

Texte

25
08

ISSN
1862-4804

UBA-Workshop

**"Böden im Klimawandel -
Was tun?!"**

am 22./23. Januar 2008

**Umwelt
Bundes
Amt**



Für Mensch und Umwelt



UBA-Workshop

„Böden im Klimawandel – Was tun?!“

am 22./23. Januar 2008

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Die im UBA-Text geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 2.7
Nancy Schönemann
Jeannette Mathews
Petra Henneberg

Dessau-Roßlau, Juli 2008

Vorwort

Vom 22. bis zum 23. Januar 2008 fand im Umweltbundesamt in Dessau ein Workshop zum Thema „Böden im Klimawandel – Was tun?!“ statt.

Die Bundesregierung erarbeitet zurzeit ein Konzept zur Anpassung an den Klimawandel in Deutschland. Mit dem Beschluss der Sonder-Umweltministerkonferenz "Klimawandel und Konsequenzen" am 22. März 2007 in Düsseldorf, haben Bund und Länder gemeinsam die Notwendigkeit für die Erarbeitung einer entsprechenden Strategie betont. Bis November 2008 soll ein erster Bericht zur "Deutschen Strategie zu Klimafolgen und Anpassung an Klimaänderungen" (DAS) beim Bundeskabinett vorliegen. Als federführendes Ressort der Bundesregierung, hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), im letzten Jahr einen Fragenkatalog konzipiert. Dieser dient der Bestandsaufnahme zu den auf Bundes- und Länderebene bestehenden oder geplanten Konzepten und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.

Unser Workshop setzte sich mit der „Deutschen Strategie zu Klimafolgen und Anpassung an Klimaänderungen“ (DAS) unter dem Blickwinkel des Bodenschutzes auseinander. In Anlehnung an den DAS-Fragenkatalog wurden folgende Fragestellungen erörtert:

- Wie sehen die Folgen des Klimawandels auf die Böden aus?
- Welche Rolle spielen Böden im Klimageschehen?
- Liegen bereits konkrete Maßnahmen bzw. Anpassungsstrategien zum Umgang mit Böden im Klimawandel vor?
- Auf welchen Wissensfundus können wir aufbauen?
- Welche Informationen werden benötigt, um zu konkreten Aussagen zu kommen?
- Wo wird Handlungsbedarf beim Umgang mit Böden im Klimawandel gesehen?
- Lassen sich Planungs- und Leitziele für den Boden im Rahmen der Klimadiskussion definieren?
- Wo werden die zukünftigen Forschungsschwerpunkte gesehen?
- Wo werden Schnittstellen zu anderen Bereichen gesehen?
- Welche Rolle sollen Böden zukünftig in der Klimadiskussion einnehmen?

Die mehr als 160 Workshop-Teilnehmer diskutierten diese Fragestellungen am 1. Workshop-tag in vier inhaltlich unterschiedlich ausgerichteten Gesprächsforen:

Forum I.	Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Böden
Forum II.	Einfluss des Bodens auf das Klimageschehen
Forum III.	Wirkungen des verstärkten Anbaus von Biomasse auf Böden
Forum IV.	Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien zum Thema: Böden im Klimawandel

Fachliche Grundlage bildeten themenbezogene Fachvorträge.

Am 2. Workshoptag stand die Frage im Vordergrund, wie die Instrumente des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung verstärkt in die Klimaforschung eingebracht werden können. Die Diskussion basierte auf Vorträgen zur Arbeit auf den Bodendauerbeobachtungsflächen, bei den Dauerfeldversuchen, bei der Bodenzustandserhebung (BZE II) Wald, im CarboEurope-Projekt und bei der Bodenschätzung. In weiteren Referaten legten die BTU Cottbus (der Lehrstuhl Umweltmeteorologie) und das Forschungszentrum Karlsruhe (Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) ihre Anforderungen an Bodenparameter dar, um belastbare Aussagen in der Klimamodellierung herleiten zu können.

Im Nachgang zum Workshop hat das UBA die Ergebnisse der zweitägigen Workshopdiskussion in Form von Thesenpapieren ins Internet gestellt (Webseiten des Umweltbundesamtes). Als Resultat der nachfolgenden dreimonatigen Online-Abstimmung (Anfang Februar 2008 bis Ende April 2008) liegen Dank des fachlichen Engagements und der großen Unterstützung der Workshopteilnehmer zu vielen Fragestellungen fachlich fundierte Statements vor. Diese sind auf den Webseiten des UBA (<http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/index.htm>) sowie im vorliegenden Tagungsband einsehbar.

Als ein wesentliches Fazit zum Thema: „Folgen des Klimawandels auf die Böden“ können wir im Ergebnis der Online-Abstimmung folgende Kernaussagen zusammenfassen:

- Die Klimawirkung auf Böden ist unbestritten. Das Klima beeinflusst sämtliche Bodenprozesse und damit auch die Bodengenese maßgeblich.
- Klimaänderungen lassen folgende einschneidende Änderungen für das Umweltkompartiment Boden erwarten:
 - Veränderungen des Stoffumsatzes im Boden,
 - Veränderung der Abbauleistungen für Schadstoffe,
 - partiell veränderte Austragsverhältnisse von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer und das Grundwasser,
 - veränderte Nährstoffverfügbarkeit,
 - Dürreschäden,
 - Umbau der Bodenlebensgemeinschaften,
 - Veränderung der organischen Substanz im Boden (nach Menge, Zonierung und Beschaffenheit)
- Weiterhin müssen wir davon ausgehen, dass es durch Erosion und Versalzung zu quantitativen Verlusten bzw. zu Gebrauchswertminderungen der Ressource Boden kommt.
- Eine Erhöhung der mittleren Temperatur und eine veränderte Verteilung von Niederschlägen wird sich auf den Wasserhaushalt, den Stofftransport und den Stoffumsatz in Böden auswirken, wodurch wesentliche primäre Bodenfunktionen (Pflanzenproduktion, Filter für Kontaminanten, Kohlenstoffspeicher) betroffen sind bzw. beeinträchtigt werden.
- Die zu erwartenden Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen führen zu Einschränkungen der Nutzungsfunktionen des Bodens (→ Auswirkungen auf die Flächen für Siedlung und Verkehr, die Standorte für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen und die Standorte für wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen).
- Die Konsequenzen für Land-, Forst- und Wasserwirtschaft und Biodiversität resultieren aus den Wechselwirkungen von Boden und Klima. Demzufolge müssen Strategien und Maßnahmen zur Klimaanpassung auch Ziele zum Schutz der Böden umfassen.
- Gegenwärtig sind nur qualitative Aussagen zu den Folgen des Klimawandels auf Böden möglich. Die Komplexität des Systems Boden mit vielen internen Regelkreisen und Rückkopplungsmechanismen erschwert quantitative Voraussagen bzw. führt zu großen Unsicherheiten in der Vorhersage. Hier stellen die Instrumente der Bodenzustandserhebung und des Bodenmonitorings, wie die Dauerfeldversuche, die Bodendauerbeobachtung (BDF), die Bodenzustandserhebung (BZE) Wald und die Daten der Bodenschätzung unerlässliche Datengrundlagen für die Klimawirkungs- und Klimaanpassungsforschung dar. Auf ihrer Grundlage sind Aussagen zu langfristigen Prozessen im Boden möglich.

Anhand der Dauerfeldversuche können beispielsweise Angaben zur Entwicklung der organischen Bodensubstanz unter verschiedenen Boden- und Klimabedingungen bei differenzierter Intensität der Bodennutzung getroffen werden (siehe Beitrag von Herrn Prof. Dr. Ellmer, Humboldt Universität Berlin). Bodenschätzungskarten geben Auskunft über die (aktuelle) Flächennutzung - über die Nutzungsartenverteilung zwischen Ackerland, Grünland, Wald und sonstigen Flächen. Daraus können Rückschlüsse auf bestimmte Stoffumsätze - beispielsweise klimarelevanter Gase – in einem Gebiet gezogen werden (Vortrag von Herrn Rötcher).

In der Abschlussdiskussion des Workshops wurde deutlich, dass zur Steigerung der Effizienz dieser Versuche und Monitoringaktivitäten, eine verstärkte Zusammenarbeit zwingend erforderlich ist. Die gegenwärtige Zersplitterung muss überwunden werden. Weiterhin sind verstärkte Aktivitäten notwendig, um den Zugang und die Verfügbarkeit der Daten zu verbessern.

Böden sind nicht nur vom Klimawandel betroffen. Der Workshop und die Ergebnisse der nachfolgenden Online-Abstimmung der Dokumente zum DAS-Fragenkatalog zeigten, dass Böden auch eine aktive, bestimmende Rolle im Klimageschehen spielen. Sie enthalten den größten terrestrischen Pool an organo-mineralischen Komplexen und puffern auf diese Weise wesentlich die Konzentration klimarelevanter Gase (siehe Statement zu Frage I.2 – Welche Rolle spielen Böden im Klimageschehen). Die Stabilität der organo-mineralischen Komplexe ist nicht konstant. Klimaveränderungen oder indirekte Auswirkungen durch veränderte Landnutzungen können eine zusätzliche Erhöhung von CO₂-Ausstößen in die Atmosphäre bewirken. Vor diesem Hintergrund sollte der Beitrag des Bodens zum Klima in der zukünftigen Klimadiskussion eine entsprechende Berücksichtigung finden.

Als ein erstes positives Ergebnis des UBA-Workshops und der Anstrengungen der Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) ist die Tatsache zu werten, dass der Bodenschutz seit März 2008 als ein weiteres wichtiges Handlungsfeld in die Dokumente zur DAS aufgenommen wurde (siehe hierzu den Beitrag von Frau Mahrenholz zum Thema: Arbeiten an der Nationalen Strategie zur Klimaanpassung).

Auch wenn fachlicher Konsens über die Klimawirkungen auf die Böden besteht, stehen wir bei vielen fachlichen Fragestellungen noch am Anfang der Diskussion und inhaltlichen Auseinandersetzung. Dies zeigen die zu den einzelnen Statements aufgeführten Kommentare, Fragen und Anmerkungen. Als zukünftige Forschungsschwerpunkte wurden zum Beispiel: Untersuchungen über die Reaktion der Gesamtheit der im Boden lebenden Organismen auf den Klimawandel; über die Wirkungen des Anbaus biogener Rohstoffe auf die Biodiversität sowie zur gezielten N-Applikation in Böden ausgewiesen (siehe Statement zur Frage III.4: Wo werden die zukünftigen Forschungsschwerpunkte zum Thema: Böden im Klimawandel gesehen?). Diese und weitere Kenntnislücken können nur durch gemeinsame Anstrengungen geschlossen werden.

