und daraus die tägliche Wasserverfügbarkeit für den Salzigen See und die Salza ermittelt. Dem ging eine umfangreiche Erfassung und Quantifizierung der die zukünftige Wasserhaushaltsbilanz des Salzigen Sees bestimmenden Größen (u. a. Niederschlag, Verdunstung, Zuflüsse, Abwasserbehandlung) sowie eine Validierung des Modells anhand der für das Pumpwerk Wansleben vorliegenden Fördermengen voraus.

Fokussiert man auf die heutigen klimatischen Randbedingungen (1951-2000), so konnte aus den Modellergebnissen für den Salzigen See und sein Umfeld im langjährigen Mittel eine Gewährleistung der erforderlichen Wasserbilanz abgeleitet werden (Tab. 3). Allerdings zeigten die Ergebnisse auch, dass die alleinige Betrachtung mittlerer Verhältnisse unzureichend ist. Die zeitlich differenzierte Analyse ergab, dass, begründet durch die begrenzte Funktion des Sees als Wasserspeicher, in niederschlagsarmen und demzufolge abflussschwachen Perioden eine dauerhafte Sicherung von Mindestwasserstand des Salzigen Sees und Mindestabfluss der Salza nicht gewährleistet werden kann. An durchschnittlich 125 Tagen im Jahr würde der geforderte Wasserstand des Sees zu Gunsten der erforderlichen Mindestabgabemenge an die Salza unterschritten werden (Tab. 3).

Tabelle 3: Kennwerte der Wasserbilanz des Salzigen Sees

	1951-2000	Klimaszenarien 2001-2050	
		STAR	MAGICC/SCENGEN
Wasserbilanz im langjährigen Mittel	109 l/s	- 190 l/s	- 183 l/s
Anzahl der Jahre mit Bilanzdefizit	14	48	50
Unterschreitung Mindestwasserstand (Tage/Jahr)	125	365	365

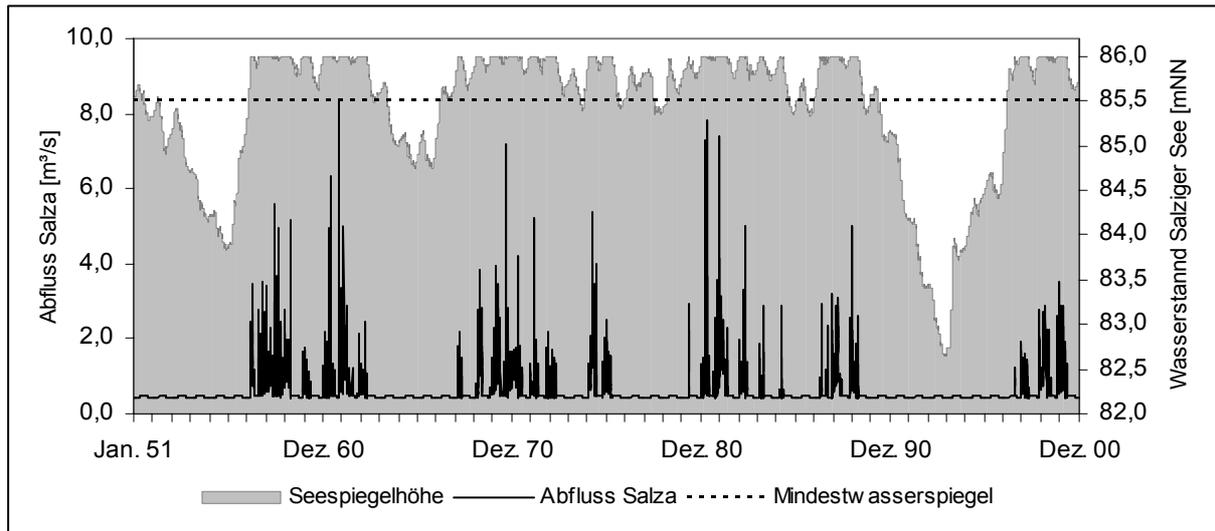


Abbildung 2: Wasserstand des Salzigen Sees und Abfluss der Salza 1951-2000

Speziell für die Jahre 1990 bis 1993 zeigte sich, dass die in diesem Zeitraum um etwa 10 % unter dem Durchschnitt liegenden Niederschlagsmengen und eine damit verbundene Abflussreduzierung im Einzugsgebiet zum Teil gravierende Konsequenzen für die Bilanzstabilität des Salzigen Sees nach sich ziehen würden (Abb. 2).

Bereits die Bilanzierungsergebnisse für den Zeitraum 1951-2000 lassen erkennen, dass unter veränderten klimatischen Bedingungen eine weitere Verschärfung der Wasserbilanzsituation zu erwarten ist. Sowohl die Reduzierung der Gewässerzuflüsse (Tab. 2) als auch die temperaturbedingte Erhöhung der Gewässerverdunstung führen zum einen zu defizitären mittleren Wasserbilanzverhältnissen (Tab. 3). Als Folge führt die uneingeschränkte Abgabe einer ökologisch begründeten Mindestabgabemenge an die Salza (0,4 bzw. 0,5 m³/s) zu einer kontinuierli-

chen Ausschöpfung des Wasserspeichers und somit einem Rückgang von Seefläche und Wasserstand bis hin zum vollständigen Trockenfallen des Gewässers. Ab diesem Zeitpunkt würde auch der Abfluss der Salza mit zunehmender Häufigkeit den erforderlichen Mindestabfluss unterschreiten.

### Schlussfolgerungen

- Die natürlichen Bedingungen und Landnutzungsverhältnisse gelten als wesentliche Steuerfaktoren für die hydrologische Sensibilität der Untersuchungsgebiete. Dies trifft verstärkt auf Regionen zu, die bereits gegenwärtig eine angespannte Wasserhaushaltssituation aufweisen. Als solche weisen das Einzugsgebiet der Querne/Weida sowie der gesamte Harzvorlandbereich ein besonderes Konfliktpotenzial auf. Dies verdeutlicht, dass im Rah-

men von Untersuchungen zu den Folgewirkungen des regionalen Klimawandels eine verstärkte landschaftsspezifische Betrachtung erforderlich ist.

- Hinsichtlich ihrer Eignung für hydrologische Fragestellungen ließen die eingesetzten Klimaszenarien aufgrund ihrer unterschiedlichen Modellphilosophien Fragen offen, die sowohl die methodischen Ansätze ihrer Entwicklung als auch die Wiedergabe der klimatischen Verhältnisse betreffen. Die hieraus resultierenden Unsicherheiten erfordern deshalb einen kritischen Umgang mit der verwendeten Datengrundlage und eine verstärkte Abschätzung der Plausibilität der Ergebnisse. Insbesondere die Klimaszenarien des ECHAM/REMO-Modells mussten als ausgesprochen unsicher hinsichtlich der Wiedergabe der innerjährlichen Niederschlagsverteilung und der Wiedergabe der Niederschlagstrends bewertet werden.
- Für den Salzigen See und die Salza konnte eine Diskrepanz zwischen den natürlichen Verhältnissen und den hydrologischen Mindestvorgaben ermittelt werden. Deren Gewährleistung erscheint insbesondere während länger anhaltender Trockenperioden fraglich. Eine mögliche Klimaveränderung könnte langfristig die Wasserbilanzstabilität und somit die Existenz des Salzigen Sees, seines Abflusses und somit auch der hier verbreiteten Schutzgebiete gefährden.
- Aus den vielfältigen Handlungsoptionen lassen sich die Verbesserung des Speicher- und Rückhaltevermögens im Einzugsgebiet sowie die Anpassung der Nutzungsansprüche an die gegenwärtigen und sich wandelnden klimatischen Rahmenbedingungen hervorheben, um Extremsituationen zukünftig zu vermeiden oder abzuschwächen.

## Literatur

- BECKER, A., KLÖCKING, B., LAHMER, W. und B. PFÜTZNER (2002):** The Hydrological Modelling System ARC/EGMO. – SINGH, V.P. & D.K. FREVERT [Hrsg.]: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology. Water Resources Publications, S.321-384. Littleton/Colorado.
- ENKE, W., KÜCHLER, W. & W. SOMMER (2001):** Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen. Zusammenfassender Abschlussbericht. Berlin/ Dresden.
- GERSTENGARBE, F.-W. [Hrsg.] (2003):** Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – PIK-Report 83. Potsdam.
- GERSTENGARBE, F.-W. & P.C. WERNER (2003):** Entwicklung von Klimaszenarien bis 2050 für ausgewählte Flusseinzugsgebiete von Deutschland. Bericht zum GLOWA-Elbe-Teilprojekt. Potsdam.
- HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J. & D. XIAOSU [Hrsg.] (2001):** Climate Change 2001 - The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Cambridge Univ. press. Cambridge.
- RAPP, J. (2002):** Regionale Klimatrends in Deutschland im 20. Jahrhundert. – DWD - Deutscher Wetterdienst [Hrsg.] (2002): Klimastatusbericht 2001. S.175-184. Offenbach.
- REIMER, E., SODOUDI, S., MIKUSKY, E. & W. ENKE (2003):** GLOWA-Elbe. Prognose von Temperatur, potentieller Verdunstung und Niederschlag für den Zeitraum 2000-2055 unter Verwendung

von ECHAM/REMO-Simulationen und Neuro-Fuzzy-Modellen. Abschlussbericht zum BMBF-Forschungsprojekt GLOWA-Elbe. Freie Universität Berlin.

**WECHSUNG, F., BECKER, A. & P. GRÄFE (2005):** Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Weißensee-Verlag. Berlin.

**WIGLEY, T.M.L., RAPER, S.C.B., HULME, M. & S. SMITH (2000):** The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator - Version 2.4. Technical Manual. Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK.

**WURBS, D. (2005):** Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten. Diss., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, FB Geographie. Halle.

Dr. Daniel Wurbs  
Geoland – Umwelt- & Geodienstleistungen  
Herweghstraße 98  
06114 Halle (Saale)  
[info@geoland-halle.de](mailto:info@geoland-halle.de)  
[www.geoland-halle.de](http://www.geoland-halle.de)

**Phänologische Beobachtungen** zählen zu den **sensibelsten Indikatoren** hinsichtlich der Reaktionen von Pflanzen auf klimatische Bedingungen und deren Änderungen (CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000). Die Phänologie von Wildpflanzen ist dabei der Ausdruck natürlicher Wachstumsbedingungen und der klimatischen Verhältnisse in einer Region (DEUTSCHER WETTERDIENST, 1991).

Durch den Klimawandel, vor allem dem Temperaturanstieg, ist es bereits zu Veränderungen in der Entwicklung und dem Verhalten von Pflanzen gekommen. Dies konnte in zahlreichen Studien und Untersuchungen großräumig (z.B. DONNELLY et al., 2006; LINDERHOLM et al., 2005; MENZEL et al., 2005; DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000; RÖTZER & CHMIELEWSKI, 2000; SPARKS et al., 2000) als auch auf regionaler Ebene (z.B. STREITFERT et al., 2005a; CHMIELEWSKI et al., 2004; LÜERS, 2003; CHEN, 1994) belegt werden. Demnach induzieren höhere Temperaturen, vor allem im späten Winter und zeitigem Frühjahr, Verfrühungen in der Blüte oder in der Blattentfaltung.

Für Sachsen-Anhalt (KOLODZIEJ, 2006) wurde untersucht, welche Veränderungen über den Zeitraum 1962 bis 2005 im Klima und in der Phänologie aufgetreten sind und die Zusammenhänge analysiert.

**Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt:** Über die letzten Jahrzehnte hat sich in Sachsen-Anhalt die **Lufttemperatur im Jahresmittel um etwa 1,5 °C** signifikant **erhöht** (Abb. 1). Im Besonderen war seit den späten 80er Jahren eine Häufung hoher Temperaturen aufgetreten, wo auch erstmals 9,5 °C und mehr in Sachsen-Anhalt erreicht wurden. In den letzten Jahren lag die mittlere Jahreslufttemperatur durchschnittlich 0,5 °C über dem langjährigen Mittel (8,5 °C) des gesamten Referenzzeitraums. Generell stellte sich in den letzten 20 Jahren eine deutlich stärkere Erwärmung im Winter als im Sommer ein (Vgl. CHMIELEWSKI, 2001; IPCC, 2001), bedingt durch eine erhöhte Häufigkeit von winterlichen zonalen Wetterlagen, die milde ozeanische Luft nach Deutschland bringen (UBA, 2005a; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000).

Weiterhin zeigte sich eine erhebliche Abnahme der Eistage ( $T_{\max} < 0 \text{ °C}$ ) sowie ein Trend zu weniger Frosttagen ( $T_{\min} < 0 \text{ °C}$ ) (Vgl. UBA, 2005a; STREITFERT et al., 2005a; CHMIELEWSKI et al., 2004). Dazu hat sich die Zahl Spätfrosttage von Januar bis Mai zwischen 1962 und 2005 verringert. Auch traten vermehrt Tage auf, an denen das Lufttemperaturmaximum von 25 °C erreicht beziehungsweise überschritten wurde. Somit haben die **minimalen Lufttemperaturen** eindeutig **abgenommen** und die **Lufttempera-**

**turmaxima** **zugenommen**, was mit den Ergebnissen des Forschungsberichtes von JONAS et al. (2005) übereinstimmt. In dieser Studie wurde für Deutschland flächendeckend ein selteneres Auftreten von Kälteereignissen sowie eine Zunahme von Hitzeereignissen ermittelt. Ähnliche globale Entwicklungen prognostizierte auch der IPCC (2001) für das weitere 21. Jahrhundert. Für die Entwicklung der **Jahresniederschlagssummen** (Abb. 1) lieferte das Datenmaterial in Sachsen-Anhalt keine signifikanten Trends (Vgl. MAIER et al., 2003; CHMIELEWSKI, 2001).

Jedoch zeichnete sich eine **moderate Zunahme von 0,95 mm pro Jahr** ab, was rund 41,7 mm über die letzten Jahrzehnte sind. Die Jahressummen der Niederschläge sind dabei im Allgemeinen stärkeren Schwankungen unterworfen (CHMIELEWSKI, 2001) als die Jahresmittel der Lufttemperatur, wodurch sich auch langfristig keine signifikanten Trends ermitteln lassen (UBA, 2005a).

Insgesamt kam es zu **Veränderungen in der Verteilung der Niederschläge über das Jahr**.

Die vorsommerliche Trockenheit hat zugenommen durch eine Abnahme der Niederschläge in den Monaten April bis Juni um etwa 10 mm über den Referenzzeitraum. Ebenso haben die Niederschläge im August deutlich abgenommen (Vgl. SCHÖNWIESE et al., 1993; CHMIELEWSKI et al., 2004; LÜERS, 2003). Das Niederschlagsdefizit dieser Monate wurde im Wesentlichen durch positive Trends in der Niederschlagssummenentwicklung der anderen Monate des Jahres kompensiert (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004). Innerhalb der letzten Jahre hat sich das Jahresniederschlagsmaximum ausschließlich auf den Monat Juli verlagert. In Sachsen-Anhalt sind vor allem die **Winter feuchter** geworden. Auch für Deutschland war in den letzten 100 Jahren ein leichter Trend zu mehr Niederschlägen im Winter zu beobachten, vor allem jedoch mit einer deutlichen Zunahme in den letzten 30 Jahren (JONAS et al., 2005; MAIER et al., 2003; SCHÖNWIESE et al., 1993). Als Erklärung wird in der Literatur davon ausgegangen, dass die Zunahme zonaler Zirkulationsmuster im Winter dafür verantwortlich sind (z. B. UBA, 2005a).