Die Arbeit an der Anpassungsstrategie ist als ein langfristiger und iterativer Prozess angelegt. Der für November 2008 vorgesehene Kabinettsbericht zur Nationalen Anpassungsstrategie stellt einen ersten wichtigen Zwischenschritt dar. Die weitere Fortschreibung der Dokumente ist nur auf Grundlage eines sich stetig weiterentwickelnden Wissens möglich. Dieser Sachverhalt stellt alle im Bodenschutz engagierten Mitstreiter vor die Aufgabe, vorhandene Wissenslücken zu füllen, offene Fragen zu diskutieren und gemeinsame Lösungsansätze zu erarbeiten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine Forderung aus dem UBA-Workshop, die Schutzziele und Anpassungsstrategien zukünftig nicht nur innerhalb der einzelnen Fachressorts zu diskutieren, sondern mit anderen Akteuren (Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, dem Naturschutz) zu kommunizieren und abzustimmen, um Zielkonflikte zu vermeiden.

In Sachsen-Anhalt wird diese Forderung bereits in der praktischen Arbeit umgesetzt. Der Informationsaustausch zu den Themenbereichen Klimawandel und Klimafolgen findet seit 2007 in einer ressortübergreifenden Arbeitsgruppe „Klimawandel“ statt. Die Arbeitsergebnisse stehen allen Akteuren zur Verfügung (siehe Beitrag von Herrn Dr. Feldhaus, LAGB Sachsen-Anhalt).

Der vorliegende Tagungsband enthält die Manuskripte der einzelnen Fachvorträge in unkommentierter Form. Weiterhin sind die Ergebnisse der Online-Abstimmung zum DAS-Fragenkatalog dokumentiert.

Wir bedanken uns hiermit bei allen Referenten für die interessanten Diskussionsbeiträge und den Workshopteilnehmern für die offene diskussionsfreudige Atmosphäre im Workshop und während der dreimonatigen Online-Abstimmung der Papiere zum DAS-Fragenkatalog.

Jeannette Mathews
Umweltbundesamt
FG II 2.7

Zitat

*Wir sind nicht nur verantwortlich für das, was wir tun,
sondern auch für das, was wir nicht tun.*

Moliere, Dramatiker (1622—1673)

Bund und Länder haben beschlossen, bis Ende 2008 eine "Deutsche Strategie zu Klimafolgen und Anpassung an Klimaänderungen" zu erarbeiten. Zur fachlichen Unterstützung der Arbeiten an der Nationalen Anpassungsstrategie an Klimaänderungen setzt sich der Workshop mit folgenden Fragen auseinander:

- ◆ Wie sehen die Folgen des Klimawandels auf die Böden aus?
- ◆ Welche Maßnahmen bzw. Anpassungsstrategien sind notwendig, um Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Ressource Boden so gering wie möglich zu halten?
- ◆ Welche Rolle spielen Böden im Klimageschehen?
- ◆ Welche Rolle sollen Böden zukünftig in der Klimadiskussion einnehmen?
- ◆ Auf welchen Wissensfundus können wir aufbauen?
- ◆ Wo wird Handlungsbedarf gesehen?
- ◆ Wie können wir uns aktiv in die Klimaforschung einbringen?
Welche Instrumente stehen aus Sicht des Bodenschutzes zur Verfügung?

Zur Beantwortung dieser Fragen sind folgende vier Diskussionsforen mit anschließender Ergebnispräsentation vorgesehen:

- Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Böden
- Einfluss des Bodens auf das Klimageschehen
- Wirkungen des verstärkten Anbaus von Biomasse auf Böden
- Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien zum Thema: Böden im Klimawandel

Zielgruppe

Die Veranstaltung richtet sich an Umweltbehörden und Verwaltungen des Bundes und der Länder, Verbände, Fachgremien und Forschungseinrichtungen.

Posterausstellung

Poster zum Thema können nach Rücksprache mit dem Tagungsbüro gern ausgestellt werden.

Anmeldung & Tagungsbüro

Anmeldungen per Fax bzw. Mail an das Tagungsbüro.
Anmeldeschluss: **10. Januar 2008** an.

Anmeldeformular unter:

<http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/veranstaltungen/index.htm>

Tagungsbüro:

Frau Nancy Schönemann
Umweltbundesamt, AbtSek II 2
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
Tel : 0340 / 2103 - 3586
Fax : 0340 / 2104 - 3587
Email : nancy.schoenemann@uba.de

Anreise - Informationen



Detaillierte Beschreibung des Anfahrtsweges im Internet unter:
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info/dessau.pdf>

Tagungsgebühr

Die Veranstaltung ist kostenlos.

Für die Pausenversorgung (Mittagsimbiss, Kuchen und Gebäck) während des Workshops, bitten wir um die Entrichtung einer Gebühr von 10,-€ am Empfang.

Für die Abendveranstaltungen fallen gesonderte Gebühren an.

Hotel - Reservierung

Mit den folgenden Hotels wurden Sonderkonditionen für die Übernachtung vereinbart.

NH-Hotel: Übernachtungspreis (incl. Frühstück): 64,-€
Telefon : 0340 / 25 14 - 0
Email : reservation.nhdessau@nh-hotels.com
Letzter Anmeldetermin: 11. Januar 2008
Kennwort: "Böden im Klimawandel"

Dormotel Parkhotel Dessau: Übernachtungspreis (incl. Frühstück): 49,-€ (geeignet bei der Anreise mit PKW)
Telefon : 0340 / 21 00 - 0
Email : info@dormotel-dessau.de
Letzter Anmeldetermin: 11. Januar 2008
Kennwort: "Böden im Klimawandel"

Tourist-Information Dessau-Roßlau: <http://www.dessau.de>
(Sonderkonditionen für Hotels, Pensionen und Privatzimmer)
Tel: 0340 / 194 33



**UBA-WORKSHOP
BÖDEN IM KLIMAWANDEL
- WAS TUN ?!**

Ankündigung

22./ 23. JANUAR 2008

**Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
D-06844 Dessau**

22. Januar 2008

- Moderation: Herr Dr. F. Glante; UBA FG II 2.7
- 11.00 Begrüßung: Herr Dr. T. Rummler, BMU, WA II
- 11.15 Arbeiten an der Nationalen Strategie zur Klimaanpassung
Frau P. Mahrenholz; UBA, FG I 4.1
- 11.40 Einleitung
Frau J. Mathews; UBA, FG II 2.7
- 12.00 **Mittagspause**
- 13.00 - 15:30 Parallel stattfindende Foren mit Impulsvorträgen und einer abschließender Diskussion zu folgenden Aspekten:
Betroffenheit der Böden durch Klimawandel? (Wie konkret sind Aussagen möglich?), Wo besteht Handlungsbedarf? Liegen konkrete Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien vor? Forschungsbedarf?

Forum I. Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Böden

Moderation: Frau Dr. A. Beste; Büro für Bodenschutz & Ökologische Agrarkultur
Forumssprecher: Prof. Dr. H.-C. Fründ; FH Osnabrück

- Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen
Herr Dr. T. Kamp, Institut für Biodiversität, Regensburg
- Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt (Erste Ergebnisse aus dem Vorhaben Szenarien mit ArcEGMO-PSCN):
Herr Dr. A. Bräunig, LfUG Sachsen
Frau Dr. B. Klöcking, Büro für Angewandte Hydrologie
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen
Frau T. Wixwat, Herr H. Röhm; LBEG, Hannover
- Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Phosphat- und Stickstoff-Austräge schleswig-holsteinischer Böden
Herr A. Rinker, Frau F. Deunert, Herr Prof. Dr. W. Schröder; Hochschule Vechta, Lehrstuhl für Landschaftsökologie
- Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Boden-erosion durch Wasser in Bayern,
Herr R. Rippel, LfL Bayern

Forum II. Einfluss des Bodens auf das Klimageschehen

Moderation: Herr Dr. H. Jungkunst; Universität Göttingen
Forumssprecher: Herr Dr. D. Schulz, UBA FG II 2.8

- Freisetzung bzw. Verbrauch / Festlegung klimarelevanter Spurengase in Böden und Vermeidungsoptionen
Herr Dr. R. Ruser, Institut für Biodiversität, Regensburg
- Emission klimarelevanter Gase (CO₂, CH₄, N₂O) und die zugrundeliegenden Prozesse im Boden (Arbeitstitel); Herr Prof. C. F. Stange, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Halle/Saale

15.30

16.30

17.30 -
18.00

22. Januar 2008

- Bewertung von Bewirtschaftungsstrategien zur CO₂-Bindung in Böden;
Herr N. Billen, Frau E. Angenendt; Universität Hohenheim
- Untersuchungen zu den Wechselbeziehungen Boden - Klima im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen (Schwerpunkt: Treibhausgasfreisetzung organischer Böden);
Herr Dr. Heinrich Höper; LBEG Niedersachsen; Bremen

Forum III. Wirkungen des verstärkten Anbaus von Biomasse auf Böden

Moderation: Frau K. Choudhury; ibn Regensburg
Forumssprecher: Herr T. Breitschuh; VAFB Thüringen, Jena

- Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt von UBA / BMU „Böden im Klimawandel - eine Bestandsaufnahme und erste Anpassungsstrategien“
Frau K. Choudhury; Institut für Biodiversität, Regensburg
- Positionspapier der KBU
Herr Dr. P. Dominik, Geschäftsstelle KBU
- LABO-LAWA — Positionspapier "Aspekte des Gewässer- und Bodenschutzes bei der Bioenergienutzung durch Nachwachsende Rohstoffe"
Frau I. Dahlmann, LABO-Geschäftsstelle
- Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzungswandel auf die Biodiversität
Herr M. Lange, Universität Hannover, Institut für Umweltplanung

Forum IV. Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien zum Thema: Böden im Klimawandel

Moderation: Herr B. Hain; UBA FG I 4.1
Forumssprecher: Herr Gerdt; ELSA e.V.