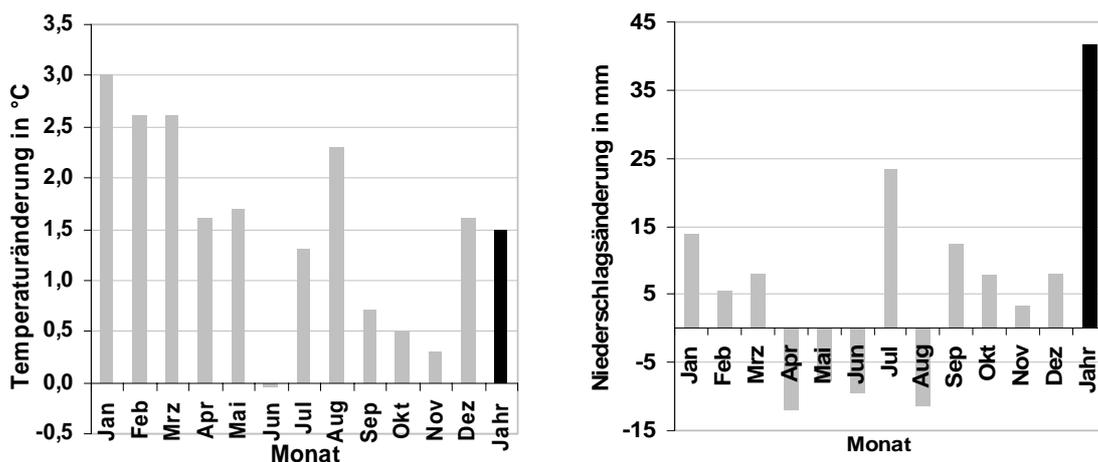


Abb. 1: Trends der Temperatur- und Niederschlagssummenentwicklung im Jahresverlauf 1962-2005 in Sachsen-Anhalt

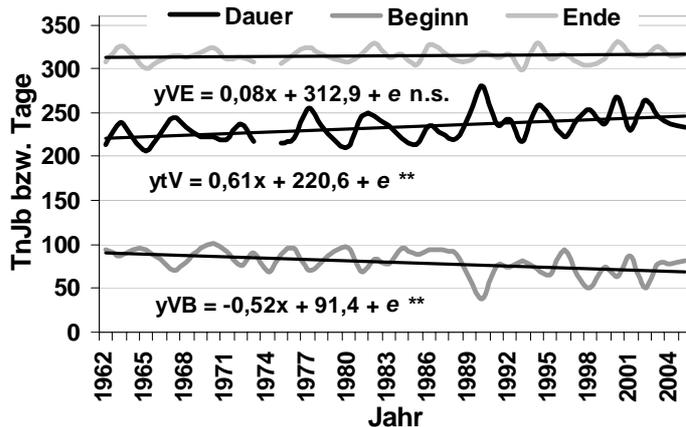


Abb. 2:  
Entwicklung der thermischen Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Beginn ( $V_B$ ), Ende ( $V_E$ ) und Dauer ( $tV$ )  
 $n.s. = (p \geq 0,1)$ ;  $* = (p \leq 0,05)$ ;  
 $** = (p \leq 0,01)$ ;  $*** = (p \leq 0,001)$

Die **thermische Vegetationsperiode** (Abb. 2) hat sich in Sachsen-Anhalt **um etwa 0,6 Tage pro Jahr** beziehungsweise um 26 Tage zwischen 1962 und 2005 **signifikant verlängert** und damit auch der Zeitraum für die Entwicklung und das Wachstums der Pflanzen (Vgl. LINDERHOLM et al., 2005; CHMIELEWSKI et al., 2004; DEFILA & FERCH, 2003; LÄSSIG & MOTSCHALOW, 1997; CHEN, 1994). Die zunehmende Länge wird maßgeblich **durch einen übermäßig früheren Beginn um 0,5 Tage pro Jahr** bestimmt. Im Vergleich zu Sachsen (1961-2000:  $tV = + 0,22$  Tage pro Jahr,  $V_B = - 0,26$  Tage pro Jahr; CHMIELEWSKI et al., 2004, S.23ff.) sind diese Trends sehr stark ausgeprägt. Das Ende der thermischen Vegetationsperiode zeigte dagegen kaum Veränderungen. In den niedrigeren Regionen Sachsens-Anhalts waren die Trends der Verlängerung markanter als die der höheren. Im Harz ist die Länge der Vegetationsperiode fast unverändert geblieben (Vgl. STREITFERT et al., 2005a; CHMIELEWSKI et al., 2004). Eine mögliche Ursache steht vermutlich im Zusammenhang mit einem sehr späten Beginn zwischen Ende April und Anfang Mai, wo erst das nötige Temperatur-optimum erreicht wird. Somit erklärt sich, dass in den übrigen Regionen die zunehmende Erwärmung, vor allem die der ersten Monate des Jahres, auch für die Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode verantwortlich ist. Nach 1980

war sie in Sachsen-Anhalt oftmals länger als 250 Tage, was außerordentliche Abweichungen von etwas mehr als zwei Wochen vom langjährigen Mittel (234 Tage) sind. In der Studie von CHMIELEWSKI und RÖTZER (2000) wurde zum Beispiel dargelegt, dass die Trends in den Verfrühungen der Vegetationsperiode Europas gut mit den Änderungen der Lufttemperatur und den Zirkulationen (NAO-Index) über Europa einhergehen. Es traten zunehmend und vorrangig ab den späten 80er Jahren positive Phasen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) auf, wobei Westwinde warme und feuchte Luft im späten Winter und zeitigen Frühjahr mitbringen (ebd.).

**Phänologie und die Abhängigkeiten von klimatischen Parametern:** Es ist zu **drastischen Veränderungen in Sachsen-Anhalts Pflanzenentwicklung** gekommen: Die Sal-Weide verfrühte ihren Blühbeginn am deutlichsten um etwa 20 Tage, der Löwenzahn dagegen um etwas mehr als zwei Wochen. Knapp 15 Tage verfrühte die Stiel-Eiche den Termin ihrer Blühtentfaltung. Im Sommer beginnt die Blüte des Schwarzen Holunders inzwischen fast 18 Tage früher, die der Sommer-Linde 10 Tage und die des Heidekrauts fünf Tage eher als noch vor vierzig Jahren. Beim Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders kam es zu einer Vorverlegung der Termine um 12 und bei

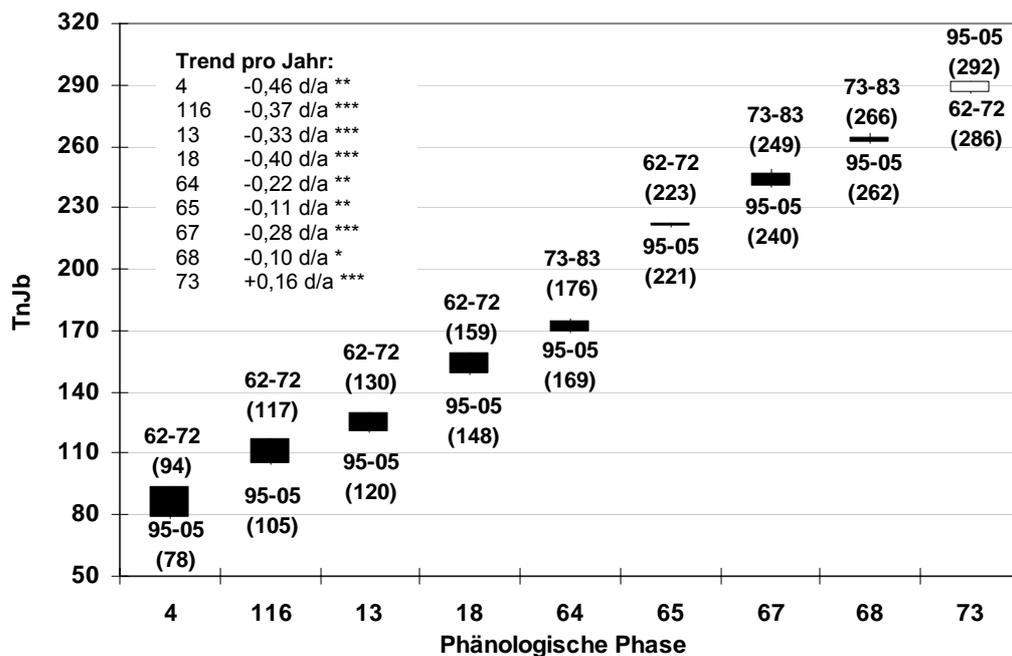


Abb. 3: Phänologisches Phasendiagramm Sachsen-Anhalt

Frühling: 4 Sal-Weide (Blüte), 116 Löwenzahn (Blüte), 13 Stiel-Eiche (Blattentfaltung)

Sommer: 18 Schwarzer Holunder (Blüte), 64 Sommer-Linde (Blüte), 65 Heidekraut (Blüte)

Herbst: 67 Schwarzer Holunder (Früchte), 68 Rosskastanie (Früchte), 73 Stiel-Eiche (Blattverfärbung)

der Rosskastanie um vier Tage. Eine Verzögerung im Eintrittstermin, um etwa eine Woche, ist nur bei der Blattverfärbung der Stiel-Eiche aufgetreten. Das Phasendiagramm in Abb. 3 enthält die Differenzen der Perioden mit den frühesten und spätesten mittleren Eintrittsterminen in Tagen nach Jahresbeginn. Aus der Stärke der Balken lässt sich die Intensität der Veränderung ablesen. Schwarze Balken geben Verfrühungen an, weiße Verspätungen im Eintrittstermin.

Variationen in den Veränderungen der Eintrittstermine lassen sich nach MENZEL et al. (2005) wie folgt erklären: In den verschiedenen Jahreszeiten der mittleren und höheren Breiten reagieren Pflanzen unterschiedlich auf Temperaturänderungen. Die **Frühjahrsphasen zeigten sich** in Sachsen-Anhalt **am sensibelsten** im Hinblick auf die außerordentliche Temperaturzunahme und -variabilitäten der Wintermonate sowie der ersten Frühlingsmonate. Auch liegen hier die Temperaturen im Mittel noch unter dem pflan-

zensspezifischen Optimum, wodurch die Pflanzen im stärkeren Maße auf Schwankungen reagieren (CHMIELEWSKI et al., 2004).

Bei den Herbstphasen kam es dagegen allgemein zu moderateren Veränderungen im Eintrittstermin. Auch tritt im Spätherbst die Abhängigkeit von der Temperatur etwas zurück (geringe bis mittlere Korrelationen). Sie hat somit einen geringeren Einfluss auf die Phänologie (vgl. SPARKS et al., 2000). Die Laubverfärbung kann im Allgemeinen durch warme Spätsommer (August-September) verzögert werden (Vgl. MENZEL et al., 2005; CHMIELEWSKI et al., 2004). Eintrittstermine im Spätherbst haben sich in Sachsen-Anhalt auch gelegentlich durch höhere Temperaturen im Mai und Juni verfrüht, allerdings werden diese nur mäßig durch die Temperaturvariabilitäten beschrieben. An dieser Stelle spielen auch andere Faktoren wie die Bodenfeuchte, Trockenheit oder Luftschadstoffe eine weitere Rolle. Demnach wird die Laubverfärbung schlechter durch

die Witterung der aktuellen Vegetationsperiode beschrieben als früher auftretende phänologische Phasen im Jahr (MENZEL et al., 2005).

Für das Mitteldeutsche Schwarzerdegebiet, das Sächsische Hügelland, das Nördliche Harzvorland und das Weser-Aller-Flachland sind im Wesentlichen die massivsten Veränderungen in ihrer Phänologie, im Mittel etwa zwei Wochen, ermittelt worden. Im Harz stellten sich insgesamt die geringsten Veränderungen in den Eintrittsterminen der betrachteten phänologischen Phasen ein, um durchschnittlich sieben bis acht Tage. Auch hier werden, ähnlich wie beim Beginn der thermischen Vegetationsperiode, entwicklungsfördernde Temperaturen für das Einsetzen der Pflanzenentwicklung trotz des Temperaturanstiegs der Wintermonate noch nicht so oft erreicht wie in anderen Regionen beziehungsweise werden erst später im Jahr erreicht, wo die Temperaturen in den Monaten kaum noch schwanken.

Es liegen **höchst signifikante Zusammenhänge zwischen den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen und der Lufttemperatur** vor. Für die ersten acht Phasen ergaben sich negative Regressionen, wobei sich bei höheren Temperaturen die Eintrittstermine verfrühen. Im Spätherbst lag eine positive Abhängigkeit vom Temperaturmittel der Monate August und September vor. Die Eintrittstermine verzögerten sich dabei, je wärmer der Spätsommer beziehungsweise Frühherbst ausfiel. Im Allgemeinen ist die **Lufttemperatur bis zu drei Monate vor Eintritt der Frühlings- und Sommerphasen ausschlaggebend für die Pflanzenentwicklung** und erklärt außerordentlich gut die Varianzen in den Eintrittsterminen. Bei den Frühlings- und Sommerphasen werden die Eintrittstermine in Sachsen-Anhalt bis 85% durch die vorangegangenen Monatstemperaturen bestimmt (Deutschland bis zu 90 % in

MENZEL, 2003). Die ersten beiden Herbstphasen sind ebenso von den späten Frühlings- beziehungsweise Vorsommertemperaturen der Monate April bis Juni abhängig. Mit den steigenden Temperaturen im Jahresverlauf bis Mai oder Juni nähert sich die mittlere Lufttemperatur dem Optimum für die Pflanzenentwicklung an, wodurch es in den folgenden Monaten, etwa ab Juni, zu weniger merklichen Reaktionen der Pflanzen auf Temperaturänderungen kommt (CHMIELEWSKI et al., 2004). Dieser Zusammenhang bekräftigte sich auch durch die Betrachtung der Schwankungen der Eintrittstermine beziehungsweise der Standardabweichungen vom langjährigen Mittel. Je größer die jährlichen Abweichungen sind, desto stärker waren auch die Trends der Veränderungen der Eintrittstermine der phänologischen Phasen. Damit liegt auch eine erhöhte Sensibilität hinsichtlich der Reaktionen auf Temperaturschwankungen vor.

Die Temperaturabhängigkeit der Pflanzenentwicklung soll am Blühbeginn der Sal-Weide als Beispiel verdeutlicht werden: Sie wies in Sachsen-Anhalt die stärksten Veränderungen auf, wobei sich mit dem Anstieg des Lufttemperaturmittels der Monate Februar und März der Blühbeginn der Sal-Weide gravierend verfrühte. **Bei höheren Temperaturen lagen sehr frühe Eintrittstermine vor und bei niedrigen verspäteten sie sich entsprechend**, was auch deutlich am Wechselspiel der Temperaturkurve und der Balken für die Eintrittstermine in *Abb. 4* erkennbar ist. **Extrem frühe Termine traten vor allem ab den späten 80er Jahren** auf. Seitdem sind auch fast alle Jahre im Vergleich zum langjährigen Mittel der Lufttemperaturen zu warm gewesen (s.o.), mit Ausnahme des Jahres 1996, wo der strenge Winter 1995/96 die Eintrittstermine in Deutschland und auch in Sachsen-Anhalt im Frühjahr verzögerte (vgl. CHMIELEWSKI et al.,

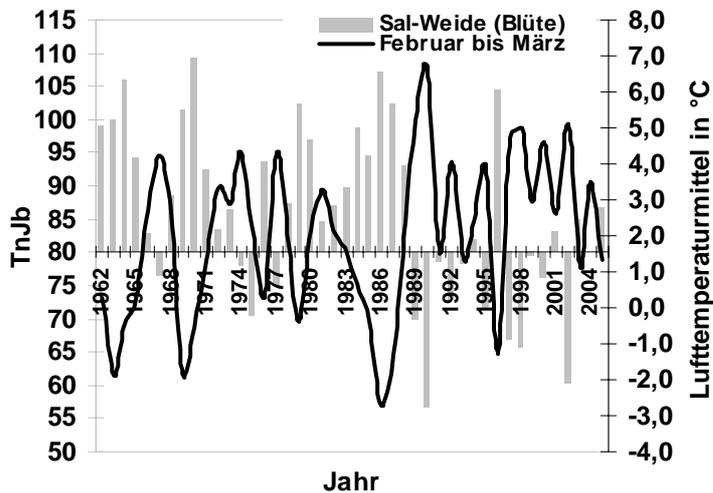


Abb. 4:  
Entwicklung der mittleren Lufttemperatur  
Februar-März x (N = 13 Stationen) und der  
mittlere Blühbeginn der Sal-Weide in  
Sachsen-Anhalt 1962-2005

### 2003). Der Trend der Zunahme der Lufttemperaturen erklärt somit den Trend zu Verfrühungen in der Pflanzenentwicklung.