- Rheinland-Pfalz: Herr Dr. J. Backes; Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
- Interaktion und Synergien zwischen der Klimafolgen-schätzung und laufenden Programmen und Analysen in Sachsen-Anhalt;
Herr Dr. D. Feldhaus; LAGB Sachsen-Anhalt
- Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz: KLIWA-Projekt "Einfluss regional zunehmender Starkregenereignisse auf die Bodenerosionsgefährdung" (Arbeitstitel)
Herr R. Kohl, LUBW Baden-Württemberg;
Herr Dr. Dreher; UM Baden-Württemberg
- Nationale Biodiv-Strategie - Ziele und Handlungsfelder mit Bezug zum Boden;
Herr M. Herbert, BfN, Außenstelle Leipzig, Abt. Landschaftsplanung und Landschaftsgestaltung

Kaffeepause & Ortswechsel zurück in den Hörsaal

Ergebnisstatements aus den einzelnen Foren

Diskussion und Zusammenfassung

22. / 23. Januar 2008

- 18.45 **Abendprogramm (Möglichkeit zur Teilnahme an einer Führung, Dauer: jeweils ca. 1 Stunde)**
- Bauhausführung
 - UBA- / Bauhausführung
 - Unter unseren Füßen – Lebensraum Boden
- eine Führung im Museum für Naturkunde und Vorgeschichte Dessau

Gemütliches Beisammensein ab 19.45 Uhr im Club vom Bauhaus

23. Januar 2008

Moderation: Herr Prof. Dr. Makeschin; Kommission Bodenschutz beim UBA

- 08.30 Resümee des Vortages
Herr F. Hilliges, Frau J. Mathews; UBA, FG II 2.7

Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung im Rahmen der Klimaforschung

- 08.45 Dauerfeldversuche in Deutschland - Überblick und Forschungspotentiale
Herr Prof. Dr. F. Ellmer, Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Acker- und Pflanzenbau
- 09.15 Bodendauerbeobachtung (BDF)
Herr S. Marahrens; UBA, FG II 2.7
- 09.30 Abbildung von Klimaereignissen (Hochwasser, Starkniederschlag, Trockenheit etc.) des vergangenen Jahrzehnts in Messungen des Bodenmonitoring
Frau Dr. N. Barth; LfUG Sachsen, Freiberg
- 09.55 Bodenzustandserhebung (BZE) Wald (Schnittstellen zur Klimaforschung, Synergien und Handlungsbedarf)
Herr Dr. B. Bussian; UBA, FG II 2.7
- 10.25 **Kaffeepause**
- 10.55 CarboEurope und Erfahrungen im Bodenmonitoring
Frau Dr. A. Freibauer / Frau M. Schrumpf
Max Planck Institut für Biochemie, Jena
- 11.25 Beitrag von Bodenschätzungsdaten zur Klimadiskussion
Herr T. Röttscher, Thüringer Landesfinanzdirektion, Erfurt
- 11.55 Bodenphysikalische Parameter als Eingangsgrößen in die Klimamodellierung (*Arbeitstitel*)
Herr Dr. G. Smiatek, IMK-IFU, FZ Karlsruhe GmbH, Garmisch-Partenkirchen
- 12.25 Evaluierung der Bodendynamik (*Arbeitstitel*)
Herr Dr. A. Will, BTU Cottbus LS Umweltmeteorologie

12.55 **Resümee/ Abschlussdiskussion**

13:40 **Ende der Veranstaltung**
mit anschließender Möglichkeit zum Mittagessen in der Kantine

UBA-Workshop „Böden im Klimawandel – Was tun?!“

1. Foliensätze bzw. Vortragsmanuskripte zu folgenden Themen:		Seite
Arbeiten an der Nationalen Strategie zur Klimaanpassung	Umweltbundesamt, FG I 2.1; Frau P. Mahrenholz	9 - 15
Auswirkungen von Klimaänderungen auf Böden - Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen	Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V. Herr T. Kamp, Frau K. Choudhury, Herr R. Ruser, Herr U. Hera, Herr Th. Rötzer	17 - 26
Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt in Sachsen	LfUG Sachsen; Herr Dr. A. Bräunig Büro für Angewandte Hydrologie; Frau Dr. B. Klöcking	27 - 36
Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasser	Leibniz Universität Hannover; Frau T. Wixwat	37 - 47
Phosphor und Stickstoff in Böden Schleswig-Holsteins bei steigenden Lufttemperaturen	Hochschule Vechta; Herr Prof. Dr. W. Schröder, Herr G. Schmidt DigSyLand; Herr A. Rinker, Frau F. Deunert	49 - 62
Auswirkungen der Klimaänderung auf die Bodenerosion durch Wasser in Bayern	LfL Bayern; Herr R. Rippel	63 - 78
N₂O-Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Zusammenhang mit der N-Düngung und Landbewirtschaftung sowie Vermeidungsoptionen	Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V. Herr R. Ruser ¹ , Herr T. Kamp, Frau K. Choudhury, Herr U. Hera, Herr Th. Rötzer	79 - 84
Emission klimarelevanter Gase und die zugrunde liegenden Prozesse im Boden	Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Halle/Saale; Herr Prof. C. F. Stange	85 - 96
Bewertung von Bewirtschaftungsstrategien zur CO₂-Bindung in Böden	Universität Hohenheim; Herr N. Billen, Frau E. Angenendt	97 - 103
Treibhausgasfreisetzung organischer Böden	LBEG Niedersachsen, Bremen; Herr Dr. H. Höper	105 - 109
Wirkungen eines verstärkten Biomasseanbaus und damit verbundene Landnutzungsänderungen auf Böden	Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V. Frau K. Choudhury	111 - 121
Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe – Ein Positionspapier der „Kommission Bodenschutz beim UBA“	Umweltbundesamt, Geschäftsstelle KBU; Herr Dr. P. Dominik	123 - 128
Gemeinsames Positionspapier der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Wasser und Bodenschutz - Aspekte des Boden- und Gewässerschutzes bei der Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen für die Bioenergie	Niedersächsisches Umweltministerium LABO-Geschäftsstelle; Frau I. Dahlmann	129 - 132

¹ Universität Hohenheim

1. Foliensätze bzw. Vortragsmanuskripte zu folgenden Themen:		Seite
Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzungswandel auf die Biodiversität	Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung; Herr M. Lange	133 - 155
Folgen der Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen im Bereich Boden gemäß „Klimabericht Rheinland-Pfalz“	Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz; Herr Dr. J. Backes	157 - 172
Interaktion und Synergien zwischen der Klimafolgeschätzung und laufenden Programmen und Analysen in Sachsen-Anhalt	LAGB Sachsen-Anhalt; Herr Dr. D. Feldhaus	173 - 179
KLIWA-Verbundprojekt: „Einfluss regional zunehmender Starkregenereignisse auf die Bodenerosionsgefährdung“	LUBW Baden-Württemberg; Herr R. Kohl Umweltministerium Baden-Württemberg; Herr Dr. P. Dreher	181 - 195
Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt – Ziele und Handlungsfelder mit Bezug zum Boden	BfN, Außenstelle Leipzig, Abt. Landschaftsplanung und Landschaftsgestaltung; Herr M. Herbert	197 - 223
Dauerfeldversuche in Deutschland – Übersicht und Forschungspotentiale	Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften; Herr Prof. Dr. F. Ellmer	225 - 234
Bodendauerbeobachtung – Thermometer im Klimawandel	Umweltbundesamt, FG II 2.7; Herr S. Marahrens	235 - 244
Abbildung von Klimaereignissen in Messungen des Bodenmonitorings	LfUG Sachsen; Frau Dr. N. Barth, H. Forberg	245 - 261
Bodenmonitoring Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) Schnittstellen zur Klimaforschung, Synergien und Handlungsbedarf	Umweltbundesamt, FG II 2.7; Herr B. Bussian	263 - 274
CarboEurope und Erfahrungen im Bodenmonitoring	Max Planck Institut für Biogeochemie, Jena; Frau Dr. A. Freibauer; Frau M. Schrumpf	275 - 285
Beitrag von Bodenschätzungsdaten zur Klimadiskussion	Thüringer Landesfinanzdirektion; Herr T. Rötcher	287 - 289
Bodenphysikalische Parameter in Klima - Modellen	IMK-IFU, FZ Karlsruhe; Herr Dr. G. Smiatek, Herr H. R. Knoche, Herr H. Kunstmann	291 - 295
Relevanz der Boden-Vegetations-Parameter und Bodenmessungen in der regionalen Klimamodellierung mit COSMO-CLM	BTU Cottbus; Herr Dr. A. Will, A. Block, K. Keuler GKSS Geesthacht; Frau I. Anders	297 - 320

2. Ergebnisse aus der Online Abstimmung zum DAS-Fragenkatalog

I. Betroffenheit von Klimaänderungen

1. Wie sehen die Folgen des Klimawandels auf die Böden aus?
2. Welche Rolle spielen Böden im Klimageschehen?

II. Handlungsbedarf / Anpassungsstrategien

1. Lassen sich Planungs-/ Leitziele für den Boden im Rahmen der Klimadiskussion definieren?
2. Liegen bereits konkrete Maßnahmen bzw. Anpassungsstrategien zum Umgang mit Böden im Klimawandel vor? Wenn ja, welche Maßnahmen sind notwendig?
3. Wo wird Handlungsbedarf beim Umgang mit Böden im Klimawandel gesehen?

III. Informationsbedarf

1. Auf welchen Wissensfundus können wir beim Umgang mit Böden im Klimawandel aufbauen?
2. Welche Informationen werden benötigt, um zu konkreten Aussagen zu kommen?
 - a) zur Betroffenheit des Bodens durch die Klimaänderungen
 - b) zu erforderlichen Maßnahmen-/ Anpassungsstrategien
3. Wo werden Schnittstellen zu anderen Bereichen gesehen?
4. Wo sehen Sie zukünftige Forschungsschwerpunkte zum Thema: Böden im Klimawandel?

IV. Welche Rolle sollen Böden zukünftig in der Klimadiskussion einnehmen?

1. Soll der Boden zukünftig als eigenständiges Handlungsfeld in der Klimadiskussion definiert und betrachtet werden? Ja / nein?

3. Poster

- Klimawandel und Bodenerosion – Ergebnisse Simulation Hölzelbergbach
- Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel (Untersuchungsgebiete, Modell und Szenarien)
- Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel (Temperatur, Veränderungen gegenüber aktuellem Klima)
- Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel (Niederschlag, Veränderungen gegenüber aktuellem Klima)
- Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel (Globalstrahlung, potentielle Evapotranspiration, Windgeschwindigkeit, tendenzielle Änderungen klimatischer Parameter an den BDF)
- Einfluss von Klimawandel und Bewirtschaftung auf die Kohlenstoffvorräte im Boden für drei sächsische Standorte
- Einfluss der Waldbewirtschaftung auf Boden C-Vorräte

4. Teilnehmerverzeichnis

Arbeiten an der Nationalen Strategie zur Klimaanpassung

UBA, FG I 2.1
Petra Mahrenholz

Klimawandel und Klimafolgen für Deutschland

Der globale Klimawandel macht sich auch in Deutschland bemerkbar. Die Jahresmitteltemperatur stieg in Deutschland in den vergangenen 100 Jahren um etwa 0,8 °C. Dieser Erwärmungstrend beschleunigte sich im Laufe der vergangenen Jahrzehnte deutlich und ist nun mit 0,15°C je Dekade auf fast das Doppelte gestiegen. Vor allem die Wintermonate wurden wärmer. Die letzten zehn Jahre des 20. Jahrhunderts waren das wärmste Jahrzehnt dieses Jahrhunderts. Neun der Jahre zwischen 1990 bis 2000 und auch die Mehrzahl der bisherigen Jahre des 21. Jahrhunderts, waren wärmer als die langjährige Durchschnittstemperatur von 8,3°C. In den vergangenen 100 Jahren nahmen vor allem im Westen Deutschlands die Niederschläge deutlich zu. Am stärksten war diese Zunahme im Winter. Im Osten hingegen nahmen vor allem die sommerlichen Niederschläge ab. Klimaänderungen zeigen sich auch in ungewöhnlichen Ausmaßen extremer Wetterereignisse, wie Hitzeperioden und Starkniederschläge. Diese treten länger, häufiger oder intensiver auf. Wegen des hohen Schadenspotentials solcher Extremereignisse sind sie auch volkswirtschaftlich besonders bedeutsam. Verschiedene Modellrechnungen der Klimaforschung kommen zu dem Ergebnis, dass Extremereignisse in Zukunft häufiger und heftiger auftreten werden.¹

Das Umweltbundesamt veröffentlichte die Ergebnisse regionaler Klimamodelle, die mögliche Klimaänderungen in Deutschland bis zum Jahr 2100 berechnen. Die regionalen Klimamodelle basieren auf globalen Klimamodellen und ermöglichen eine umfassendere Projektion der möglichen Entwicklung des Klimas in Deutschland bis ins Jahr 2100. Im Vergleich des möglichen Klimas der Jahre 2071 – 2100 mit den Jahren 1961 – 1990 zeigen die Klimamodelle, dass²

- die Temperaturen in Deutschland regional und jahreszeitlich unterschiedlich voraussichtlich um 1,5 bis 3,7°C steigen,
- es weniger Frosttage, mehr heiße Tage und mehr Tropennächte geben sowie die Zahl und Dauer von Hitzewellen zunehmen werden,
- sich die sommerlichen Niederschläge durchschnittlich um 30 Prozent verringern und gleichzeitig die Häufigkeit von Starkniederschlägen zunimmt,
- wir mit einem Rückgang der Gletscher und Schneebedeckung in den Alpen rechnen müssen und

der Meeresspiegel mit im Mittel plus 30 Zentimeter deutlich höher liegen könnte. Hierbei gilt es zu beachten, dass für einen Teil der Küsten in Deutschland wegen der Landsenkung und wegen der Gezeitenvergrößerung mit deutlich höherem Meeresspiegelanstieg zu rechnen ist³

¹ Vgl. u.a. Schönwiese et al. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen, Climate Change 07/05, (UFOPLAN-Projekt Nr. 201 41 254), Dessau.