Auch Spätfröste haben einen Einfluss auf die Phänologie im Frühling. Je höher die Anzahl der Spätfrosttage zwischen Januar und Mai im Referenzzeitraum war, desto später im Jahr lagen die Eintrittstermine bei den Frühlingsphasen.

Zunehmend geringere Niederschläge der Monate April bis Juni wirkten sich nur gering auf Sachsen-Anhalts Pflanzenentwicklung im Herbst aus, die sich mitunter verzögerte. Entgegen der Erwartung, dass es zu verzögerten Eintrittsterminen bei einem feuchten Sommer oder Spätsommer kommt, ergaben sich umgekehrte Zusammenhänge. In den letzten Jahren sind zunehmend extreme Witterungsereignisse aufgetreten wie zum Beispiel die Dürreperiode 2003 oder die Jahrhundertflut an der Elbe 2002 (Vgl. UBA, 2005a; RAHMSTORF & SCHELLNHUBER, 2006). Hier lässt sich vermutlich eine Erklärung dieser Ergebnisse finden, denn extremer Wassermangel oder -überfluss kann die Blattverfärbung und auch den Laubfall früher auslösen. Allgemein sind jedoch Verzögerungen im Beginn phänologischer Phasen im Herbst nur geringfügig durch die Niederschläge erklärbar (SCHNELLE, 1955).

### Literatur

**CHEN, X. (1994):** Untersuchung zur zeitlich-räumlichen Ähnlichkeit von phänologischen und klimatologischen Parametern in Westdeutschland und zum Einfluss geökologischer Faktoren auf die phänologische Entwicklung im Gebiet des Taunus. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr.189, Offenbach am Main.*

**CHMIELEWSKI, F.-M., MÜLLER, A. & W. KÜCHLER (2004):** Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Berlin.

**CHMIELEWSKI, F.-M., MÜLLER, A. & E. BRUNS (2003):** Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Beiträge zur Klima- und Meeresforschung, Berlin, Bayreuth, S. 125-134.*

**CHMIELEWSKI, F.-M. (2001):** Rezente Veränderungen der Lufttemperatur und Niederschlagshöhe in Berlin-Dahlem (Albrecht-Thaer-Weg). *Agrarmeteorologische Schriften, 9/2001, Berlin.*

**CHMIELEWSKI, F.-M. & T. RÖTZER (2000):** Phenological trends in Europe in relation to climate changes. *Agrarmeteorologische Schriften, 7/2000, Berlin.*

**DEFILA, C. & G. MÜLLER-FERCH (2003):** Erste Spuren der Klimaänderung in der Pflanzen- und

Tierwelt. *Climate-Press*, 16/2003.

Deutscher Wetterdienst [Hrsg.] (1991): Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes. 3.Aufl., Offenbach am Main.

**DONNELLY, A., SALAMIN, N. & M.B. JONES (2006):** Changes in tree phenology: An Indicator of spring warming in Ireland? *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy. Dublin.*

**ELLIS, N. E. (2003):** Natural Heritage Trends. Climate change impacts on habitats and species: Summary. Scottish Natural Heritage.

**HUPFER, P. & F.-M. CHMIELEWSKI [HRSG.] (1990):** Das Klima von Berlin. Berlin.

**IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change [Hrsg.] (2001):** Climate Change 2001. Impacts, Adaption and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

**JONAS, M., STAEGER, T. & C.-D. SCHÖNWIESE (2005):** Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen. Schwerpunkt Deutschland. Dessau.

**KOLODZIEJ, A. (2006):** Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Mögliche Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen. Dipl.-Arb., Inst. f. Geographie d. Univ. Halle-Wittenberg.

**LÄSSIG, R. & S. MOTSCHALOW (1997):** Auswirkungen der Klimaerwärmung in Sibirien. Wald- und Steppengebiete verschieben sich nach Norden. *Neue Züricher Zeitung*, 287:65.

**LINDERHOLM, H.W., A. WALTHER & D. CHEN (2005):** Growing season trends in the Greater Baltic Area. Göteborg.

**Lüers, J. (2003):** Agrarklimatische und phänologische Auswertungen für das Mittlere Moseltal -

Auswirkungen auf den Weinbau. *Terra Nostra* 6/2003, 6. *Deutsche Klimatagung.*

**MAIER, U., KUDLINSKI, J. & G. MÜLLER-WESTERMEIER (2003):** Klimatologische Auswertung von Zeitreihen des Monatsmittels der Lufttemperatur und der monatlichen Niederschlagshöhe im 20. Jahrhundert. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr.223, Offenbach am Main.*

**MENZEL, A., ESTRELLA, N. & P. FABIAN (2005):** Phänologie-Pflanzen in einer wärmeren Welt. *Münchener Rück: Wetterkatastrophen und Klimawandel. Auswirkungen auf Natur, Mensch und Ökonomie. München, S. 144-155.*

**MENZEL, A. (2003A):** Gibt die Phänologie Hinweise für den Klimawandel? *AFZ - Der Wald*. 17/2003, S. 867-869.

**OELKE, E. [HRSG.] (1997):** Perthes Länderprofile. Sachsen-Anhalt. Gotha.

**RAHMSTORF, S., & H.J. SCHELLNHUBER (2006):** Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie. München.

**RÖTZER, T. & F.-M. CHMIELEWSKI (2000):** Phenological maps of Europe. *Agrarmeteorologische Schriften, 6/2000, Berlin.*

**Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft [Hrsg.] (2005):** Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick. Dresden.

**SCHNELLE, F. (1955):** Pflanzen-Phänologie. Leipzig.

**SCHÖNWIESE, C.-D., RAPP, J., FUCHS, T. & M. DENHARD (1993):** Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990. Berichte des Zentrums für Umweltforschung, Nr.20, Frankfurt am Main.

**SPARKS, T.H., JEFFREE, E.P. & C.E. JEFFREE (2000):** An examination of relationships between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological record from the UK. *Int. J. Biometeorology, Nr.44, S. 82-87.*

**STREITFERT, A., GRÜNHAGE, L. & H.-J. JÄGER (2005A):** Klimawandel und Pflanzenphänologie in

Hessen. Inst. f. Pflanzenökologie d. Univ.

**STREITFERT, A. (2005b):** Einfluss steigender Temperaturen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Pflanzenphänologie und -anatomie. Dipl.-Arb., Inst. f. Pflanzenökologie d. Univ. Gießen.

**Umweltbundesamt [Hrsg.] (2005a):** Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Dessau.

**Umweltbundesamt [Hrsg.] (2005b):** Naturwissenschaftliche Grundlagen der Klima(schutz)politik. Dessau.

Dipl.-Geogr. Andrea Kolodziej  
Institut für Geographie,  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
andrea.kolodziej@gmx.de

## Die Einsatzmöglichkeiten von Lysimeteruntersuchungen für die Klimafolgenforschung

Prof. Dr. Ralph Meißner

### Einleitung

Das Grundwasser stellt die Hauptquelle für die Trinkwasserversorgung in Deutschland dar. Neben echtem Grundwasser (etwa 62,9%) werden dafür auch Uferfiltrat (ca. 6%) und künstlich angereichertes Grundwasser (ca. 9,5%) verwendet. Die Grundwasserneubildung findet überwiegend auf den in den letzten Jahrzehnten durch immer umfassendere Intensivierungsmaßnahmen und weitere anthropogene Einträge belasteten land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen (ca. 83% der Bodenfläche der Bundesrepublik Deutschland) statt. Der Schutz des Grundwassers ist daher von hoher gesellschaftlicher Relevanz. Ein seit vielen Jahren in Deutschland bestehendes Lysimetermessnetz trägt zur Aufrechterhaltung der Grundwasserneubildungsfunktion des Bodens bei. Das Ziel des Beitrages besteht darin, auf die Möglichkeiten zur Nutzung von langfristig aus Lysimeteruntersuchungen vorliegenden Messreihen über die Sickerwasserbildung bei sich verändernden Klimabedingungen hinzuweisen. Es werden neue Techniken zur ungestörten monolithischen Entnahme von großvolumigen Bodenkörpern und deren Einbau in wägbaren Lysimetern vorgestellt. Anhand von Beispielen wird die Messgenauigkeit der mit diesen Geräten erfassbaren Parameter dargestellt. Abschließend werden Möglichkeiten zur Simulation von Klimaänderungen mit Hilfe von

Lysimetern diskutiert und Schlussfolgerungen zum zukünftigen Forschungsbedarf abgeleitet.

### Sickerwasserrichtlinie und Lysimeter

Die Bedeutung der Sickerwasserforschung wird an der gegenwärtig von der LAWA initiierten Bearbeitung der SICKERWASSERRICHTLINIE (2003) sichtbar. Auch zukünftig ist es notwendig, die bereits seit Jahren laufenden Untersuchungen zur Ermittlung der Sickerwasserbildung nach Menge und Beschaffenheit fortzusetzen. Hierzu gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Neben indirekten Verfahren (hydrologische Messplätze, ausgestattet mit Sensoren zur Erfassung der Bodenfeuchte, Tracermethoden) kommen auch direkte Messverfahren zum Einsatz.

Langjährig bewährt hat sich der Einsatz von Lysimetern unterschiedlicher Bauart. Obgleich sie im In- und Ausland vielfach im Einsatz sind, gelten sie aufgrund der mit ihrer Errichtung verbundenen Aufwendungen als vergleichsweise teure Versuchsanlagen. Jedoch ist in den letzten Jahren wieder ein verstärkter Trend zum Einsatz von Lysimetern zu verzeichnen. Als Ursachen werden hierfür die bei alternativen Messverfahren nicht exakt erfassbaren Kenngrößen des Wasserhaushaltes und die daraus resultierenden Fehlermöglichkeiten für weitere Berechnungen sowie technische Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Lysimetrie angesehen.

Im Rahmen der Sickerwasserforschung werden Lysimeter unterschiedlicher Bauart seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt. Als Lysimeter wird nach DIN 4049 (1994) eine Anlage zum Erfassen von Sickerwasser als Grundlage zur Mengen- und Stoffbilanz in Abhängigkeit von Boden, Gestein, Bewuchs, lokalem Klima und anderen Randbedingungen bezeichnet. Im Allgemeinen bestehen Lysimeter aus einem mit Erdboden gefüllten Behälter und einer Auffang- und Messvorrichtung für das am Boden austretende Wasser (DVWK, 1980). Da nur mit Hilfe von Lysimetern eine direkte Bestimmung der durch den Boden perkolierenden Wassermenge einschließlich der darin enthaltenen Nähr- und Schadstoffe möglich ist, gestatten derartige Messungen eine im Vergleich zu anderen Methoden relativ zuverlässige Kalkulation der in Richtung Grundwasser transportierten Stofffrachten (KLOCKE et al., 1993; HILLEL, 2004). Sind die Lysimeter wägbar, dann kann aus der Registrierung der Gewichtsveränderung die aktuelle Evapotranspiration direkt bestimmt werden (YOUNG et al., 1996). Aufgrund der genannten Eigenschaften werden Lysimeterversuchsergebnisse häufig zur Ableitung und Kalibrierung von Wasser- und Stoffhaushaltsmodellen genutzt (MEISSNER et al., 1999, 2000, a; Wriedt, 2004).

Unter Bezug auf die hier abgehandelte Thematik ist speziell darauf hinzuweisen, dass in Europa, vor allem in Deutschland, ein gut ausgebautes Lysimetermessnetz existiert (KRETZSCHMAR, 1999; LANTHALER und FANK, 2005). In der Regel werden an diesen Standorten auch relevante meteorologische Parameter regelmäßig erfasst. Da Lysimeteranlagen langfristig betrieben werden, erscheinen sie für die Erfassung von Klimaänderungen ebenfalls geeignet. Hierzu trägt auch der besonders in den letzten Jahren zu verzeichnende technische Fortschritt beim Bau und Betrieb von Lysimetern bei.

### **Technologie zur Entnahme von ungestörten Bodensäulen**

Für detaillierte Untersuchungen des Wasser- und Stoffhaushalts an Böden in Lysimetern ist die Gewinnung von ungestörten Bodensäulen zu empfehlen. Um Kosten zu sparen und Bodenmonolithe ungestört in situ entnehmen zu können, wurde ein horizontales Entnahmeverfahren, basierend auf einem Fräsverfahren, entwickelt und patentiert (MEISSNER et al. 2002). Eine in Einzelteilen zerlegbare Rahmenkonstruktion in Form eines Dreibecks wird verwendet, um das Lysimetergefäß am Entnahmestandort lotrecht auszurichten und während des Schneidvorgangs in seiner Lage vertikal zu fixieren (Abb. 1).



*Abb. 1: Vorrichtung zur ungestörten vertikalen Entnahme von großvolumigen Bodenmonolithen*

Diese Entnahmetechnologie wurde bereits mehrfach erfolgreich auf unterschiedlichen Entnahmestandorten (von Sandböden über Schotter- bis Tonböden) und für Lysimeter unterschiedlicher Dimension (Oberfläche 0,5 bis 2 m<sup>2</sup>, Tiefe 1,0 bis 3,0 m) eingesetzt. Ein weiteres Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass der Entnahmestandort nur geringfügig beschädigt wird (kleine Baugrube, keine Baustraße erforderlich). Die Zeit zur Gewinnung eines Bo-

denmonolithen ist abhängig von der Größe und der Bodenart. In der Regel benötigt man 1 bis 2 Werktage, um ein Lysimeter monolithisch zu befüllen.

### Gravitationslysimeter

Gravitationslysimeter bestehen aus dem mit Boden gefüllten Lysimetergefäß und einer am unteren Ende eingebauten Filterschicht zur Verhinderung der Ausbildung von tragenden Menisken (Abb. 2). Auch sind Bautypen bekannt, bei denen ein Unterdruck angelegt wird, um das Sickerwasser zu gewinnen (Roth et al., 2005). Die Ermittlung der Sickerwassermenge erfolgt häufig über einen Kippzähler. Bei neueren Gravitationslysimetern werden Wägezellen verwendet, um die Gewichtsveränderung (als Voraussetzung zur genauen Bestimmung der Evapotranspiration) mit hoher Präzision zu messen. Des Weiteren ist es möglich, innerhalb des Lysimeters in verschiedenen Tiefenstufen zusätzliche Messinstrumente wie TDR-Sonden, Tensiometer, Saugkerzen, Temperaturfühler etc. einzubauen. Hierdurch erhält man weitere Informationen über Quantität und Qualität des Bodenwas-

sers beim Durchlauf durch die Bodensäule. Sämtliche Messdaten werden in einem Datenlogger gespeichert.

### Messgenauigkeit

Anhand eines Beispiels soll die Messgenauigkeit eines Gravitationslysimeters neuer Bauart demonstriert werden. In Abb. 3 sind die Gewichtsveränderungen des Lysimeters für eine sechstägige Messperiode im August 2004 und die in dieser Zeit gefallenen Niederschläge dargestellt. Bis zum Abend des 18. August ist kein Niederschlag gefallen. Es zeigt sich die Tendenz einer Gewichtsabnahme aufgrund der Evapotranspiration. Beim Einsetzen des Niederschlags ist ein sofortiger Gewichtsanstieg zu erkennen. Es folgen weitere 15 Niederschlagsereignisse, die zu einem Gewichtsanstieg von insgesamt 19,3 kg bis zum Ende der dargestellten Messperiode führen.

Die hier dargestellten Werte beruhen auf einem Wägerhythmus von 6 Minuten. Aus den pro Stunde anfallenden 10 Einzelwägungen wird ein Mittelwert berechnet.