² UBA-Hintergrundpapier „Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG“ vom Januar 2007 (<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/>).

³ Forschungsvorhaben „Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste“ (KRIM: <http://www.krim.uni-bremen.de>).

Mögliche Wirkungen dieser Klimaänderungen

Erste übergreifende Analysen lassen darauf schließen, dass die meisten Gesellschaftsbereiche sowie viele Regionen mäßig bis hoch empfindlich gegenüber Klimaänderungen sind. Beispiele möglicher Wirkungen des Klimawandels in ausgewählten Bereichen sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt.

Handlungsfeld/ Bereich	Beispiele für mögliche Wirkungen des Klimawandels
Gesundheit	durch Hitzewellen, Stürme, Überschwemmungen, Lawinen oder Erdbeben verursachte Beeinträchtigungen, veränderte Verbreitungsgebiete vektorübertragener Krankheiten (wie FSME und Borreliose), verstärkte Hitzebelastung, die v.a. zu Herz-Kreislauf-Problemen führen, Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität und -quantität, verändertes Auftreten von Luftallergenen (wie Pollen), verstärkte Bildung bodennahen Ozons
Bauwesen	Hitzebelastungen und schlechteres Innenraumklima durch verstärkten Stadtklimaeffekt (höhere Temperaturen insbes. nachts, geringere Feuchte, geringere mittlere Windgeschwindigkeit bei höherer Böigkeit), höhere Starkniederschläge mit negativen Wirkungen auf die Infrastruktur (wie Kanalisation), Faulprozesse in Mischwasserkanalisation während Trockenphasen lassen metallische und zementgebundene Kanalbauteile korrodieren, Schäden an Bausubstanz durch aufsteigendes Grundwasser
Wasserhaushalt. Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz	Abflussspitzen verschieben sich durch geringere Schneespeicherung in den Winter, steigende Hochwasserwahrscheinlichkeit im Winter und Frühjahr, häufigeres Niedrigwasser im Sommer mit der Gefahr von Nutzungskonflikten, veränderte Grundwasserspiegel mit möglichen Folgen für das Grundwasserdargebot; vermehrte Starkniederschläge könnten Qualitätsprobleme für Trinkwasserressourcen durch zu gering bemessene Regenwasserableitung in den Städten bringen
Küstenschutz	Langfristiger Anstieg des Meeresspiegels und Änderung des Sturmregimes erhöhen Erosionsbeträge, bei Versagen der Schutzanlagen drohen enorme Schäden
Naturschutz und Biodiversität	Veränderungen im Jahresrhythmus, der Verbreitung und dem Reproduktionserfolg von Arten, veränderte Zusammensetzung und Struktur von Lebensgemeinschaften, Gefährdung der Artenvielfalt, besonders in Feuchtgebieten und Gebirgs- wie Küstenregionen, für 20-30% aller bisher untersuchten Raten erhöht sich das Aussterberisiko
Landwirtschaft	zunehmende Erträge für wärmeliebende Kulturen in eher kühl/feuchten sowie abnehmende Erträge in trockenstress-limitierten Gebieten, abnehmende Ertragssicherheit wegen erhöhter Klimavariabilität, ertragssteigernd wirkender CO ₂ -Düngeeffekt könnte Nähr- und Inhaltsstoffkonzentration des Erntegutes negativ beeinflussen, Verstärkung der Schädlingsproblematik, Hitzestress verringert die Produktivität – auch in der Tierproduktion, Auftreten neuer z.B. vektorverbreiteter Krankheiten (wie Blauzungenkrankheit)
Forstwirtschaft	CO ₂ -Düngeeffekt und längere Vegetationsperioden wirken positiv auf Holzproduktion, erhöhte Anfälligkeit nicht standortgerechter Wälder durch Sturm, Hitze- und Trockenstress sowie erhöhte Waldbrandgefahr, zunehmender Druck durch Schädlinge, Änderung der Anbaueignung von Arten
Bodenschutz ⁴	Verstärkung der Bodenerosion (im Sommer v.a. durch Wind, im Winter v.a. durch Wasser) und damit Erhöhung der Stoffeinträge in Gewässer, in Trockenzeiten verringerte Abbauleistung und Filterfunktion für Schadstoffe, bei Starkniederschlägen Mobilisierung von Schadstoffen und Einträge in Gewässer; steigende Gefahr für Staunässe, Überflutung oder Trockenstress; veränderte Austragsverhältnisse von Nähr- und Schadstoffen in das Grund- und Oberflächenwasser

⁴ Hinweis: Bodenschutz wurde im Ergebnis des UBA-Workshops „Böden im Klimawandel-Was tun?!" und auf Grund der Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) vom März 2008 als eigenständiges Handlungsfeld / Bereich aufgenommen.

Energiewirtschaft	Beeinträchtigung der Kraftwerkskühlung durch fehlendes oder zu warmes Wasser, Betriebseinschränkungen von Wasserkraftwerken durch Hoch- oder Niedrigwasser, verringerter Wirkungsgrad der Elektrizitätserzeugung durch höhere Lufttemperatur, Versorgungsengpässe bei Rohstoffen durch Verkehrsbeeinträchtigungen, veränderte Nachfragemuster nach Elektrizität (Kühlung). Zunehmende Sturmschäden an Windkraftanlagen.
Finanzwirtschaft	Langfristige Wirkungen auf die Sicherheit bestehender Investitionen (wie Anlagen), zunehmende Schäden durch Extremereignisse (wie Hitze, Starkniederschläge, Sturm, Überschwemmung) und veränderte Risiken in der Versicherungsbranche
Katastrophen- und Bevölkerungsschutz	Zunehmende Gefährdungen „kritischer Infrastrukturen“ wie Energie- und Trinkwasserversorgung, Hauptverkehrsadern und des Gesundheitswesens und deren technischer Versorgungssysteme, Veränderungen des Krisen- und Notfallmanagement, sowie der Planungen operativer Einsätze, veränderter Selbstschutz und Selbsthilfemaßnahmen sind erforderlich
Verkehr	Beeinträchtigung des Verkehrs durch Schneefall, Eis, Nebel, Hagel oder Stürme, der Binnenschifffahrt durch häufigere Hoch- und Niedrigwässer, Destabilisierung von Trassenabschnitten durch Hangrutsche und Unterspülungen, Zerstörung der Infrastruktur durch Extremereignisse wie Hitze, Wald- und Grasbrände, erhöhte Unfallzahlen durch zunehmenden Hitzestress
Tourismus	Abnahme der Schneesicherheit in den Gebirgsregionen und verschlechterte Beschneigungsmöglichkeiten in tieferen Lagen, verbesserte wirtschaftliche Erfolgsaussichten für die Touristenziele an den Küsten; möglicherweise negative Folgen für Touristen wegen des vermehrten Auftretens von Quallen und toxischen Algen an den Küsten
Raum- u. Siedlungs-entwicklung	Einschränkungen der Nutzbarkeit natürlicher Ressourcen durch Überschwemmungen, Sturzfluten, Murgänge, Berg- und Erdrutsche, Sturmfluten, tidebeeinflusste Hochwasser und Waldbrände, Gefährdung der Baugebiete und baulichen Anlagen wegen zunehmender Hochwasserereignisse, Verstärkung des Stadtklimaeffekts, Verschärfung der Konflikte zwischen dem Schutz wertvoller Flächen und unterschiedlicher Nutzungsansprüche

Tabelle 1 (Stand: April 2008)

Mögliche Initiativen und Maßnahmen zur Anpassung

Sind die klimabedingten Empfindlichkeiten sowie die daraus folgenden Risiken und ggf. auch Chancen analysiert, sollten Entscheidungsträger in einem nächsten Schritt geeignete Initiativen und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel für die empfindlichsten Bereiche und Regionen identifizieren, planen und umsetzen. Beispiele für mögliche Anpassungsmaßnahmen in ausgewählten Bereichen sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Handlungsfeld/ Bereich	Beispiele für mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel
Gesundheit	vermehrte Aufklärung der Bevölkerung sowie des medizinischen Fach- und Pflegepersonals, Einführung von Frühwarnsystemen mit zeitlich und räumlich konkretisierten Warnungen und Verhaltensregeln, Ausbau der medizinischen Forschung und intensives Monitoring klimabedingter Krankheiten sowie Ausweitung der Programme für die öffentliche Gesundheitspflege, so dass geeignete Impfungen und die Eindämmung der Krankheitsüberträger durchgeführt werden können
Bauwesen	Verbesserte Isolation , optimale Durchlüftung und Klimatechnik von Gebäuden, Verbesserung des Raumklimas mit bereits vorhandener Technik (Dämmung, Sonnenschutz, intelligente Lüftungssysteme), Erhöhung der Betriebssicherheit von Gebäuden durch Einsatz neuer, stärkere thermische sowie mechanische Belastungen tolerierende Materialien , verbesserte Vernetzung von Forschung und Praxis auch für die Planung / Renovierung

Wasserhaushalt Wasserwirtschaft und Hochwasser- schutz	effizientere Nutzung der Wasserressourcen, Berücksichtigung veränderter Intensität und Häufigkeit von Extremereignissen in der Planung wasserwirtschaftlicher Infrastruktur, vernetztes Management wasserbezogener Nutzungen , sektorübergreifende Abstimmung von Anpassungsmaßnahmen, Implementierung eines nachhaltigen Landnutzungsmanagements zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes, angepasste infrastrukturelle Vorsorge zur ausreichenden Bevorratung von Wasser in Talsperren und Grundwasserleitern oder zur Bereitstellung von Trinkwasser über Verbunde; Verbesserung des Hochwasserschutzes, Schaffung von Retentionsflächen, hochwasserangepasste Bauweisen und Erhöhung des Bewusstseins in der Bevölkerung über Hochwassergefahren, Fortführung von Wassersparmaßnahmen in Industrie, Land- und Forstwirtschaft sowie in privaten Haushalten; Verbesserung der Wasserqualität und des ökologischen Zustands der Oberflächengewässer zur Reduzierung der Anfälligkeit der aquatischen Ökosysteme und als Grundlage für eine sichere Trinkwasserversorgung
Küstenschutz	Verstärkung bestehenden Schutzanlagen , Erhöhung des Bewusstseins in der Bevölkerung über Hochwasser- und Sturmflutgefahren, Optimierung von Einsatzplänen
Naturschutz und Biodiversität	Schutz des natürlichen Anpassungspotenzials , Verbesserung der Wanderungsmöglichkeiten , z.B. durch Vernetzen der Biotope; Einrichtung von Schutzgebieten , die den Erhalt natürlich ablaufender Prozesse im Ökosystem als oberstes Schutzziel haben; Entwicklung von Maßnahmen und Instrumenten für Umgang mit neu auftretenden Risiken und einwandernden Arten, integrative Ansätze und Lösungen für Flächenkonkurrenzen
Landwirtschaft	Veränderung der Aussaattermine , Anbau widerstandsfähiger und standortgerechter Sorten mit einer hohen Klimatoleranz sowie einer geringen Anfälligkeit gegenüber Schädlingsbefall, Wahl geeigneter Fruchtfolgen , Änderungen des Anbau- und Sortenspektrums, Einsatz erosionsmindernder und überschwemmungstoleranter Arten für Rückhaltegebiete, bodenschonende und wassersparende Bewirtschaftungsformen ; räumliche und zeitliche Anpassung der Düngung ; Anpassung des Be- und Entwässerungsregimes
Forstwirtschaft	Waldumbau , Baumartenvielfalt erhöhen und geeignete Arten einführen, Forstbewirtschaftungspraktiken optimieren, verbesserte Vorsorge gegen Waldbrände , Wasserbewirtschaftungskonzepte anpassen, z.B. Wiedervernässung von Auenwäldern, Reduzierung zusätzlicher Stressoren , wie Verringerung der Stoffeinträge, Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Vermeidung von Störungen empfindlicher Waldökosysteme
Bodenschutz ⁵	präventive Maßnahmen zur Verringerung und Vermeidung von Bodenversauerung oder Bodenkontaminationen , standortangepasste und nachhaltige Bodenbewirtschaftung , Optimierung der Düngung zur Vermeidung von Stoffeinträgen in Böden, in Grund- und Oberflächengewässer, Erosionsmindernde Bewirtschaftungsverfahren , Vermeidung von Bodenschadverdichtung , Reduzierung der Flächenversiegelung , insbesondere in Teileinzugsgebieten, Schutz der organischen Substanz im Boden
Energiewirtschaft	Alternative Kühlsysteme für thermische Kraftwerke, Normen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit , regelmäßiges Monitoring , ob Kraftwerke und Infrastruktur Umweltveränderungen angepasst sind, Maßnahmen zur Verminderung des Strombedarfs , Verknüpfung von Anpassungs- mit Emissionsminderungsmaßnahmen
Katastrophen- u. Bevölkerungs- schutz	Veränderungen des Krisen- und Notfallmanagements , sowie der Planungen operativer Einsätze , Eigenverantwortung für Selbstschutz und Selbsthilfemaßnahmen von Bürgerinnen und Bürgern sind weiter zu fördern
Verkehr	technische Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur mit neuen hitzeresistenten Materialien; technische Maßnahmen gegen Extremereignisse, wie Murenschutz oder Trassenverlegung in potenziellen Hochwassergebieten; verbessertes Management der Wasserstände der Schifffahrtswege; Güterverlegung , z.B. vom Schiff auf die Schiene; Weiterentwicklung flach gehender Schiffe

⁵ Hinweis: Bodenschutz wurde im Ergebnis des UBA-Workshops „Böden im Klimawandel-Was tun?!" und auf Grund der Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) vom März 2008 als eigenständiges Handlungsfeld / Bereich aufgenommen.

Tourismus	Flexibilisierung und Diversifizierung der Angebote, wie wetterunabhängige Ganzjahresangebote, Erhöhung der Attraktivität durch Betonung regionaler Besonderheiten, Verbesserung von Bildungs- und Kulturangeboten sowie Verstärkung der Auseinandersetzung der Akteure der Tourismusbranche mit dem Thema Klimawandel, Kontrolle der Badewasserqualität
Raum- u. Siedlungs-entwicklung	Freihaltung hochwassergefährdeter Bereiche, Bebauung, ggf. Rückbau; flächensparende Siedlungs- u. Infrastrukturen, keine Zersiedelung , um nicht neue Schutzmaßnahmen zu begründen (z.B. im Küstenraum); hochwasserangepasste Bauweisen; Sicherung innerstädtischer Frischluftschneisen und Grünzüge; Bodenentsiegelung , Schutz von Wasserressourcen bei der Flächennutzung

Tabelle 2 (Stand: April 2008)

Regionale Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel

Die Anfälligkeit (Vulnerabilität) zeigt an, inwieweit ein System (z.B. ein Bereich oder eine Region) gegenüber Auswirkungen des Klimawandels, inklusive Klimaschwankungen und –extreme verwundbar ist, d.h. unfähig ist, diese zu bewältigen. Je empfindlicher ein System und je geringer seine Anpassungskapazität, desto anfälliger ist es. Charakter, Größenordnung sowie Geschwindigkeit des Klimawandels beeinflussen die Anfälligkeit.

Untersuchungen des Umweltbundesamtes zeigen, dass Südwestdeutschland (Oberrheingraben), die zentralen Teile Ostdeutschlands (nordostdeutsches Tiefland, südostdeutsche Becken und Hügel), die Küstenregion und die Alpen im Vergleich zu anderen deutschen Regionen sehr anfällig gegenüber Klimaänderungen sind.

Der Weg zu einer deutschen Anpassungsstrategie

Im deutschen Klimaschutzprogramm 2005 wurde der Grundstein für die Entwicklung einer nationalen Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels gesetzt. Bund und Länder werden bis Ende 2008 eine Konzeption für die Deutsche Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (DAS) erarbeiten.

Etappenziele zur DAS

- Vorlage eines ersten Berichtes zur DAS an das Bundeskabinett bis November 2008
 - Begleitung durch einen Ressortarbeitskreis und eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe
 - Kommunikation mit Wissenschaft und betroffenen Sektoren und Gruppen
- Beginn eines schrittweisen, kontinuierlichen Anpassungsprozesses

Phase 1: Bestandsaufnahme

- Start Juni 2007 → Wissenserhebung mit Fragebögen an Ressorts, Länder, ausgewählte Verbände
Ergebnisse: 221 auswertbare Fragebögen
- März 2008: Evaluationsbericht (KomPass)
- April 2008: Bewertung des Berichtes durch die ressortinterne Projektgruppe, Ressortarbeitskreis und Bund-Länder-Arbeitsgruppe
- 15./16. April 2008: Fachkonferenz "Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Erwartungen, Ziele und Handlungsoptionen"
- Bis August 2008: ergänzende Fachgespräche zu einzelnen Handlungsfeldern unter Federführung der betroffenen Bundesministerien

Phase 2: Konzeptentwicklung

- Identifizierung der vorrangigen Handlungsfelder
 - Zusammenstellung von Handlungsoptionen
 - Roadmap für eine Deutsche Anpassungsstrategie → Kabinettsbericht
- Ziel: Kabinettsbeschluss noch vor FCCC COP 14 (Dez. 2008, Poznan)

Wesentliche Schlussfolgerungen der Evaluierungsphase sind:

- es besteht breites Einvernehmen, die Entwicklung und Umsetzung einer Anpassungsstrategie schrittweise in einem **längerfristig angelegten Prozess** zu organisieren. Dabei sind die in verschiedenen Handlungsfeldern unterschiedlichen Zeithorizonte von Planungs- oder Investitionsentscheidungen zu berücksichtigen. Der prozesshafte Charakter ermöglicht, alle relevanten Akteure und Zielgruppen gestuft einzubeziehen.
- **Entscheidungen über konkrete Anpassungsmaßnahmen** werden in der Regel auf lokaler oder regionaler Ebene zu treffen sein, da Auswirkungen des Klimawandels sowohl wegen der **regional unterschiedlichen Ausprägung** der Veränderung von Klimaparametern als auch wegen der unterschiedlichen regionalen und lokalen Bedingungen (stark) differieren.
- Zwischen den Handlungsfeldern bestehen **vielfältige Wechselbeziehungen** und Überlappungen. Zudem ist die Betroffenheit in den verschiedenen Handlungsfeldern auch regional z. T. sehr unterschiedlich.
- Die Auswirkungen des Klimawandels auf andere Branchen und Wirtschaftsbereiche sind bisher in vorliegenden Studien kaum thematisiert.
- Insbesondere aus den Ländern und Verbänden wurde der **Wunsch nach einer bundesweiten Vorgabe von ausgewählten Klimaszenarien** als Referenzszenarien für die Modellierung von Klimafolgen sowie die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen geäußert.

Die Deutsche Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels (DAS) soll einen bundesweiten Handlungsrahmen schaffen, um Risiken für die Bevölkerung sowie volkswirtschaftlichen und sozialen Schäden – unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die natürlichen Lebensräume – vorzubeugen. Dieser Handlungsrahmen soll es insbesondere den unterschiedlichen Handlungsebenen des Bundes, der Länder, der Kommunen und letztendlich dem einzelnen betroffenen Bürger erleichtern, auf einer abgestimmten wissenschaftlichen Basis Anpassungsnotwendigkeiten zu identifizieren sowie Handlungsmaßnahmen zu planen und umzusetzen.

Die Deutsche Anpassungsstrategie muss über den nationalen Schwerpunkt hinaus auch die internationale Perspektive im Blick haben. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels insbesondere für Entwicklungs- und Schwellenländer nimmt inzwischen einen zentralen Platz in den Verhandlungen über das künftige globale Klimaregime ein.

Zentrale Aufgabe der DAS ist die Gestaltung eines Prozesses, der dafür sorgt, die Vulnerabilität natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme gegenüber Klimafolgen zu vermindern. Hierzu sind sowohl die Anpassungsfähigkeit der Systeme an den Klimawandel zu stärken als auch die Reaktionsfähigkeit auf eingetretene Schäden zu verbessern.