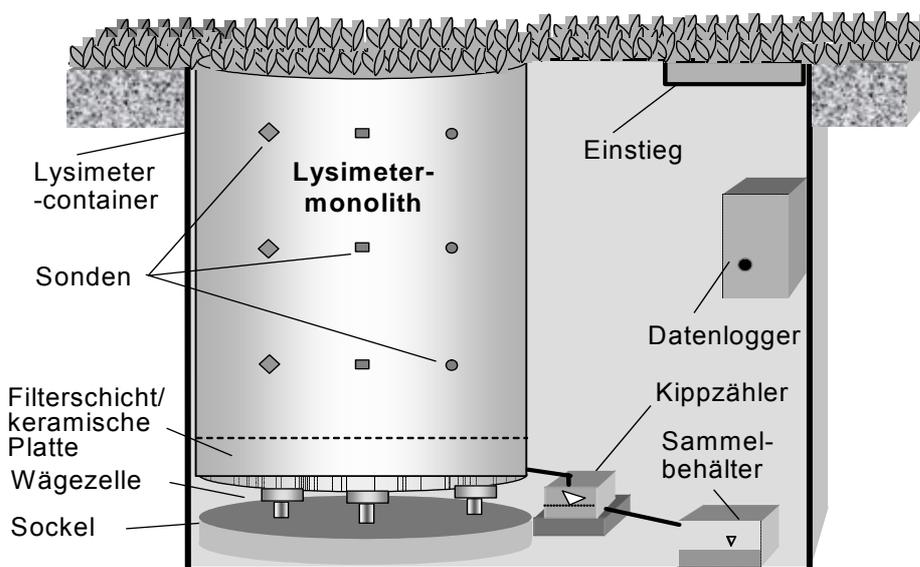


Abb. 2: Prinzipskizze eines wägbaren Gravitationslysimeters

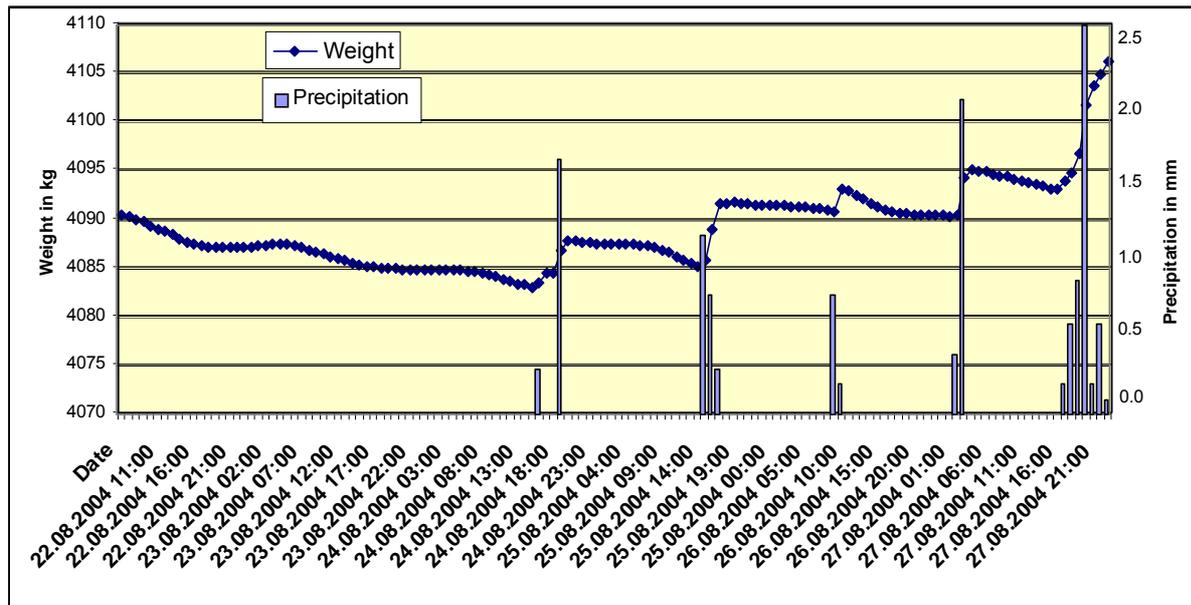
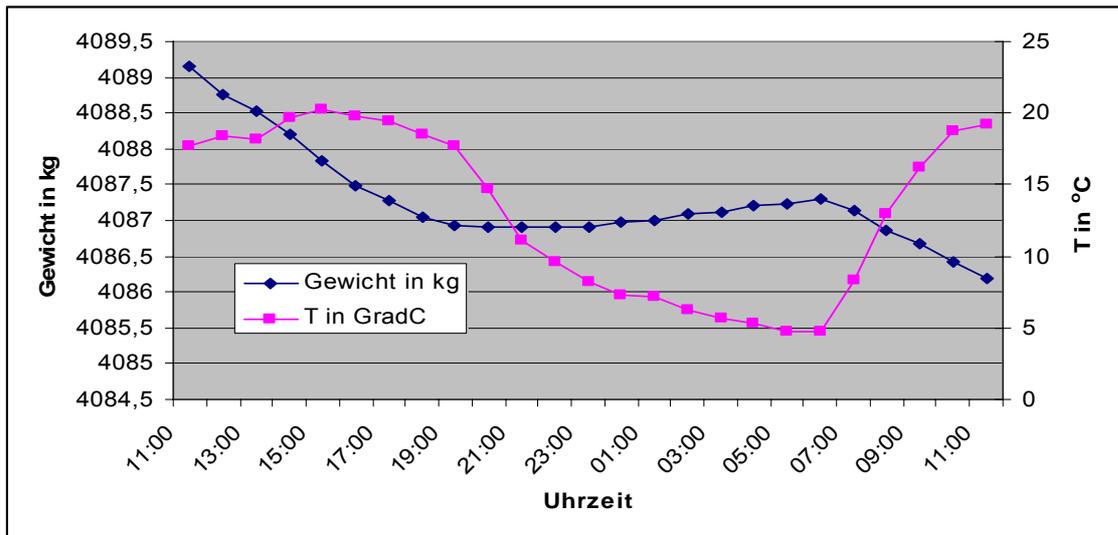


Abb. 3: Beispiel für den Niederschlagsverlauf und die Änderung des Gewichtes eines mit Mais be-  
pflanzten Gravitationslysimeters innerhalb einer Messperiode von 6 Tagen

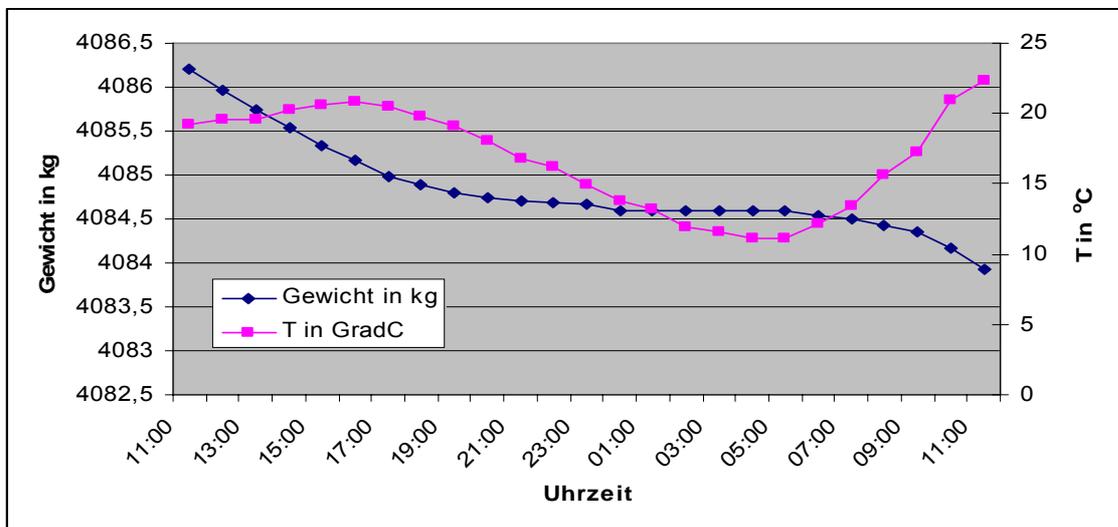
### Taumessung

Betrachtet man den in Abb. 3 dargestellten Verlauf der Gewichtsänderung in der niederschlagslosen Periode detaillierter, dann sind geringfügige Schwankungen im Tag-Nacht-Verlauf sichtbar. Aus dem Verlauf der in Abb. 4a zusätzlich eingeführten Temperaturkomponente ist erkennbar, dass am 22. August zunächst mit steigender Temperatur eine Gewichtsabnahme einhergeht. Die maximale stündliche aktuelle Evapotranspiration von 0,36 mm wurde im Zeitraum zwischen 14.00 und 15.00 Uhr gemessen. Sie resultierte aus der zu diesem Zeitpunkt herrschenden höchsten Tagestemperatur von 20,2°C.

Während in den Abend- und Nachtstunden die Temperatur weiter zurück ging, ist zwischen 22.00 und 6.00 Uhr eine Gewichtszunahme von insgesamt 0,4 mm ermittelt worden; das sind 14,6 % der im 24 Stundenzeitraum vom 22. August zum 23. August (von 11.00 bis 11.00 Uhr) gemessenen Evapotranspirationsmenge in Höhe von 2,73 mm. Die im Stundenmittel höchste Gewichtszunahme von 0,09 mm wurde am 23. August zwischen 5.00 und 6.00 Uhr gemessen. Sie fällt zusammen mit der um diese Zeit herrschenden niedrigsten Temperatur von 4,8 °C.



a)



b)

Abb. 4: Gewichtsänderung eines mit Mais bepflanzten Gravitationslysimeters in Abhängigkeit vom Temperaturverlauf, dargestellt durch einen Tag-Nacht-Verlauf

a) vom 22.08.2004 11:00 Uhr bis zum 23.08.2004 11:00 Uhr

b) vom 23.08.2004 11:00 Uhr bis zum 24.08.2004 11:00 Uhr

In Abb. 4b sind die Messergebnisse für den Folgetag vom 23. August zum 24. August, wiederum um 11.00 Uhr beginnend, dargestellt. Die zwischen 15.00 und 16.00 Uhr gemessene maximale Tagestemperatur von 20,8 °C verursachte erwartungsgemäß die höchste stündliche aktuelle Evapotranspiration von 0,18 mm. In den Abend- und Nachtstunden sank die Temperatur ab. Jedoch war im Unterschied zur vorangegangenen Nacht (vgl. Abb. 4a) keine Gewichtszunahme, sondern nur eine Gewichtskonstanz

zwischen 0.00 Uhr und 5.00 Uhr zu verzeichnen. Die niedrigste Tagestemperatur mit 11,1 °C wurde zwischen 4.00 und 5.00 Uhr gemessen. Die gesamte für den zweiten Tag gemessene Evapotranspirationshöhe betrug 2,04 mm. Sie war damit aufgrund der im Vergleich zum Vortag geringeren Windgeschwindigkeit und niedrigeren Globalstrahlung um etwa 25% geringer. Als Ursache für die in der Nacht vom 22. August zum 23. August (vgl. Abb. 4a) gemessene Gewichtszunahme wird die Taubildung angesehen.

Tab. 1: Gegenüberstellung von errechneten Taupunkttemperaturen mit den am Gravitationslysimeter gemessenen meteorologischen Kennwerten

Messperiode	Maximale Temperatur (bei $t_{\max}$ )	Höhe der relativen Luftfeuchte (bei $t_{\max}$ )	Taupunkt (berechnet)	Tiefsttemperatur und damit korrespondierende relative Luftfeuchte (gemessen)
	°C	%	°C	°C      %
22.08.2004 bis 23.08.2004	20,2	40,3	6,3	4,8 - 99,7
23.08.2004 bis 23.08.2004	20,8	40,6	6,9	11,1 - 97,5

Voraussetzung für die Bildung von Tau ist, dass die Lufttemperatur soweit absinkt, bis sie den so genannten Taupunkt erreicht. Die relative Luftfeuchte nimmt dann Werte um 100% an. In der warmen Jahreszeit geschieht das vornehmlich am frühen Morgen bei klarem Himmel und nur schwacher Windbewegung. Dabei ist die Taubildung im oberen Bestandsbereich intensiver als in Bodennähe. Überprüft wurde diese These durch die Berechnung des Taupunktes nach der Magnus-Formel für den Sättigungsdampfdruck über Wasser ( $E_w(t_d)$  in hPa), s. Tabelle 1 (SONNTAG UND HEINZE, 1982):

In der ersten Messperiode vom 22. August zum 23. August wurde die berechnete Taupunkttemperatur deutlich unterschritten. Da auch die relative Luftfeuchtigkeit Werte um annähernd 100% erreichte, kann mit großer Sicherheit die gemessene Gewichtszunahme von 0,4 mm als Taubildung identifiziert werden. Demgegenüber lag in der zweiten Messperiode vom 23. August zum 24. August die nächtliche Tiefsttemperatur erheblich über dem berechneten Taupunkt. Da auch die relative Luftfeuchtigkeit deutlich unter 100% war, konnte keine Taubildung erfolgen. Die zwischen 0.00 und 5.00 Uhr gemessene Gewichtskonstanz zeigt an, dass keine messbare Evapotranspiration zu verzeichnen war.

### Schlussfolgerungen sowie Forschungs- und Handlungsbedarf

- Trotz Zunahme der Nutzungsintensität Aufrechterhaltung der Grundwasserneubildungsfunktion von land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen als Grundlage zur Sicherung einer nachhaltigen Trinkwasserversorgung in Deutschland
- Weiterführung von Langzeituntersuchungen mit Lysimetern zur Erkennung von Trends hinsichtlich einer veränderten Sickerwasserbildung nach Menge und Qualität
- Prüfung der Eignung von langjährig in Lysimeterstationen erhobenen bodenhydrologischen und meteorologischen Daten zur Validierung und Kalibrierung von Modellen zur Abschätzung von Klimaänderungen
- Testung der neu entwickelten Lysimeter bezüglich ihrer Eignung als Experimentalbasis zur Untersuchung von Phänomenen des Klimawandels (z.B. Simulation von Extremhochwässern mit Grundwasserlysimetern oder Untersuchung von monolithisch entnommenen Bodensäulen aus unterschiedlichen Klimaregionen hinsichtlich der Veränderung des Wasser- und Stoffhaushaltes )

## Zusammenfassung

Ausgehend von der Hypothese, dass Klimaänderungen die Sickerwasserbildung und damit die Grundwasserneubildung als Hauptquelle der Trinkwasserversorgung in Deutschland signifikant beeinflussen können, werden Strategien zur messtechnischen Überwachung dieses Phänomens vorgestellt und diskutiert. Lysimetermessergebnisse, die zum Teil bereits langjährig in Deutschland vorliegen, erscheinen besonders geeignet, um Veränderungen bei der Sickerwasserbildung nach Menge und Beschaffenheit zu registrieren. Neu entwickelte wägbare Gravitationslysimeter werden vorgestellt und diskutiert. Anhand von Beispielen wird die hohe Genauigkeit der mit diesen Lysimetern messbaren Parameter erläutert. Die Geräte können genutzt werden, um Klimaszenarien zu simulieren. In Verbindung mit längerfristig vorliegenden Messreihen stellen sie eine wesentliche Stützstelle zur Validierung von entsprechenden Modellen dar.