Die Anpassungsstrategie ist als iterativer und mittelfristiger Prozess angelegt, der flexibel und anpassungsfähig auf das sich stetig weiterentwickelnde Wissen, neue Erkenntnisse und Erfordernisse reagieren kann. Der für November 2008 vorgesehene Kabinettsbericht stellt insoweit einen ersten wichtigen Zwischenschritt dar. Aufbauend auf einer zusammenfassenden Darstellung und Bewertung des Wissensstandes über die beobachteten und künftig erwarteten Klimaänderungen sowie der damit verbundenen Klimafolgen soll der Kabinettsbericht vorrangige Handlungsfelder benennen, Handlungsbedürfnisse und Handlungsoptionen für diese Handlungsfelder skizzieren.

Wesentlich für den ersten Bundeskabinettsbericht ist es zudem

- die wichtigsten Elemente einer Kommunikations- und Beteiligungsstrategie zu beschreiben,
- die notwendigen Schritte zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen aufzuzeigen sowie
- die „Dienstleistungsangebote“ des Bundes für die Moderation und Förderung des weiteren Prozesses zu benennen.

Auswirkungen von Klimaänderungen auf Böden

Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen

Thomas Kamp, Keya Choudhury, Reiner Ruser, Uwe Hera, Thomas Rötzer
Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V.

Das Umweltbundesamt (UBA) führte in 2006 / 2007, mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), ein Forschungsvorhaben "*Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel*" durch. Die übergeordneten Ziele des Vorhabens sind (1) die Darstellung und Analyse der mit Klimaänderungen in Zusammenhang stehenden Sachverhalte unter dem Blickwinkel des Bodenschutzes, (2) die Ableitung und Empfehlung geeigneter Methoden und Anpassungsstrategien zum Schutz des Klimas aus Sicht des Bodenschutzes und zum Schutz des Bodens vor Klimawirkungen, sowie (3) eine fachliche Zuarbeit für die "*Deutsche Strategie zu Klimafolgen und Anpassung an Klimaänderungen*" (DAS) der Bundesregierung.

Im Laufe dieses Vorhabens wurde (1) eine Betrachtung von Bodenparametern und Bodenfunktionen unter dem Aspekt veränderter Temperaturen und Niederschläge, (2) eine rechnerische Überprüfung der Leistungspotenziale und Gefährdungsgrade von Böden anhand von drei Modellregionen unter veränderten Klimaprojektionen, (3) eine Darstellung und Beschreibung von landwirtschaftlich genutzten Böden im Klimageschehen, im besonderen die Rolle von Böden als Quelle und Senke von klimarelevanten Spurengasen, und (4) eine Beschreibung eines verstärkten Anbaus von Biomasse und damit einhergehenden Landnutzungsänderungen vorgenommen.

Die Teilaspekte der Studie "*Tendenzielle Änderungen klimatischer Parameter*", "*Minderung der N₂O-Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden*", und "*Wirkungen des verstärkten Biomasseanbaus*" sind an anderer Stelle dargestellt. Im nachfolgenden ist der Teilaspekt "*Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen*" vorgestellt.

Der Teilaspekt "*Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen*" versucht die Fragestellungen zu beleuchten, (1) in welcher Form Bodenfunktionen von prognostizierten Klimaänderungen beeinträchtigt werden, (2) und wie stark sich prognostizierte Klimaänderungen auf Bodenfunktionen auswirken (rechnerische Betrachtung).

Einteilung und Definition von Bodenfunktionen

Der Boden erfüllt im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG):

1. natürliche Funktionen als
 - a) Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
 - b) Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
 - c) Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,

2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie
3. Nutzungsfunktionen als
 - a) Rohstofflagerstätte,
 - b) Fläche für Siedlung und Erholung,
 - c) Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
 - d) Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

Zweck des Gesetzes ist es, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen.

Der BUND / LÄNDER-AUSSCHUSS BODENFORSCHUNG (BLA-GEO) und die BUND / LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) (2003) haben Kriterien zur Bewertung der natürlichen Bodenfunktionen abgeleitet. Beispielhaft sind nachfolgend die Bodenteilfunktionen und Kriterien für die Bodenfunktion *Lebensraumfunktion* aufgeführt.

Bodenfunktion nach §2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 BBodSchG:

Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen

1 *Bodenfunktion*: Lebensraumfunktion

- 1.1 *Bodenteilfunktion*: Lebensgrundlage für Menschen
Kriterium: Überschreitung von Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV
- 1.2 *Bodenteilfunktion*: Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen und Bodenorganismen
Kriterium: Naturnähe Maß für weitgehend anthropogen unbeeinflusste Pedogenese
- 1.3a *Bodenteilfunktion*: Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen
Kriterium: Standortpotential für Pflanzengesellschaften
- 1.3b *Bodenteilfunktion*: Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen
Kriterium: Natürliche Bodenfruchtbarkeit
- 1.4 *Bodenteilfunktion*: Lebensraum für Bodenorganismen und Bodenfauna
Kriterium: Standorteignung für Bodenorganismen-Gemeinschaften

Kriterium und Definition für z.B. die Bodenteilfunktion 1.3a *Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen* sind:

1.3a *Bodenteilfunktion*: Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen

Kriterium: Standortpotential für Pflanzengesellschaften

Definition: Fähigkeit des Bodens, die Ausbildung und Entwicklung standortangepasster (und eventuell seltener) natürlicher Pflanzengesellschaften zu ermöglichen.

Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen unter veränderten Klimabedingungen - I. Qualitative Betrachtung

Für die Bewertung der natürlichen Bodenteilfunktionen stehen verschiedene (rechnerische, empirische, statistische, u.a.) Methoden zur Verfügung, die im praktischen Einsatz auf unterschiedlichen Planungsebenen verwendet werden. Innerhalb des Forschungsvorhabens wur-

den Methoden ausgewählt, die eine Bewertung auf Grundlage der Betrachtung *klimatischer Parameter* ermöglichten.

Die den Methoden zugrunde liegenden Parameter wurden im Hinblick auf ihre klimatischen Einflüsse analysiert und bewertet. Die Bewertung führte zu nachfolgenden Ergebnissen.

Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen (Ergebnisse aus dem UBA-Vorhaben "Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel")

Folgen der Klimaänderungen aus Sicht des Bodenschutzes	Ursache	Beeinträchtigte Bodenfunktion / Teilfunktion / Kriterium ¹	Betroffene Nutzungsfunktion des Bodens
Änderungen im Trinkwasserdargebot im Jahresverlauf	Änderungen der GW-Neubildungsraten im Sommerhalbjahr (Verlagerung des Niederschlags vom Sommer in das Winterhalbjahr, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr) können zu Engpässen im Trinkwasserdargebot im Sommer führen.	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Beitrag des Bodens zur Grundwasserneubildung): Fähigkeit des Bodens, Wasser aus der durchwurzelbaren Bodenzone nach unten austreten zu lassen und dadurch zur Regeneration des Grundwassers beizutragen.	Standort für wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen
Anstieg der Hochwassergefahr	Zunahme der Extremereignisse, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr → geringe Infiltrationsraten im Boden, geringe Wasserspeicherfähigkeit der Böden aufgrund von Verdichtung	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Abflussregulierung): Fähigkeit des Bodens Niederschlagswasser aufzunehmen, zu speichern oder ins Grundwasser abzugeben und dadurch den Abfluss zu reduzieren.	Fläche für Siedlung und Verkehr, Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, Standort für wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen
Dürreschäden und Ertragsminderung auf Böden mit geringer Wasserhaltefähigkeit	Verlagerung des Niederschlags vom Sommer in das Winterhalbjahr, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr, → hohe Verdunstung, Zunahme der Extremereignisse, geringe Infiltrationsraten im Boden, geringe Wasserspeicherfähigkeit der Böden aufgrund von Verdichtung	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen
Verminderte Nährstoffverfügbarkeit im Boden	Zunahme der Jahresmitteltemperatur, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr, wechselfeuchte Phasen	Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt (Nährstoffpotential und Nährstoffverfügbarkeit): Fähigkeit des Bodens, insbesondere basische Kationen für Pflanzen zur Verfügung zu stellen, um eine ausreichende Pflanzenernährung sicher zu stellen.	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen

¹ Fachliche Grundlage: Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit; Planungsgruppe Ökologie und Umwelt GmbH, im Auftrag der LABO; Juli 2003

Folgen der Klima- änderungen aus Sicht des Boden- schutzes	Ursache	Beeinträchtigte Bodenfunk- tion / Teilfunktion / Kriterium ²	Betroffene Nut- zungsfunktion
Änderungen der GW-Neubildungsra- te und der Sicker- wasserraten	Verlagerung des Niederschlags vom Sommer in das Winter- halbjahr, GW-Neubildung findet überwiegend im Winterhalbjahr statt, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Beitrag des Bodens zur Grundwasserneu- bildung (Sickerwasserrate)): Fähigkeit des Bodens, Wasser aus der durchwurzelbaren Bo- denzone nach unten austreten zu lassen und dadurch zur Re- generation des Grundwassers beizutragen.	Standort für wirt- schaftliche und öf- fentliche Nutzungen
Verringerung der Abbauleistung von Schadstoffen in Bö- den	Rückgang der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalb- jahr, Beeinträchtigung der Mi- neralisierung von abbaubaren Schadstoffen; Zunahme der Verdunstung im Sommerhalb- jahr: Mobilisierung von Schwer- metallen bei zunehmender Salzkonzentration der Boden- lösung	Filter-, Puffer – u. Umwand- lungsfunktion des Bodens: Fähigkeit des Bodens org. Schadstoffe und Schwermetalle im Boden abzubauen bzw. zu binden, damit sie nicht von Pflanzen oder Bodenlebewesen aufgenommen oder in Gewäs- ser verlagert werden können.	Standort für land- und forstwirtschaft- liche Nutzungen, Standort für wirt- schaftliche und öf- fentliche Nutzungen
Mobilisierung von Schadstoffen aus Böden und Einträge in Oberflächenge- wässer und Grund- wasser	Zunahme der Extremereignisse, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr → geringe In- filtrationsraten im Boden	Filterfunktion des Bodens für nicht sorbierbare Stoffe (Re- tention des Bodenwassers): Fähigkeit des Bodens, im Sic- kerwasser gelöste Stoffe (z.B. Nitrat) in der durchwurzelbaren Zone zu halten und damit der Gefährdung der Gewässer ent- gegen zu wirken.	Standort für land- und forstwirtschaft- liche Nutzungen, Standort für wirt- schaftliche und öf- fentliche Nutzungen
Abnahme der hu- musbildenden Pro- zesse	Rückgang der klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalb- jahr, Steigende Temperaturen, Zunahme der Verdunstung, Be- einträchtigung der Mineralisie- rung	Lebensraumfunktion (Natür- liche Bodenfruchtbarkeit): Fä- higkeit des Bodens, Pflanzen, auch Nutzpflanzen, auch bei Verzicht auf anthropogene Maßnahmen gute bis sehr gute Wachstumsbedingungen zu bieten.	Standort für land- und forstwirtschaft- liche Nutzungen
Rückgang der biolo- gischen Vielfalt im Boden	Erhöhte Bodentemperaturen und längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr, Zunahme anaerober Bedingungen, Zu- nahme der Niederschläge im Winterhalbjahr: Staunässe	Lebensraumfunktion (Le- bensraum für Bodenorganis- men und Bodenfauna): Stand- örtlichen Eignung des Bodens, Lebensraum für typische Bo- denorganismen-Gemeinschaf- ten zu sein.	Standort für land- und forstwirtschaft- liche Nutzungen

² Fachliche Grundlage: Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit; Planungsgruppe Ökologie und Umwelt GmbH, im Auftrag der LABO; Juli 2003

Beeinträchtigungen von natürlichen Bodenfunktionen unter veränderten Klimabedingungen - II. Quantitative Betrachtung

Zur Überprüfung und Untermauerung der *qualitativen* Aussagen im Forschungsvorhaben wurden *quantitative* Betrachtungen der Bodenfunktionen durchgeführt. Hierzu wurden die in der Methodendokumentation Bodenkunde der AD-HOC-AG BODEN (1995, 2000, 2007) aufgeführten Auswertemethoden zur Einschätzung folgender natürlicher Leistungspotentiale und Gefährdungsgrade von Böden (Verdichtungsempfindlichkeit, Erosionsgefährdung durch Wasser, Grundwasserneubildung, Filtervermögen für Schwermetalle, Nitratrückhaltevermögen, Ackerbauliches Ertragspotenzial) herangezogen. Diese Methoden wurden an ausgewählten Bodendauerbeobachtungsflächen der Länder unter postulierten Klimaszenarien des regionalen Klimamodells REMO des Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, geprüft. Ziel der mathematischen Berechnungen war es, Entwicklungstendenzen und mögliche Änderungen bei den Leistungs- bzw. Gefährdungspotentialen aufzeigen.

Klimaprojektionen

Das regionale Klimamodell REMO wurde vom Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPIfM) in Hamburg im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts "Wasserkreislauf" auf Basis des numerischen Wettervorhersagemodells des Deutschen Wetterdienstes (Europa-Modell EM) in Kooperation mit dem Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ), dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) entwickelt.

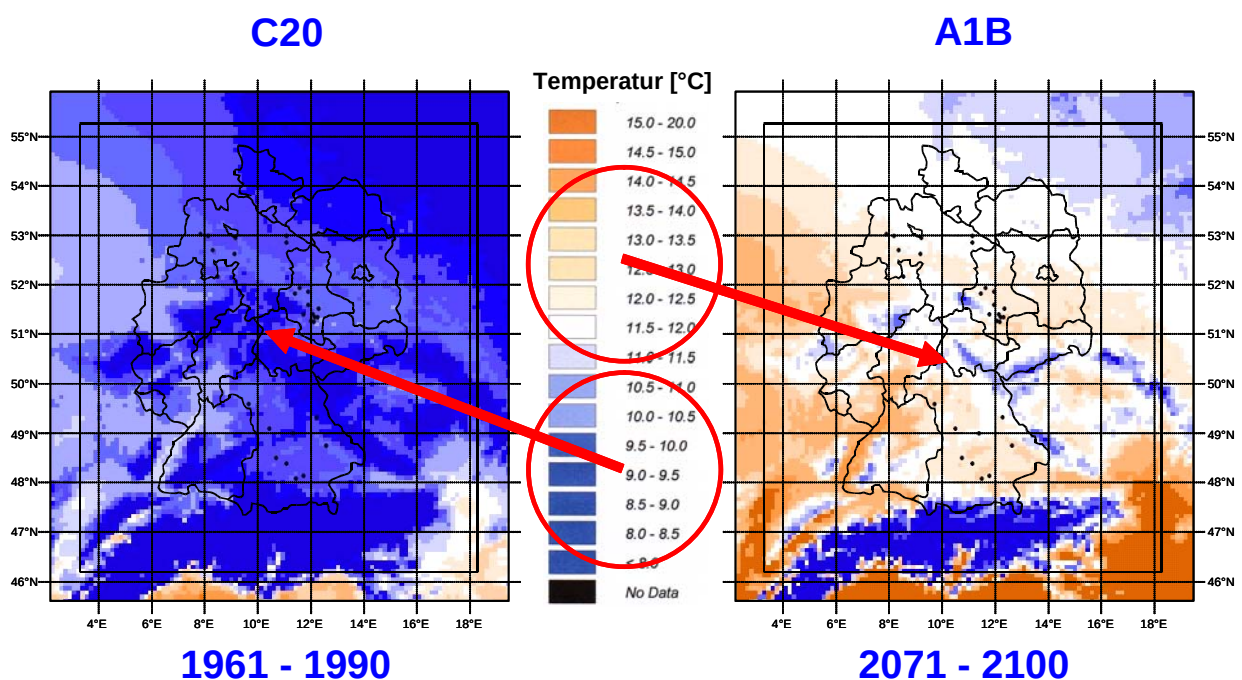


Abbildung 1: Gegenüberstellung durchschnittlichen Lufttemperatur (Jahresmittel) der REMO-UBA Szenarien C20 und A1B. Datengrundlage: Max-Planck-Institut für Meteorologie.

Aus den unterschiedlichen Szenarien wurden B1 (moderate Änderungen) und A1B (business-as-usual) für den Zeitraum 2071 - 2100 ausgewählt und dem Szenario C20 für die Zeitperiode 1961 - 1990 gegenübergestellt. In Abbildung 1 ist beispielhaft die Veränderung der durchschnittlichen Lufttemperatur für die Szenarien C20 und A1B gegenübergestellt.

Aus den Modellläufen mit REMO ist eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur und der Winterniederschläge, eine Abnahme der Sommerniederschläge und der Globalstrahlung im Winterhalbjahr für beide Szenarien (B1, A1B) ableitbar. Hingegen keine oder nur geringe Änderungen der Evapotranspiration, der Windgeschwindigkeiten, oder der Sommer-Globalstrahlung. Postuliert wird weiterhin eine Zunahme von Extremereignissen (Stürme, Starkregenerereignisse), was allerdings rechnerisch derzeit nicht überprüfbar ist.

Betrachtete Modellregionen

Von ZEBISCH et al. (2005) wurden im Rahmen einer UBA-Studie Regionen in der Bundesrepublik identifiziert, die besonders stark von projektierten Klimaänderungen auf Basis der IPCC Szenarien aus 2001 (IPCC, 2001) betroffen werden. Die Betrachtung fusst auf den Bereichen Wasser, landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Aspekte, Biodiversität und Naturschutz, menschliche Gesundheit, Tourismus und Verkehr. Nach ZEBISCH et al. (2005) sind im Szenario *business-as-usual* (keine gegensteuernden Maßnahmen) alle Naturräume (vgl. Abbildung 2) der Bundesrepublik durch Hochwässer, und das Nordostdeutsche Tiefland und die Südostdeutschen Becken und Hügel zusätzlich durch Dürre stark gefährdet. Bis auf die Alpen und das Nordwestdeutsche Tiefland mit der Küstenregion sind alle anderen Naturräume mäßig durch Dürre gefährdet. Unter Berücksichtigung aller betrachteten Bereiche, sind die als *vulnerabel* (betroffen) identifizierten Regionen das Nordostdeutsche Tiefland und die Südostdeutschen Becken und Hügel, die Alpen und der Oberrheingraben. Die beiden letzten Regionen, obwohl hochgradig betroffen, stellen flächenmässig nur kleine Regionen innerhalb der Bundesrepublik dar und sind ackerbaulich wenig (Alpen) oder zum Teil über Sonderkulturen (Oberrheingraben) genutzt.

Der Focus der vorliegenden Studie beschränkt sich auf die Betrachtung einer Auswahl von landwirtschaftlich genutzten Böden in traditionell grossen Anbaugebieten. Aufgrund der vorhandenen Datenlage wurden hier das nordwestdeutsche Tiefland (Niedersachsen), das Alpenvorland mit nordbayerischem Hügelland und bayerischem Wald (Bayern) und die mitteldeutsche Trockenregion (Sachsen-Anhalt) ausgewählt.

Innerhalb dieser drei Regionen wurden je acht Standorte betrachtet, die (1) landwirtschaftlich genutzt sind und die (2) hinsichtlich der Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen gut beschrieben sind. Hier boten sich die Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) der Bundesländer, insbesondere die Intensiv-BDF, an.

Hilfe bei der Auswahl der BDF und die zur Verfügungstellung von Daten und weiteren Informationen erfolgten durch das NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (NLFB, 2005) und durch die BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR AGRARÖKOLOGIE, ÖKOLOGISCHEN LANDBAU UND BODENSCHUTZ (LFL, 1985-1990). Informationen für das mitteldeutsche Trockengebiet entstammen den Datenbanken des UMWELTBUNDESAMTES (LAGB, 2005). Die für die Charakterisierung der BDF verwendeten Klimadaten wurden dem Datenarchiv des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (DWD, 2005) entnommen und stellen langjährige Mittelwerte des Messzeitraums 1961 - 1990 dar.