## Literatur

- ATV-DVWK-Themen:** Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs, Hrsg. ATV-DVWK, (2004), 27 S.
- BARDOSSY, A., und S. PAKOSCH:** Wahrscheinlichkeiten extremer Hochwasser unter sich ändernden Klimaverhältnissen, Wasserwirtschaft 95 (2005), Heft 7-8, S. 58-62.
- BETHGE-STEFFENS, D., MEISSNER, R., and H. RUPP:** Development and practical test of a weighable groundwater lysimeter for floodplain sites, J. Plant Nutr. Soil Sci., 167 (2004) No. 4, S. 516 – 524.
- DERBY, N.E., KNIGHTON, R.E., and B.R. MONTGOMERY:** Construction and Performance of Large Soil Core Lysimeters, Soil Sci. Soc. Am. J. 66 (2002), S. 1446 – 1453.
- DIN 4049-3:** Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, (1994).
- DVWK – Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern, DVWK-Regeln (1980), Heft 114.**
- HANTSCHEL, R.:** Neubau einer Lysimeteranlage am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (1993), Band 71, S.135 - 138).
- HILLEL, D.:** Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press, San Diego., (2004), 494 S.
- KLOCKE, N.L., TODD, R.W., HERGERT, G.W., WATTS, D.G., and A.M. PARKHURST:** Design, installation, and performance of percolation lysimeters for water-quality sampling, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 36 (1993), S 429-435.
- KLOTZ, D., und H. STEINDL:** Die Entnahme von ungestörten Bodenmonolithen. In: Die GSF- Lysimeteranlage Neuherberg (eds. D. KLOTZ & K.-P. SEILER), GSF Bericht (1998) Heft 23, S. 33-39.
- Kretzschmar, R.:** Lysimetermessungen - Erfassung von Stoff-, Wasser- und Wärmehaushaltsgrößen von Böden, Standorten und Landschaften unter weitgehend natürlichen Bedingungen, Selbstverlag (1999), 22 S.
- LANTHALER, C., and J. FANK:** Lysimeter stations and soil hydrology measuring sites in Europe – results of a 2004 survey, Proceedings 11. Gumpensteiner Lysimetertagung (2005), S. 19-24.
- MEISSNER, R., SEEGER, J., RUPP, H., and H. BALLA:** Assessing the impact of agricultural land use changes on water quality, Water Science and Technology, 40 (1999), S. 1 - 10.
- MEISSNER, R., RUPP, H., and M. SCHUBERT:** Novel lysimeter techniques - a basis for the improved investigation of water, gas, and solute

transport in soils. In: J. Plant Nutr. Soil Sci., 163 (2000, a) No. 6, S. 603-608.

**MEIßNER, R., RUPP, H., SEYFARTH, M., und R. BRÄUTIGAM:** Lysimeterstation, Europäisches Patent erteilt mit der Nummer 19907463, (2000, b).

**MEIßNER, R., RUPP, H., SEYFARTH, M., und J. PUNZEL:** Verfahren zum automatischen Betrieb eines wägbaren Grundwasserlysimeters, Deutsches Patent erteilt mit der Nummer 19902462, (2000, c).

**MEIßNER, R., RUPP, H., und J. SEEGER:** Sickerwassermonitoring mit Hilfe von Lysimetern unterschiedlicher Bauart. Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, (2001), Heft 1 / 2, S. 33-50.

**MEIßNER, R., SEYFARTH, M., FRIEDRICH, H., RUPP, H., BEUTER, M., und K. KEßLER:** Vorrichtung zur monolithischen Entnahme von Bodensäulen, Deutsches Patent erteilt mit der Nummer 10048089, (2002).

**MESHKAT, M., WARNER, R.C., and L.R. WALTON:** Lysimeter design, construction, and instrumentation for assessing evaporation from a large undisturbed soil monolith, Applied Engineering in Agriculture 15 (1999), S. 303-308.

**MÜLLER, J.:** 30 Jahre forsthydrologische Forschung auf der Großlysimeteranlage in Britz – Zielstellung und Ergebnisse, Proceedings 11. Gumpensteiner Lysimetertagung (2005), S. 29-32.

**PÜTZ, T., A. STORK and F. FÜHR:** Lysimeter – A comprehensive Approach of Environmental Research, Druckschrift Forschungszentrum Jülich, (1997).

**ROTH, D., GÜNTHER, R., KNOBLAUCH, S., und H. MICHEL:** Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen – Ergebnisse der TLL-Lysimeterstation, Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, (2005), Heft 1, 159 S.

**SICKERWASSER** – Richtlinie für Beobachtung und Auswertung, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2003), 70 S. (Gelbdruck).

**SONNTAG, D., und D. HEINZE:** Sättigungsdampfdruck- und Sättigungsdampfdichtetafeln für Wasser und Eis, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, (1982), 305 S.

**SRU** - Der Rat von Sachverständigen für Umwelt: Flächendeckend wirksamer Grundwasserschutz - ein Schritt zur dauerhaft umweltgerechten Entwicklung, Sondergutachten, Metzler-Poeschel Verlag Stuttgart, (1998), 207 S.

**WRIEDT, G.:** Modelling of nitrogen transport and turnover during soil and groundwater passage in a small lowland catchment of Northern Germany. Dissertation, Universität Potsdam, (2004), 123 S.

**YOUNG, M.H., WIERENGA, P.J., and C.F. MANCINO:** Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies, Soil Science 161 (1996), S. 491-501.

Prof. Dr. Ralph Meißner, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ  
Department Bodenphysik, Lysimeterstation,  
Dorfstraße 55, 39615 Falkenberg und Martin-  
Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für  
Agrartechnik und Landeskultur  
e-mail: ralph.meissner@ufz.de

Erik Köhler

Die **erneuerbaren Energien** spielten in Sachsen-Anhalt bis 1997 keine erwähnenswerte Rolle. Seitdem erleben sie, wie die Abb. 1 und 2 zeigen, einen stetigen Aufschwung.

Die **Windkraft** dominiert dabei den Strombereich. Im Jahr 2005 wurden bereits 20,5 % des Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt, wobei 70 % Windstrom sind. Mittlerweile hat die installierte Leistung der Windkraftanlagen fast die gleiche Größe der in Sachsen-Anhalt vorhandenen konventionellen Kraftwerke erreicht. Seit 2002 geht der jährliche Zubau an neuen Windkraftanlagen leicht zurück.

Die **Biomasse** hatte 2005 bereits einen Anteil von 26 % am Strom aus erneuerbaren Energien (2004 noch 5 %). Beim Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch, der 4,6 % im Jahr 2004 betrug, überflügelte die Biomasse mit 54 % sogar die Windenergie. Der Anstieg ist auf die Inbetriebnahme von Biomassekraftwerken der Holz verarbeitenden Industrie und des Zellstoffwerks Stendal sowie eine Vielzahl von neuen Biogasanlagen im ländlichen Raum zurückzuführen. Daneben sind noch vier große Werke zur Herstellung von Biodiesel bzw. Bioethanol entstanden.

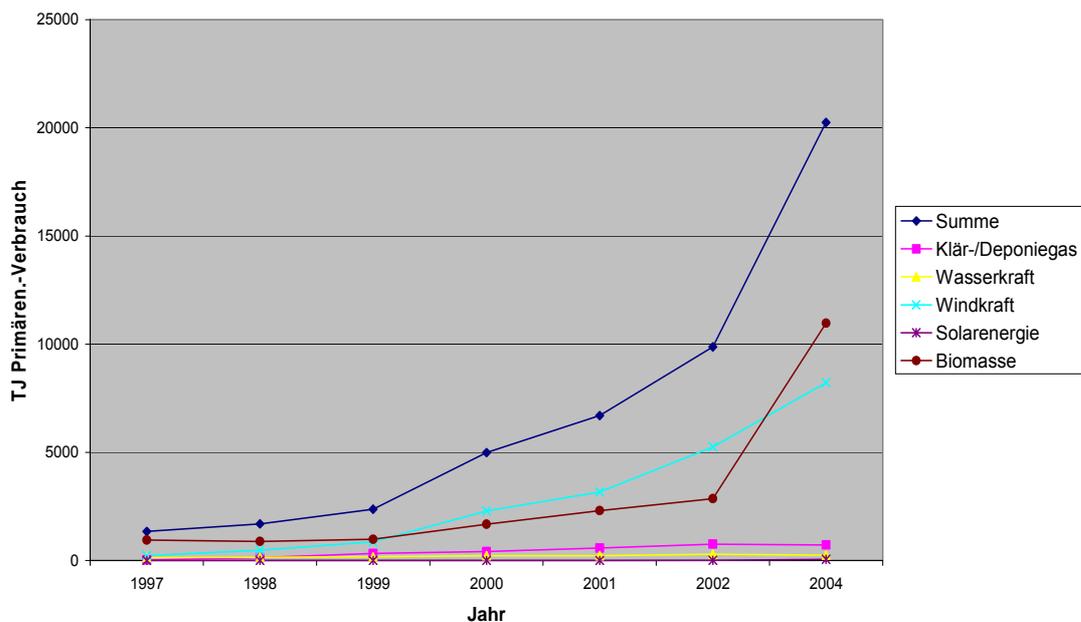


Abb. 1: Entwicklung der erneuerbaren Energien

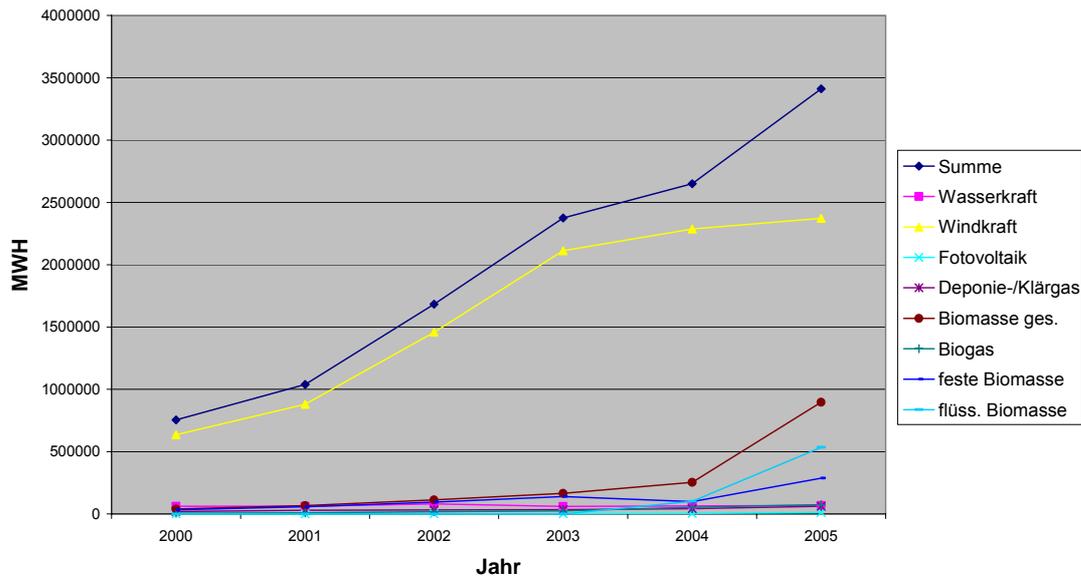


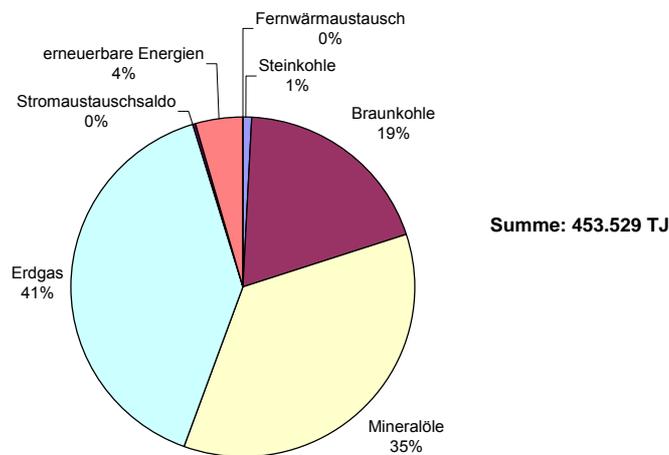
Abb. 2: Nettostromerzeugung erneuerbare Energien bis 2005

Die **Photovoltaik**, d.h. der Strom aus Sonnenenergie, stieg zwar in den letzten Jahren jeweils um das Zweieinhalbfache an, ist aber mit einem Anteil am regenerativ erzeugten Strom von weniger als einem Prozent von geringer Bedeutung. Der steile Aufwärtstrend ist durch die komfortablen Einspeisevergütungen und die Ansiedlung von zwei Herstellern von Solarmodulen im Land begründet. Bei Merseburg wurde mit 4 Megawatt die zweitgrößte Anlage Deutschlands in Betrieb genommen. Kostengünstiger ist die Gewinnung von Wärme durch Sonnenstrahlung. Die zumeist auf den Dächern angebrachten Kollektoren werden aber statistisch nicht erfasst.

Der Anteil der **Wasserkraft** an der regenerativen Stromerzeugung ist gering und steigt durch einige Ausbauprojekte noch etwas an. Bei der energetischen Nutzung von Klär- und Deponiegas gibt es sowohl einen Zubau neuer Anlagen als auch bereits zurückgehende Gasausbeuten

an einigen Deponien. Die Nutzungsmöglichkeiten der tiefen Erdwärme werden gegenwärtig erst untersucht. Die Zahl der Wärmepumpen zur Nutzung oberflächennaher Erdwärme wird im Land auf einige Hundert geschätzt. Die rund um die Uhr zur Verfügung stehende Erdwärme wird bei den steigenden Energiepreisen immer attraktiver.

Der **Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiestruktur des Landes** wird von den Statistikern dem Primärenergieverbrauch zugeordnet. Primärenergie sind die eingesetzten Energieträger wie Kohle, Öl und Gas, aus denen Endenergie wie Strom und Wärme oder auch Produkte gewonnen werden. Die Struktur des Primärenergieverbrauchs zeigt Abb 3. Aus Vollständigkeitsgründen werden bei Strom und Wärme die Differenzen aus Import und Export mit erfasst, obwohl sie eigentlich keine Primärenergien sind.



Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt

Abb. 3: Primärenergieverbrauch 2004 nach Energieträgern in TJ

(Anmerkung zu den Darstellungen: Bei der Diagramm-Bildung werden Werte unter ein Prozent abgerundet und als Null ausgewiesen.)

Nicht alle Primärenergie gelangt als Endenergie zum Verbraucher. Es müssen, wie Abb. 4 zeigt, der Eigenverbrauch und die Verluste bei der Energieumwandlung in den Kraftwerken und Heizwerken sowie die Herstellung von chemischen Produkten aus Kohle und insbesondere Erdöl abgezogen werden.

Wie Abb. 5 zeigt, ist der Sektor Haushalte/Gewerbe/Dienstleistungen/Übrige der größte Verbraucher an Endenergie. Das liegt auch daran, dass durch den Umbau der Industrie nach der Wiedervereinigung der Energieverbrauch in diesem Sektor am stärksten gesenkt wurde (60 %). Sowohl in der Industrie als auch im Sektor Haushalte/Gewerbe/Dienstleistungen/Übrige, der

seinen Energieverbrauch seit 1990 um 41 % gesenkt hat, erfolgten gleichzeitig ein starker Rückgang bei der Verwendung von Braunkohle und eine vermehrte Nutzung von Erdgas. Entsprechend dem Anwachsen des Verkehrs, dessen Energieverbrauch seit 1990 um 21 % angestiegen ist, stieg auch der Verbrauch an Erdöl. In Abb. 6 werden die sektoralen Entwicklungen des Endenergieverbrauchs des Landes dargestellt.

Wie Abb. 7 zeigt, steigt zwar der Primärenergieverbrauch in Sachsen-Anhalt weiter an, durch die zunehmende Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen sinkt der Einsatz fossiler Energieträger leicht.

Summe: 453.529 TJ

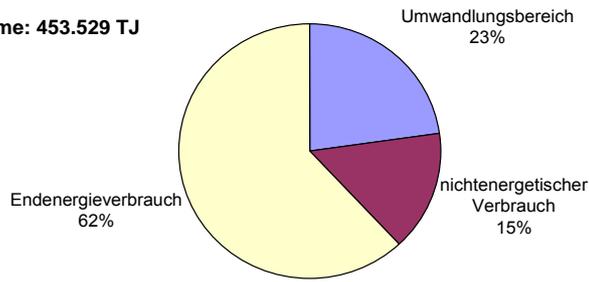


Abb. 4:

Energieverbrauch 2004 in TJ

Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt

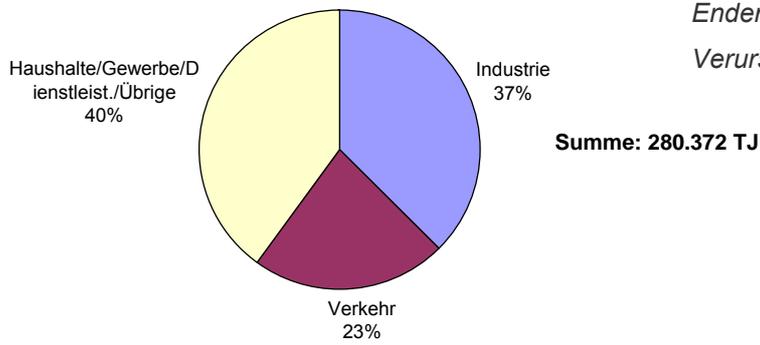


Abb. 5:

Endenergieverbrauch 2004 nach Verursacherggruppen in TJ

Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt

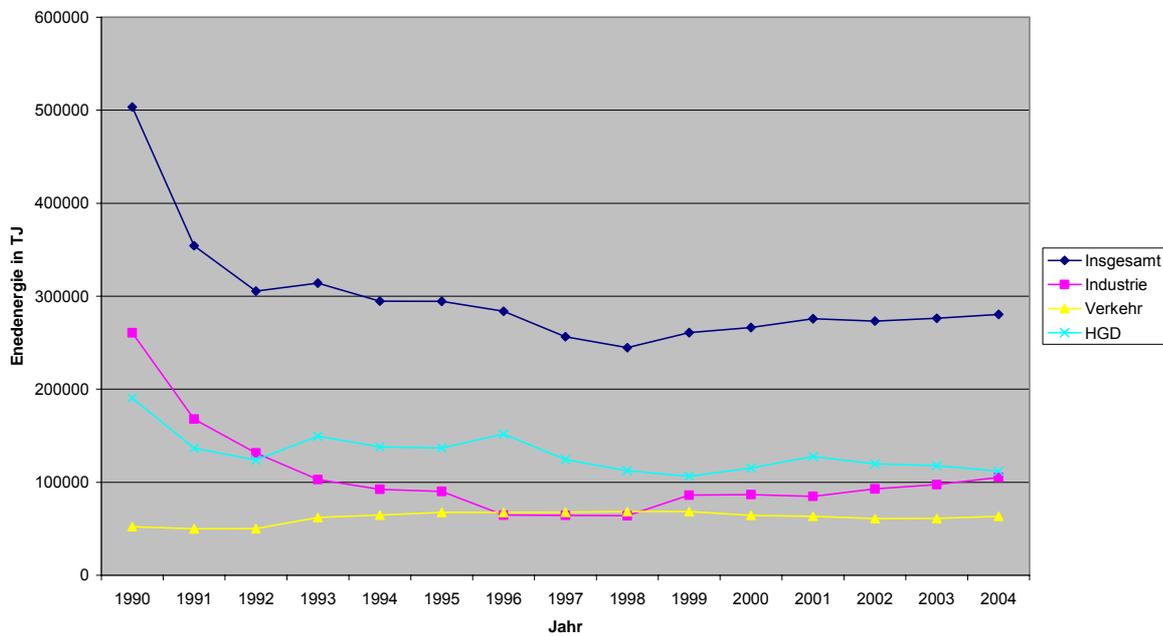


Abb. 6: Entwicklung Endenergieverbrauch

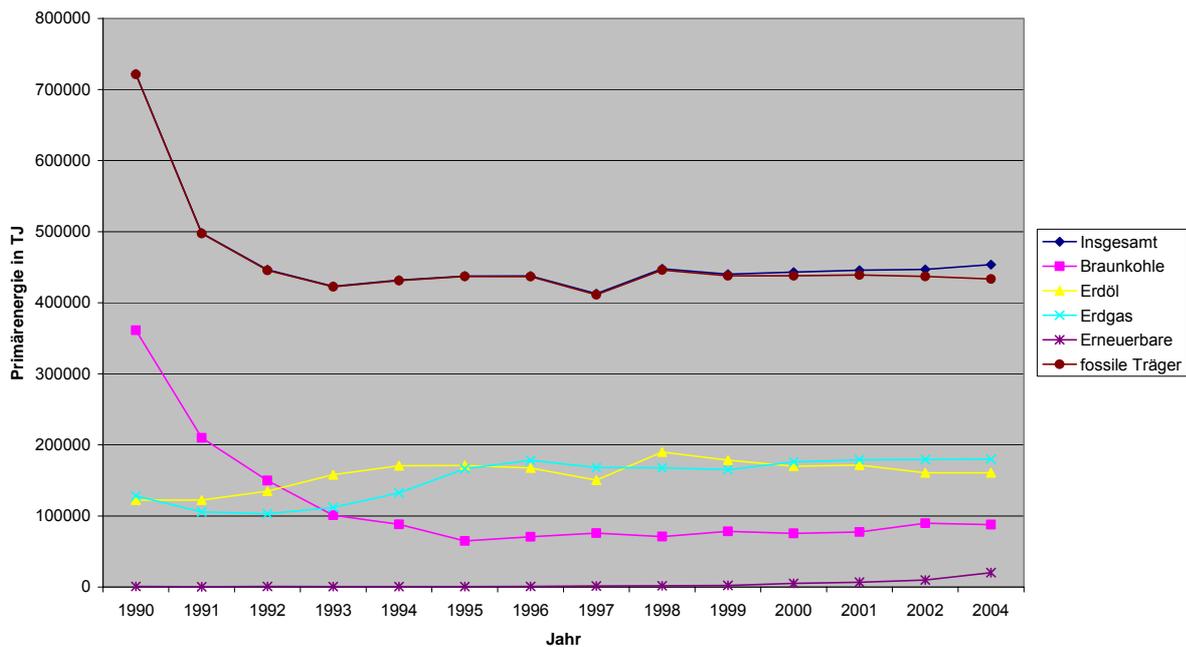


Abb. 7: Entwicklung Primärenergieverbrauch

Anmerkung:

1 J (Joule) = 1 Ws (Wattsekunde)

1 TJ (Terra-Joule) =  $10^{12}$  J = 277.777 kWh (Kilowattstunden)

Die genauen Zahlen zu den einzelnen Energieanteilen können Sie auf der Internet-Seite des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt nachlesen: [www.stala.sachsen-anhalt.de](http://www.stala.sachsen-anhalt.de)

Erik Köhler  
 Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt  
 des Landes Sachsen-Anhalt  
 Abt. 3  
 Erik.Koehler@mli.sachsen-anhalt.de

Erik Köhler

Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen können relativ einfach aus dem Verbrauch der einzelnen Brennstoffe berechnet werden, da bekannt ist, wie viel Kohlenstoff der jeweilige Brennstoff enthält und bei der Verbrennung freisetzt. Sie bilden somit den jeweiligen Energiemix des Landes ab.

Abb. 1 verdeutlicht sowohl den starken Rückgang des Energieverbrauchs durch den Zusammenbruch der ehemaligen DDR-Industrie

als auch die Umstellung vom emissionsintensiven Energieträger Braunkohle zum emissionsarmen Erdgas. In der Folge hat Sachsen-Anhalt seine energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 2004 um 46,6 % (nach der Quellenbilanz) bzw. um 54,2 % (nach der Verursacherbilanz) gesenkt und damit wie die anderen ostdeutschen Länder wesentlich zu den bisherigen Erfolgen Deutschlands bei der Erfüllung seiner Klimaschutzverpflichtungen beigetragen.

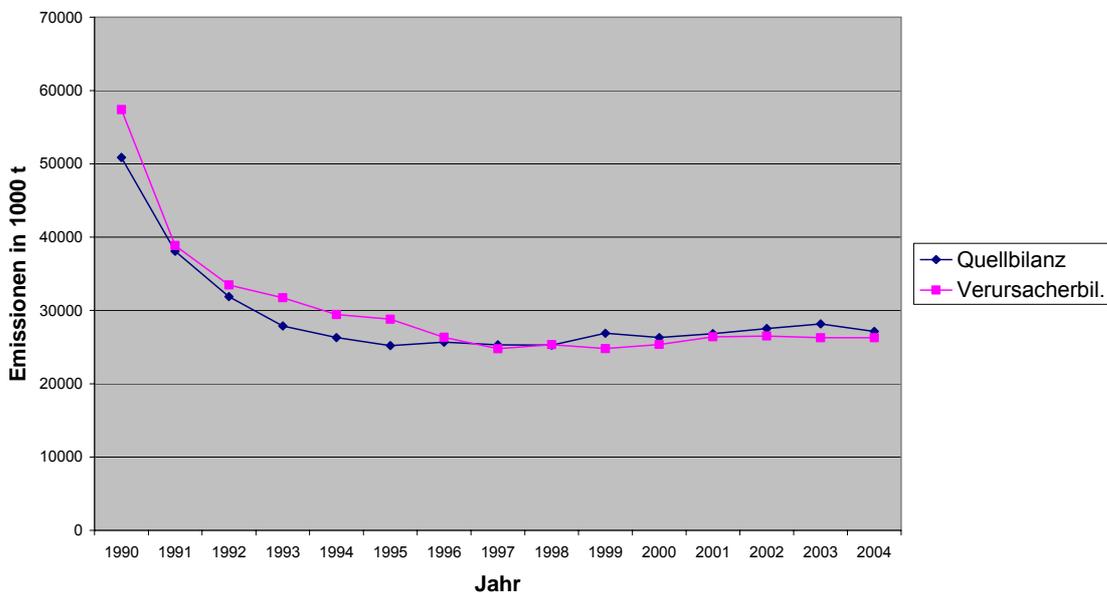


Abb. 1: Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen

### CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch (Quellenbilanz)

Bei der Quellenbilanz handelt es sich um eine auf den Primärenergieverbrauch eines Landes bezogene Darstellung der Emissionen. Unberücksichtigt bleiben dabei die mit dem Importstrom zusammenhängenden Emissionen, dagegen werden die Emissionen, die auf die Erzeugung des exportierten Stroms zurückzuführen sind, in vollem Umfang nachgewiesen. Die Quellenbilanz ermöglicht Aussagen über die Gesamtmenge des im Land emittierten Kohlendioxids.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz)

Bei der Verursacherbilanz handelt es sich um eine auf den Endenergieverbrauch eines Landes bezogene Darstellung der Emissionen. Im Unterschied zur Quellenbilanz werden hierbei die Emissionen der Kraft- und Heizwerke sowie generell des Umwandlungsbereichs nicht als solche ausgewiesen, sondern nach dem Verursacherprinzip den verursachenden Endverbrauchersektoren zugeordnet. Unberücksichtigt bleiben Stromexporte, während Stromimporte berücksichtigt werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromimportes werden mit einem durchschnittlichen Emissionswert der deutschen Stromerzeugung berechnet.

Die unterschiedlichen Kurven in Abb. 1 sind durch die Entwicklung des Stromaustauschsaldo des Landes begründet. Wie Abb. 2 zeigt, war Sachsen-Anhalt nach der Wiedervereinigung ein Land mit geringer eigener Stromerzeugung und hohen Strombezügen. Durch den Aufbau moderner Kraftwerke und Heizkraftwerke

der Energiewirtschaft, der Stadtwerke und Industrie stiegen die eigene Erzeugung und Stromlieferungen an andere Länder an, während die Bezüge aus anderen Ländern kontinuierlich sanken. Seit 2002 kann von einem weitgehend ausgeglichenen Stromaustauschsaldo ausgegangen werden.

Nicht alle Primärenergie gelangt als Endenergie zu den Unternehmen und Verbrauchern. Es müssen der Eigenverbrauch, die Verluste bei der Energieumwandlung und die Herstellung von chemischen Produkten aus Erdöl und Kohle abgezogen werden. Dieser so genannte Umwandlungsbereich hatte im Jahr 2004 einen Anteil von 38 % am Primärenergieverbrauch des Landes und einen Anteil von 54,4 % an den entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Wie Abb. 3 zeigt, steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Umwandlungsbereiches seit 1995 kontinuierlich an und haben 2004 die Emissionen aus dem Endenergieverbrauch überstiegen. Dies ist vor Allem auf den Ausbau der chemischen Industrie im Mitteldeutschen Dreieck und die Produktionssteigerungen der Total-Raffinerie in Leuna zurückzuführen.

Insgesamt stagnierten die Gesamtemissionen in der Mitte der 90-er Jahre, steigen seit 1998 leicht an und haben das Niveau von 1994 (s. Moratorium im Klimaschutzprogramm 1998) überschritten. Die Entwicklung korreliert mit den jährlichen Emissionen je Einwohner, die von 17,6 t/Einwohner im Jahr 1990 auf 9,2 t/Einwohner im Jahr 1995 sanken und 2002 bereits wieder 10,7 t/Einwohner erreicht haben – durch die Bevölkerungsentwicklung verläuft der Anstieg bei den Pro-Kopf-Emissionen steiler.

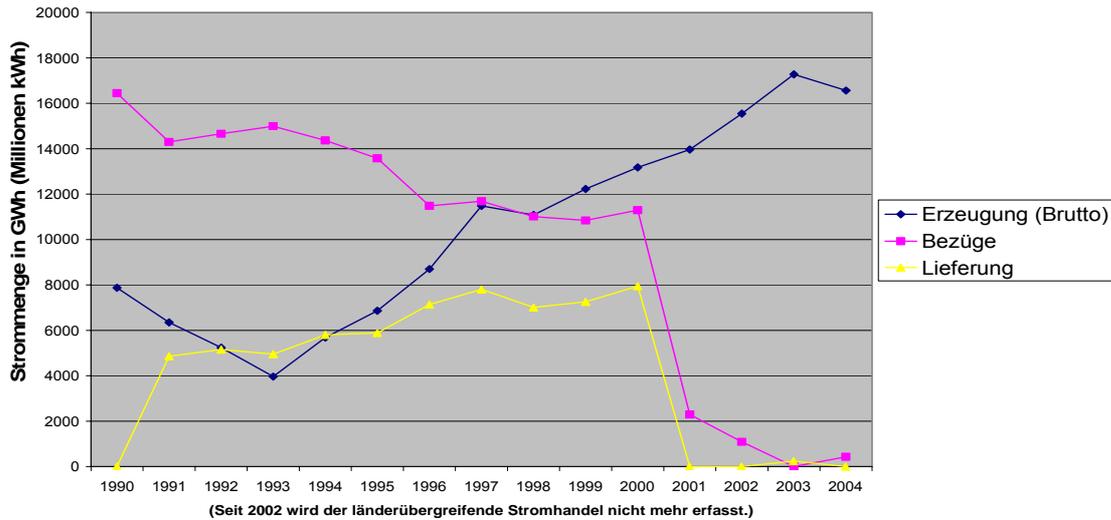


Abb. 2: Entwicklung des Stromaustauschsaldos Sachsen-Anhalt seit 1990

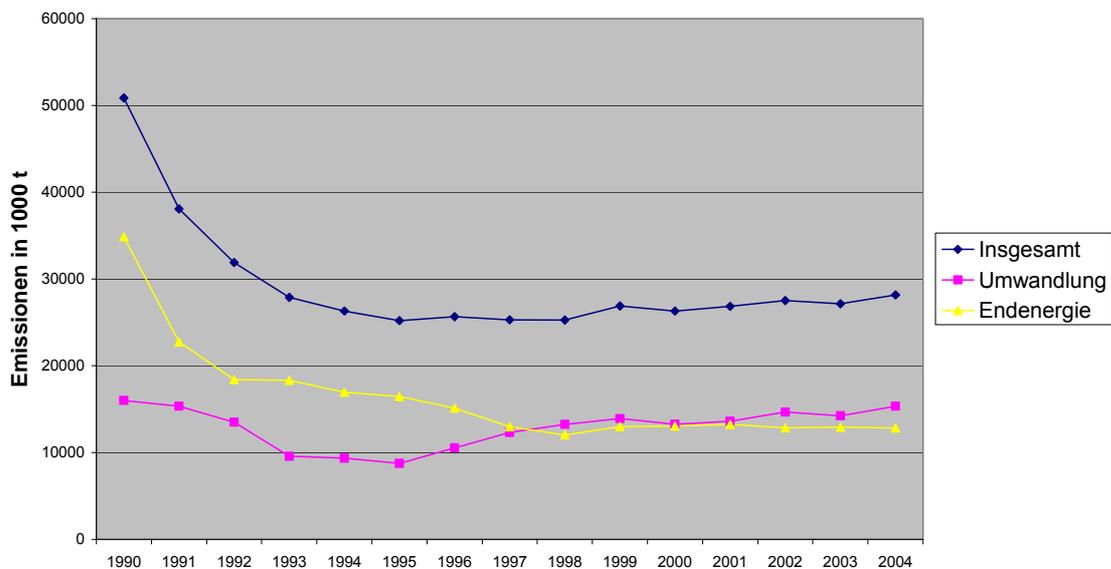


Abb. 3: Entwicklung CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch (Quellenbilanz)

In Abb. 4 werden die sektoralen Entwicklungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verursacherbilanz dargestellt.

Die gesamten Emissionen aus dem Endenergieverbrauch stagnieren seit einigen Jahren, was besonders auf den Ausbau der erneuerbaren Energien im Land zurückzuführen ist. Durch diesen Ausbau wurde in Sachsen-Anhalt von

2001 bis 2004 der emissionsrelevante Verbrauch fossiler Energieträger leicht gesenkt, während der gesamte Energieverbrauch durch den wirtschaftlichen Erholungsprozess anstieg. Man kann also feststellen, dass durch die erneuerbaren Energien das verursacherseitige Emissionsniveau von 1994 (s. Moratorium im Klimaschutzprogramm 1998) auch bei einem wirtschaftlichen Ausbau noch eingehalten werden konnte!

Sektoral betrachtet stiegen die Emissionen der Wirtschaft (verarbeitendes Gewerbe) seit 1997 an, während die Verkehrsemissionen weitgehend stagnierten und die Emissionen des Sektors Haushalte/Gewerbe/Dienstleistungen von 2001 bis 2004 sogar leicht sanken.

Die Entwicklung der Emission der Haushalte könnte durch verstärkte Anstrengungen bei der energetischen Altbausanierung fortgesetzt werden.

Als Fazit kann festgestellt werden, dass die erneuerbaren Energien die wichtigste Stellenschraube des Landes beim Klimaschutz darstellen. Klimaschutzanstrengungen der Wirtschaft, soweit sie überhaupt erkennbar sind, werden durch neue Emittenten mehr als kompensiert, so

dass die Wirtschaft aus den steigenden Anforderungen des europäischen Emissionshandelsystems zukünftig mit höheren Klimaschutzanstrengungen rechnen muss.

Die gegenüber dem Bundesdurchschnitt hohen Pro-Kopf-Emissionen spiegeln die strukturell begründete hohe Energieintensität der heimischen Wirtschaft wieder. Gerade in dem hier signifikanten Bereich der Braunkohleverstromung könnten noch Reserven aus dem Ersatz alter Kraftwerke erschlossen werden, die das Emissionsniveau sowohl im Umwandlungsbereich als auch im Endenergiebereich verbessern würden.

Quelle:

Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt:  
[www.stala.sachsen-anhalt.de](http://www.stala.sachsen-anhalt.de)

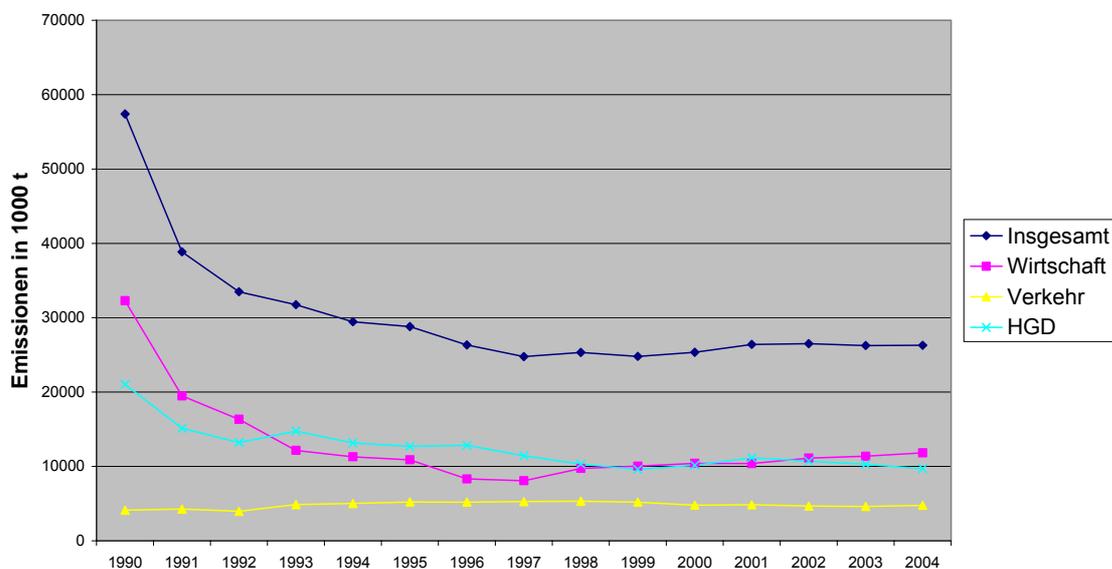


Abb. 4: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz)

Erik Köhler  
 Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt  
 des Landes Sachsen-Anhalt  
 Abt. 3  
 Erik.Koehler@mlu.sachsen-anhalt.de

Dr. Falko Holz und Dr. Matthias Schrödter



Abb. 1: Produktionsfeld Landwirtschaft (nach WUTTIG, 2002)

Landwirtschaft bewegt sich in einem Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie (s. Abb. 1). Wie jeder andere Wirtschaftssektor auch, ist er heute zunächst durch ökonomische Rahmenbedingungen geprägt. Infolge der weiteren Liberalisierung des Agrarmarktes unterliegt die Landwirtschaft Sachsen-Anhalts einem wachsenden Anpassungsdruck und einem damit einhergehenden Strukturwandel. Gleichzeitig erhöhen sich in Europa und speziell in

Deutschland die Anforderungen seitens der Gesellschaft hinsichtlich der Einhaltung von höheren Umweltschutzstandards, um die Folgen unangepasster Landbewirtschaftung zu vermeiden. Denn im Unterschied zu den meisten anderen Wirtschaftszweigen produziert die Landwirtschaft in einem offenen ökologischen System, in einem Agrarökosystem. Sie muss gezielt Einfluss auf den Naturhaushalt nehmen durch Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und

Auswahl der Kulturpflanzen, um somit, ganz profan gesagt, die Nahrungsgrundlage der Menschen zu sichern und Rohstoffe bereitzustellen. Durch die Bewirtschaftung der begrenzten Ressourcen Boden und Wasser ist es immer besser gelungen, die Ernährung von einer wachsenden Zahl Menschen abzusichern. Die Selbstversorgung in Europa ist gesichert. Dies hat aber auch zu einer Beeinflussung des Naturhaushalts und von natürlichen Ressourcen geführt, die in Anbetracht zukünftiger vielfältiger Nutzungsansprüche und der Bewahrung der natürlichen Lebensgrundlagen auf ein von der Gesellschaft akzeptiertes Maß zu beschränken sind.

Die sich abzeichnende Verteuerung fossiler Rohstoffe und deren begrenzte Verfügbarkeit, der fortschreitende Verlust an fruchtbaren Böden, die weiter wachsende Weltbevölkerung und ihre sich verändernden Ernährungsgewohnheiten lassen jetzt schon eine zunehmende Konkurrenz der Anbauflächen für Nahrungsmittel und nachwachsende Rohstoffe erkennen. Langfristig gesehen gehört das Thema Überproduktion der Vergangenheit an.

Die prognostizierten Klimaänderungen werden diese Problematik weiter verschärfen. Schon jetzt ist in weiten Teilen Sachsen-Anhalts das Wasser der limitierende Faktor in der Ertragsbildung der Kulturpflanzen. Die Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Produktion von den bodenklimatischen Bedingungen hat schon immer bestanden und so wird es auch bleiben.

In der Landwirtschaft ist es gängige Praxis, auf der Grundlage von Versuchen und einer anwendungsorientierten Untersuchungs- und Forschungstätigkeit Lösungsansätze zu erarbeiten, zu prüfen und in die Praxis zu überführen.

Als Beispiel seien die Versuchsschwerpunkte

Sortenwahl, Fruchtfolge und wassersparende Anbausysteme der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau genannt, die einen direkten oder indirekten Bezug zum Thema Klimawandel haben.

Die LLFG führt an mehreren Standorten Feldversuche durch. Die Standorte wurden so gewählt, dass die wichtigsten regionalen Unterschiede in den Boden- und Klimabedingungen Sachsen-Anhalts berücksichtigt und ihre Einflüsse bewertet werden können. Die regionale und mehrjährige Prüfung in den Landessortenversuchen erlaubt für die betreffenden Regionen aktuell sehr spezifische Empfehlungen für die wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen zu geben (s. Abb. 2). Diese Repräsentativität ist auf Grund der langen Dauer von ca. 10 bis 15 Jahren für die Züchtung und Prüfung neuer Sorten möglich. Während dieses Zeitraumes erfolgt die Prüfung und Selektion stets unter den jeweiligen natürlichen Bedingungen, egal ob sie sich ändern oder in welche Richtung sie sich ändern. Am Ende steht eine Sorte, die unter den gegebenen Bedingungen ihr Optimum zeigt. So gesehen ist die Züchtung und regionale Prüfung von Sorten ein fortdauernder, autoadaptiver Prozess, der die Veränderungen der äußeren Umweltbedingungen reflektiert und daher stets aktuelle Ergebnisse liefert. Trotz teilweise extremer, witterungsbestimmter Schwankungen der Erntemengen, wie sie sich in der Vergangenheit immer wieder zeigten, konnten Quantität und Qualität der Ernten tendenziell stetig verbessert werden.

Aus Saatzeitversuchen mit Sorten (Früh- bzw. Spätsaaten) lassen sich jene finden, die auf mögliche Änderungen der Vegetationszeit positiv im Sinne des Nutzers reagieren.

## Sortenempfehlung nach Anbaugebieten

D-Nord	
Qualitätsgruppe	Sorte
E	Bussard, Enorm, Akteur, Privileg
A	Tommi, Elvis, Cubus, Tiger, Türkis, Akrotos, Sobi, Toras
B	Dekan, Campari, Terrier, Buteo, Solitär
C	--

Ökoanbau	
E:	Bussard, Capo, Exquisit, Achat, Wenga (vorläufig)
A:	Ludwig, Tiger, Naturastar

Löß-Standorte	
Qualitätsgruppe	Sorte
E	Aron, Akteur, Altos, Enorm, Privileg, SW Maxi,
A	Cubus, Tommi, Elvis, Tiger, Türkis, SW Tataros, Cardos, Meunier, Compliment
B	Drifter, Hybrid, Dekan, Buteo, Solitär
C	Herrmann, Biscay

D-Süd	
Qualitätsgruppe	Sorte
E	Capo
A	Pegassos, Ludwig, Tiger, Cubus, Elvis, Tommi
B	Dekan, Ephoros, Hybrid
C	--

V-Standorte	
Qualitätsgruppe	Sorte
E	Akteur, Aron
A	Elvis, Compliment, Tiger, Cubus, Magnus, Tarso, Batis, Caros, Meunier
B	Drifter, Hybrid, Dekan, Buteo, Solitär
C	Biscay, Herrmann



Abb. 2: Standorte für Landessortenversuche nach Anbaugebieten

Die Aufnahme weiterer Pflanzenarten in dieses regionale Prüfsystem könnte zum Auffinden geeigneter Genotypen führen – beispielsweise die Anbaueignung tropischer Nutzpflanzen zur Energiegewinnung. Wichtigste Voraussetzung ist eine genetische Variabilität, die u. U. erst züchterisch erzeugt und bearbeitet werden muss, sowie die personelle und materielle Absicherung zur Umsetzung solcher Vorhaben.

Zunehmende Bedeutung erlangen wassersparende Anbausysteme. Hierbei sind tragfähige Konzepte für verschiedene Formen der Landwirtschaft zu entwickeln, da die Probleme und damit die Fragestellungen sehr verschieden gelagert sein können. Als ein Ansatz in diese Richtung ist die konservierende Bodenbearbeitung eine zukunftsweisende und -sichernde Weiterentwicklung des Ackerbaus insbesondere auf den trockenen Löß-Standorten. Die auf der Bodenoberfläche verbleibenden oder oberflächennah eingearbeiteten Erntereste bieten einen

verbesserten Verdunstungsschutz. Eine verbesserte Bodenstruktur fördert die Durchwurzelung und erhöht die Infiltration. Den Pflanzen steht dadurch mehr Bodenwasser für die Ertragsbildung zur Verfügung (Abb. 3). Mit der höheren Ertragssicherheit wird auch die Effizienz der Stickstoffdüngung verbessert, wodurch wiederum die Gefahr von Nitrateinträgen in das Grundwasser verringert wird (Abb. 4). Gleichzeitig wird bei der zu erwartenden Zunahme an Starkregenereignissen der Wassererosion entgegengewirkt. Die verbesserte Infiltration trägt zum vorbeugenden Hochwasserschutz bei, da dadurch der Oberflächenabfluss reduziert bzw. zeitlich verzögert wird.

Allerdings birgt das Anbauverfahren auch Risiken hinsichtlich Pflanzenkrankheiten, Schädlingen und Unkrautkonkurrenz. Hier muss teilweise mit verstärktem Pflanzenschutzmitteleinsatz reagiert werden (Abb. 5).

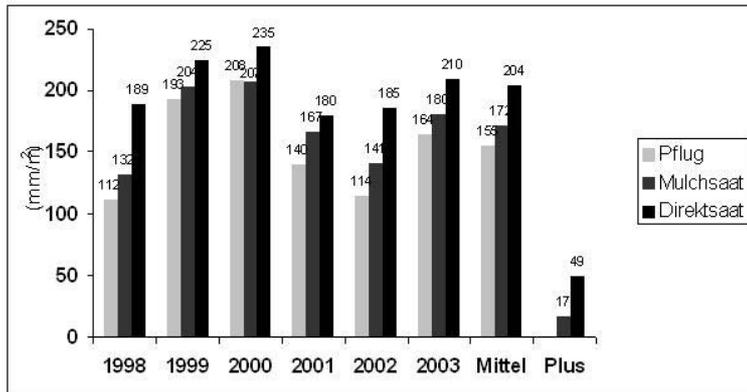


Abb. 3: Pflanzenverfügbares Bodenwasser der Varianten Mulchsaat und Direktsaat im Vergleich zu Pflug (Zuckerrüben kurz vor Reihenschließen)

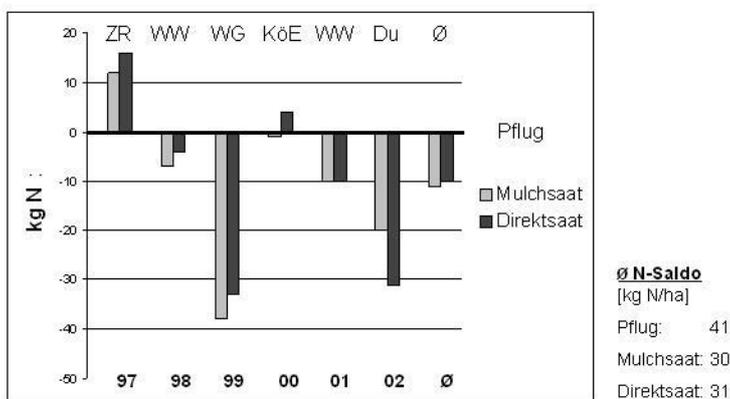


Abb. 4: Abweichungen im N-Saldo der Varianten Mulchsaat und Direktsaat im Vergleich zu Pflug

**Verbesserung der Nährstoffverwertung** (im Mittel der Jahre)

Pflug → 76%      Mulchsaat → 81%      Direktsaat → 80%

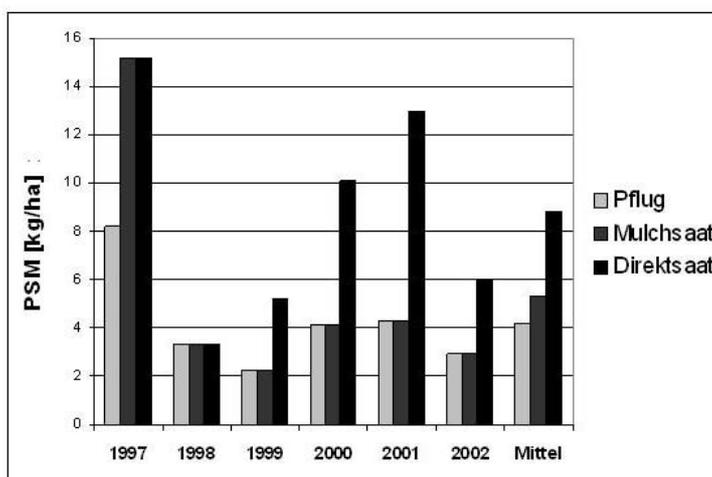


Abb. 5: Vergleich der Varianten Pflug, Mulchsaat und Direktsaat im Pflanzenschutzmittelaufwand

Die Art und Weise der zukünftigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen wird für die Landwirtschaft eine wichtige Rahmenbedingung darstellen. In Abhängigkeit von der Entwicklung der Erzeugerpreise kann die Berechnungswürdigkeit vieler Kulturen zunehmen. Vor allem im Tiefland, wo die Böden oft ein geringeres Wasserspeichervermögen aufweisen, werden neben der Beregnung insbesondere Wasserregulierungsanlagen zum Rückhalt des Wasserabflusses in Trockenperioden wieder an Bedeutung für die Ertragssicherheit gewinnen. Dies ist auch eine wichtige Voraussetzung, damit die Biomasseproduktion eine Planungsgröße für die der Landwirtschaft nachgelagerten Bereiche der Lebensmittelindustrie, verarbeitenden Industrie und Bioenergieerzeuger sein kann. Bei der Aufstellung der Bewirtschaftungspläne für die Flussgebiete nach Wasserrahmenrichtlinie sind solche Erfordernisse verstärkt zu beachten. Die Beispiele zeigen, dass die Fragestellungen vielseitig sind und eine fachgebietsübergreifende Betrachtung erfordern. Nur so können Fehlentwicklungen vermieden werden.

Die Voraussetzungen für die Erarbeitung interdisziplinärer Lösungsansätze sind aufgrund der vorhandenen Potentiale in Wissenschaft, angewandter Forschung und Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt günstig. Es gilt rechtzeitig Anpassungsstrategien zu entwickeln, die es erlauben, auf diese Änderungen zu reagieren, Potentiale zu erkennen und für eine ausgewogene Entwicklung zu nutzen.

Hierbei geht es auch um die Entschärfung von Zielkonflikten. Die sich entwickelnde übergreifende Ressourcenbewirtschaftung muss die Landwirtschaft unter Beachtung ihrer Funktion und Besonderheiten integrieren und den notwendigen Interessenausgleich herstellen.

Dr. Falko Holtz und Dr. Matthias Schrödter  
Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und  
Gartenbau

E-Mail: [Falko.Holtz@llg.mlu.sachsen-anhalt.de](mailto:Falko.Holtz@llg.mlu.sachsen-anhalt.de)  
[Matthias.Schroedter@llg.mlu.sachsen-anhalt.de](mailto:Matthias.Schroedter@llg.mlu.sachsen-anhalt.de)

## **Bodenkundliche Datengrundlagen für die Prognose und Bewertung der Folgen von Klimaveränderungen**

Dr. Dieter Feldhaus

### **1 Vorbemerkung**

Klima, Boden und Vegetation stehen in einem engen Wechselverhältnis. Die Bodennutzung des Menschen reagiert auf diese Zusammenhänge. D. h. die Sortenwahl, zu erwartende Erträge, ackerbauliche Maßnahmen sind nicht beliebig wählbar, sondern aufbauend auf langjährige Erfahrungen abgestimmt mit den Standortbedingungen, die sich aus Klima und Boden ergeben. Verändert sich eine der Einflussgrößen, wird dies Folgen für die anderen haben. Diese Folgen sind nur darstellbar, wenn man Modelle anwendet, die eine Vielzahl von Einflussgrößen berücksichtigt. Derartige Modelle sind verfügbar und werden in der Land- und Wasserwirtschaft angewandt. In diesen Modellen wird erkennbar, welche Bedeutung die Funktionen des Bodens für die Folgen der Klimaänderungen haben. Nur unter differenzierter Berücksichtigung des Bodens sind Folgen für die Landnutzung und Grund- und Oberflächengewässer sicher zu beschreiben und die Wirkung von Maßnahmen oder Reaktionen der Menschen abschätzbar.

Der Boden wird sich unter den veränderten Bedingungen ebenfalls verändern, was jedoch innerhalb eines voraussichtlichen Betrachtungszeitraums nur einzelne Aspekte und kleinräumige Flächen betrifft und hier nicht weiter betrachtet wird.

### **2 Bodenkundliche Daten und Informationsgrundlagen**

In Weiterentwicklung der klassischen Bodenkarte und als Reaktion auf Anforderungen, die aus der Modellierung von Bodenfunktionen resultieren, wurden im Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB) Parametersätze entwickelt, mit denen die Bodeneinheiten der Karte gekennzeichnet werden (Hartmann 2006). Für das Leitprofil einer Kartiereinheit der Bodenkarten können Parameter für jeden Horizont bereitgestellt werden. Die Parameter wurden so ausgewählt, dass sie den Anforderungen der wesentlichen, bekannten Modelle entsprechen. Über die Bodendatensätze zur Vorläufigen Bodenkarte Sachsen-Anhalts im Maßstab 1:50.000 wird im Internet informiert ([http://www1.mw.sachsen-anhalt.de/gla/daten/gis/boden/vbk50\\_karte.htm#](http://www1.mw.sachsen-anhalt.de/gla/daten/gis/boden/vbk50_karte.htm#)). Abb.1 zeigt stark schematisiert, wie Bodendaten in Datenbanken kombiniert und verrechnet und mit dem Bezug zu Flächen bereitgestellt werden können.

Unter Einbeziehung weiterer Informationen, wie Relief und Klima, können Bodenfunktionen beschrieben und bewertet werden (HELBIG 2006). Die in HARTMANN und HELBIG (2006) dargestellten Parameter- und Funktionskarten sind Beispiele für die Möglichkeiten der Bereitstellung von Daten und Informationen. Für aktuelle Vor-

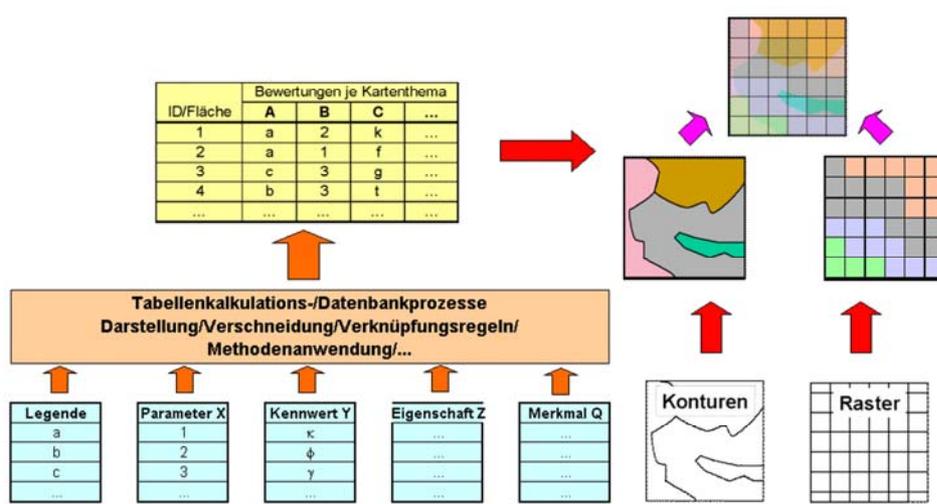


Abb. 2: Ablauf der Entwicklung thematischer bodenkundlicher Informationen (Forker, Hartmann & Feldhaus 2006)

Verschiedene Eingangsinformationen liegen in Tabellen vor. Eine eindeutige Identifikationsnummer (ID) stellt den Bezug zu Konturen und Rastern her. Mit Hilfe von Datenbankprozessen werden die Grundlagen nach definierten Regeln und Methoden miteinander verarbeitet. Die Ergebnisse liegen ebenfalls in Tabellenform vor und können in den jeweils zugehörigen Konturen als Karte dargestellt werden. Bei der Verarbeitung unterschiedlicher räumlicher Grundlagen können neue Konturen entstehen.

haben sind der Datenbedarf und die aktuelle Verfügbarkeit jeweils abzustimmen.

Folgen eines Klimawandels haben Einfluss auf die Bodennutzung und den Wasserhaushalt.

- Bei der Bodennutzung werden durch die Interaktion von Bodeneigenschaften mit Niederschlagsmenge und -verteilung die Ertragsfähigkeit und die Anbaueignung beeinflusst.
- Der Wasserhaushalt wird in verschiedener Komplexität beeinflusst.
  - Unmittelbar ist der Bodenwasserhaushalt betroffen, der sich aus Niederschlagsmenge und -verteilung, Speicherkapazität des Bodens und Evapotranspiration von Bodenoberfläche und Vegetation ergibt.
  - Aus dem Bodenwasserhaushalt ergibt sich die Grundwasserneubildung aus der Bodenzone, die in unterschiedlichem Maße das eigentliche Grundwasser speist oder oberflächennah Oberflächengewässern zufließt.

- In Abhängigkeit von der Menge und der Aufteilung der Grundwasserneubildung wird die Wasserführung von Oberflächengewässern und die Nutzbarkeit des Grundwassers beeinflusst.

- Die Grundwasserneubildung beeinflusst die Grundwasserstände. Grundwasserbeeinflusste Böden können damit durch klimabedingte Veränderungen der Grundwasserstände in ihren Eigenschaften für die Flächennutzung verändert werden.

Aus der hier nur unvollständigen Aufzählung von Aspekten, die in den Folgen des Klimawandels durch Bodeneigenschaften beeinflusst werden, ist die zentrale Stellung von Bodeninformationen erkennbar. Für die Darstellung der Prozesse existieren Modelle, die auf der Grundlage des Bodenwasserhaushaltes Pflanzenerträge und Grundwasserneubildung quantifizieren. Durch die Koppelung mit Grundwassermodellen wird auch der Gebietswasserhaushalt (Grund- und

Oberflächengewässerdynamik) dargestellt. Damit sind dann auch Rückschlüsse auf die Veränderungen in grundwasserbeeinflussten Böden möglich.

Für zurückliegende Witterungsreihen für Räume in Sachsen-Anhalt verifizierte Modelle (Bodenwasserhaushalt: ArcEGMO<sup>1</sup>, Grundwasser: GEOFIM<sup>2</sup>) könnten mit den aus Klimaszenarien resultierenden Witterungsreihen zur Darstellung klimabedingter Konsequenzen für die Bodennutzung und die Wasserressourcen des Landes genutzt werden.

#### 4 Literatur

**FORKER, A., HARTMANN, K.-J., & D. FELDHAUS (2006):** Zielstellung und Einführung. In: Bodenbericht 2006. - Mitt. Geol. u. Bergwesen Sachsen-Anhalt, H. 11, S. 7-10

**HARTMANN, K.-J. (2006):** Bodenkundliche Basisinformationen. In: Bodenbericht 2006. - Mitt. Geol. u. Bergwesen Sachsen-Anhalt, H. 11, S. 71-88

**HARTMANN, K.-J., & H. HELBIG (2006):** Bodenkundliche Basiskarten und thematische Bodenkarten. In: Bodenbericht 2006. - Mitt. Geol. u. Bergwesen Sachsen-Anhalt, H. 11, S. 95-98

**HELBIG, H. (2006):** Methodik der Bewertung von Bodenfunktionen und Bodengefährdungen. In: Bodenbericht 2006. - Mitt. Geol. u. Bergwesen Sachsen-Anhalt, H. 11, S. 89-94

Dr. Dieter Feldhaus  
Landesamt für Geologie und Bergwesen  
Sachsen-Anhalt  
E-Mail: feldhaus@lagb.mw.sachsen-anhalt.de

---

<sup>1</sup> <http://www.bah-berlin.de/>

<sup>2</sup> <http://www.ibgw-leipzig.de/>

Die Ergebnisse des Workshops „Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Sachstand und Handlungsfelder“ vom 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in Halle (Saale) wurden in folgenden Thesen zusammengefasst:

Der Klimawandel hat schon begonnen - im Land Sachsen-Anhalt liegt eine besondere Vulnerabilität vor.

Neue Modellergebnisse für Klimaprojektionen bis zum Jahr 2100 liegen vor bzw. stehen kurz vor der Veröffentlichung (REMO, WETTREG). Eine detaillierte Auswertung des Datenpools für den mitteldeutschen Raum ist notwendig, auch wegen der regionalen Besonderheiten des Klimas. Dieses sollte in Länderkooperation mit Sachsen, Thüringen, Brandenburg u.a. in gemeinsamen Projekten erfolgen, damit von gleichen Szenarien und Randbedingungen ausgegangen wird.

Erste Projekte zur Klimafolgenforschung liegen vor. Anpassungsstrategien an den Klimawandel sind in allen betroffenen Bereichen zu entwickeln.

Ein **Forschungs- und Handlungsbedarf für Sachsen-Anhalt** konnte für folgende Themenfelder identifiziert werden:

Im Bereich **Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft** stehen folgende Fragen im Vordergrund: Untersuchungen zur Veränderung der Grundwasserneubildung, zur Sicherung der Wasserversorgung (auch im Hinblick auf Bewässerung),

da Versickerungsraten zurückgehen werden, zur Entstehung von Hochwasserereignissen (aufgrund des Anstiegs der Niederschläge im Harz und Harzvorland und an den großen Flüssen) und zur Auswertung von Trockenperioden (Rückgang der Niederschläge vor allem in ohnehin schon niederschlagsarmen Gebieten).

Im Bereich **Vegetationsentwicklung** geht es um: Untersuchungen zu Veränderungen der natürlichen Artenzusammensetzung.

Im Bereich **Landwirtschaft/Bodennutzung**: Untersuchungen zur Anpassung an zunehmende Sommertrockenheit (Bewässerung; neue Kulturen; wassersparende Anbausysteme), zur Einrichtung von Poldern und Deichrückverlegung durch Flurneuordnung, zu Veränderungen grundwasserbeeinflusster Böden (Datengrundlagen kann das LAGB und der LHW zur Verfügung stellen), (Positive Beiträge: Anbau nachwachsender Rohstoffe, Biogasanlagen).

Im Bereich der **Forstwirtschaft**: Untersuchungen zu Änderungen in der Baumartenzusammensetzung, zur Vitalität der Bestände, zur Zunahme der Waldschäden.

Im Bereich **Arten – Lebensgemeinschaften – Ökosysteme**: Untersuchungen zu negativen Auswirkungen auf Feuchtgebiete, den Naturschutz, u.a. Sicherung des Netzes Natura 2000. In Bezug auf **Extremereignisse** – Trockenperioden/Hochwasserereignisse geht es u.a. darum, Siedlungsstrukturen anzupassen.

## **Impressum**

ISSN 1619-4071

Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. - Halle (2007) Sonderheft 1:

### **Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt – Sachstand und Handlungsfelder -**

Workshop am 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle

Herausgeber und Bezug: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, PSF 200 841,  
06009 Halle, Sitz: Reideburger Str. 47, 06116 Halle, Telefon (0345) 5704 0  
E-mail: [Gloria.Dornack@lau.mlu.sachsen-anhalt.de](mailto:Gloria.Dornack@lau.mlu.sachsen-anhalt.de)

Veranstalter: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Titelfoto: Dr. Ilka Fabig

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.

Juni 2007

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.