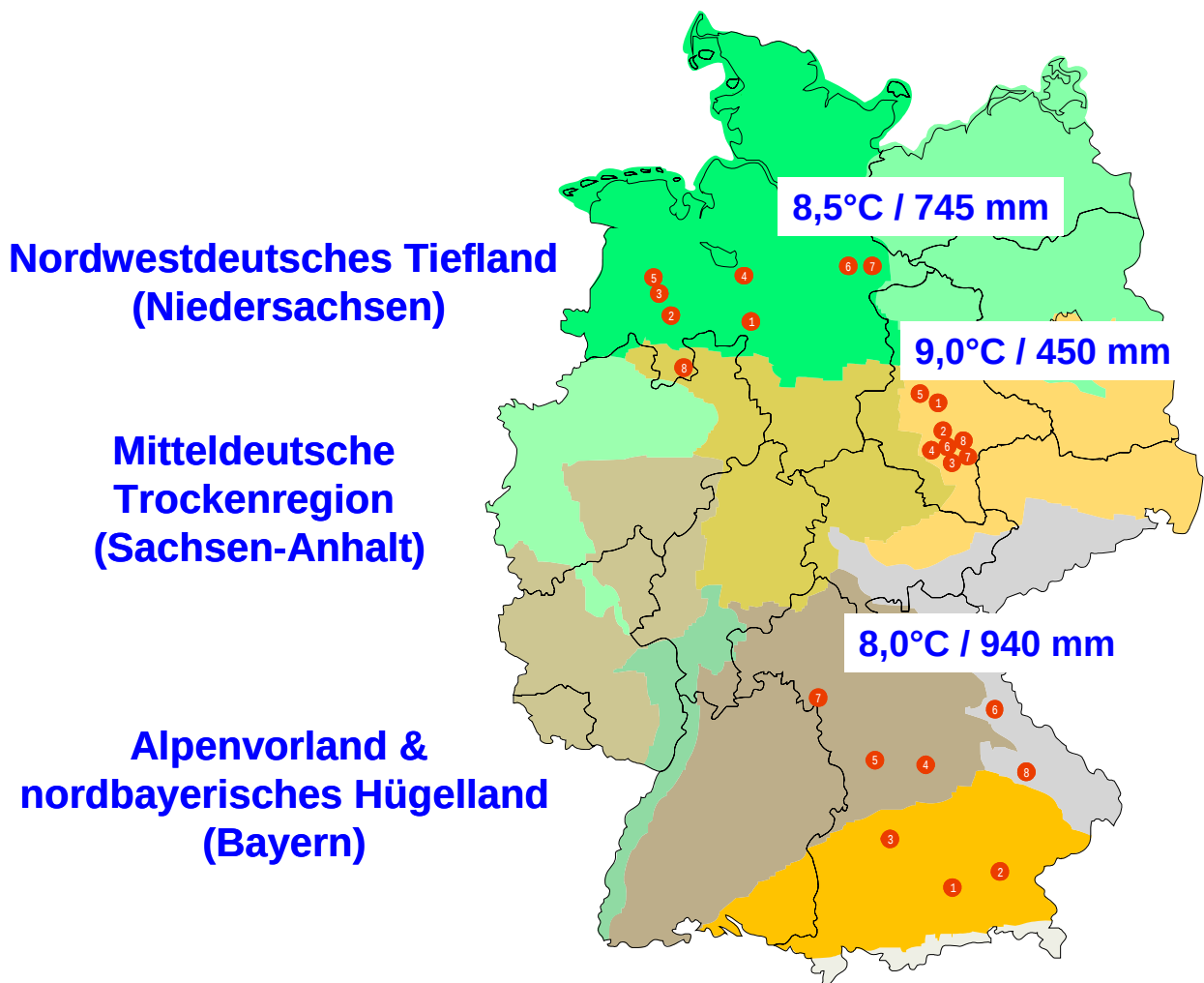


Abbildung 2: Lage der ausgewählten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Niedersachsen, Bayern und Sachsen-Anhalt. Abbildung verändert nach MEYNEN et al. (1962) in BfN (2005). Die Namen und Abkürzungen der einzelnen BDF in den drei Modellregionen sind in der Auflistung gegeben:

Niedersachsen			Bayern			Sachsen-Anhalt		
1	BU	Bühren	1	HA	Haar	1	BI	Biere
2	DI	Dinklage	2	RA	Rattenkirchen	2	PL	Plötzkau
3	GR	Grönheimer Feld	3	AR	Arnhofen	3	TE	Teutschenthal
4	UE	Uesen	4	BE	Berching	4	PO	Polleben
5	MA	Markhausen	5	PF	Pfolfeld	5	KW	Klein Wanzleben
6	BA	Barum	6	TR	Trausnitz	6	LE	Lettewitz-2
7	HZ	Hohenzethen	7	HS	Hopferstadt	7	SE	Seeben
8	KU	Küingdorf	8	ST	Straubing	8	CA	Cattau

Betroffenheit der Leistungspotentiale und Gefährdungsgrade von Böden

Mit Daten aus den Klimaprojektionen aus REMO (A1B, B1, C20) wurden Leistungspotentiale und Gefährdungsgrade der Böden der ausgewählten Boden-Dauerbeobachtungsflächen berechnet. Betrachtet wurden Verdichtungsempfindlichkeit, Erosionsgefährdung durch Wasser, Grundwasserneubildung, Filtervermögen für Schwermetalle, Nitratrückhaltevermögen, und Ackerbauliches Ertragspotenzial.

Beispielhaft ist nachfolgend die Methode *Aktuelle Erosionsgefährdung durch Wasser, gemessen am mittleren jährlichen Bodenabtrag (MBA) als Ergebnis der "Allgemeinen Bodenabtragsgleichung"* aufgeführt:

$$\text{MBA} = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (\text{Gl. 1})$$

MBA = mittlerer jährlicher Bodenabtrag (dt / ha / a)

R = Regenfaktor

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor

LS = Topographiefaktor

C = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P = Erosionsschutzfaktor

Auf Grundlage der vorliegenden Klimaprojektionen aus REMO (B1 und A1B Szenarien) kann eine tendenzielle Abnahme der *aktuellen Erosionsgefährdung durch Wasser* im Sommerhalbjahr für Böden in den ausgewählten Modellregionen im Zeitraum 2071 - 2100 abgeleitet werden. Voraussetzung dafür ist, dass alle sonstigen Umweltfaktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen sich konstant verhalten und potentiell eintretende Extremereignisse vernachlässigt werden.

Die hier verwendete Methode bildet die tatsächlich eintretenden Veränderungen allerdings nur bedingt ab, sodass die Ergebnisse nur theoretischen Charakter haben. So ist z.B. damit zu rechnen, dass die Multiplikationskoeffizienten des Regen- und Oberflächenabflussfaktor R unter veränderten Niederschlagsbedingungen variieren. Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Humusgehalte unter veränderten Klimabedingungen zu- oder auch abnehmen. Die Humusgehalte wirken sich über den R-Faktor auf die Bodenstabilität und damit auf die Erosionsgefährdung aus. Da bisher noch keine allgemein verlässlichen Aussagen über künftige Humus-Entwicklungen vorliegen, ist die Gültigkeit der Berechnungen eingeschränkt.

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der jahresbezogenen Erosionsgefährdung durch Wasser und der Erosionsgefährdung im Sommerhalbjahr ist zu vermuten, dass aufgrund der projizierten zunehmenden Winterniederschläge die Erosionsgefährdung im Winterhalbjahr ansteigt, da die Niederschläge in geringerem Umfang als Schnee fallen und Perioden mit Bodenfrost sich verringern. Für die Betrachtung der winterlichen Verhältnisse liegen allerdings keine überprüften Multiplikationskoeffizienten zur Berechnung der R-Faktoren vor, sodass eine Aussage möglicher Gefährdungen im Winterhalbjahr auf Grundlage des betrachteten Kennwerts nicht gegeben werden kann. Vorliegende Prognosen gehen davon aus, dass in einem zukünftigen Klima Extremereignisse verstärkt auftreten. Bisher ungeprüft ist, ob z.B. zunehmende Starkregenereignisse durch die derzeit verwendeten R-Faktoren ausreichend abgebildet werden können. Eine Überprüfung der Gültigkeit und gegebenenfalls eine Neu-Ermittlung der Multiplikationskoeffizienten zur Berechnung der R-Faktoren auf Grundlage der REMO Szenarien B1 und A1B wäre wünschenswert. Im Falle zunehmender winterlichen Erosionen mit höheren Bodenabträgen ist unter anderem mit steigenden Einträgen diffuser Stoff in Gewässer zu rechnen. Mit Blick auf die Vorgaben der EU zum Boden- und Gewässerschutz (WRRL, GAP-Programm, BRRL) sind hier entsprechende Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderungen notwendig.

Empfehlungen aus dem UBA-Vorhaben zur Ermittlung der Erosionsgefährdung durch Wasser mit Blick auf die prognostizierten Klimaänderungen:

- Überprüfung der Multiplikationskoeffizienten des Regen- und Oberflächenabflussfaktors R unter veränderten Niederschlagsbedingungen.
- Überprüfung der Multiplikationskoeffizienten des Regen- und Oberflächenabflussfaktor R für eine getrennte Betrachtung der Winterhalbjahre.
- Weiterentwicklung von Methoden zur Abschätzung der Beeinflussung der Humusgehalte (K_H -Faktor) unter veränderten Klimabedingungen.

Ähnliche Befunde ergeben sich für alle Berechnungen der Leistungspotentiale und Gefährdungsgrade von Böden unter veränderten Klimabedingungen. Die rechnerischen Ansätze über die Methodendokumentation führen derzeit mit Blick auf die Klimadiskussion zu keinen belastbaren Aussagen. Eine Überarbeitung und / oder Erweiterung derzeitiger Methodenansätze ist notwendig zur Beantwortung der vorliegenden Fragen. Auch für das Klimamodell REMO ist eine Erweiterung um verschiedene Parameter erforderlich, um bisher noch fehlende oder unvollständige Datensätze für die Berechnungsmethoden zur Verfügung stellen zu können.

Resümee aus dem UBA-Vorhaben „Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel“ zur Beeinträchtigung der Bodenfunktionen:

1. Die prognostizierten Klimaänderungen haben Einfluss auf die natürlichen Bodenfunktionen.
2. Die Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen führen zur Einschränkung der Nutzungsfunktionen des Bodens (Fläche für Siedlung und Verkehr, Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, Standort für wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen).
3. Die Konsequenzen für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Biodiversität resultieren aus den Wechselwirkungen von Boden und Klima. Maßnahmen zur Klimaanpassung müssen demzufolge im Boden ansetzen.
4. Die Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen haben weiterhin schädliche Bodenveränderungen zur Folge.
5. Gegenwärtig sind nur qualitative Aussagen (keine quantitativen Aussagen) zu den Folgen des Klimawandels auf Böden möglich.
6. Es gibt regional unterschiedliche Ausprägungen der Folgen des Klimawandels.
7. Für belastbare quantitative Aussagen über die Klimawirkungen auf Böden reicht die Datenlage nicht aus. Hier stellen die Bodendauerbeobachtung (BDF), Dauerfeldversuche, die Bodenzustandserhebung (BZE) Wald und Daten der Bodenschätzung geeignete Instrumente für die Klimaschutz- und Klimafolgenforschung dar.

Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (1995) Methodendokumentation Bodenkunde - Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Geologisches Jahrbuch Reihe F, Band F 31. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- AD-HOC-AG BODEN (2000) Methodendokumentation Bodenkunde - Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. 2. Auflage. Sonderhefte Reihe G - Geol. Jahrb., Heft 1. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

- AD-HOC-AG BODEN (2007) Neue Methoden und Aktualisierungen der Methodendokumentation Bodenkunde. URL http://www.bgr.bund.de/nn_325414/DE/Themen/Boden/Produkte/Downloads/methoden.html. Veröffentlichung von Methoden bis Mai 2007.
- AD-HOC-AG BODEN des BUND/LÄNDER-AUSSCHUSSES BODENFORSCHUNG (BLA-GEO) in Zusammenarbeit mit der BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) (2003) Methodenkatalog zur Bewertung natürlicher Bodenfunktionen, der Archivfunktion des Bodens, der Gefahr der Entstehung schädlicher Bodenveränderungen sowie der Nutzungsfunktion 'Rohstofflagerstätte' nach BBodSchG. URL http://www.bgr.de/saf_boden/adhocag/adhocag.html
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (1985-1990) Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. persl. Kommunikation.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2005) Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Aufl. 1:1 Mio., in Teilbereichen der alten Bundesländer 1:200.000, nach MEYNEN, SCHMIDTHÜSEN et al., 1962. Informationssystem LANIS-Bund.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2005) Mittelwerte der Normalperiode 1961 bis 1990. URL <http://www.dwd.de>.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2001) Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell & C.A. Johnson (eds.). Cambridge, University Press
- LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESEN SACHSEN-ANHALT (LAGB) (2005) Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Sachsen-Anhalt aus den Jahren 1993-2004. Datenauszug bBIS RISA-GEN des Umweltbundesamtes (UBA).
- MEYNEN, E., J. SCHMIDTHÜSEN, J. GELLERT, E. NEEF, H. MÜLLER-MINY & J.H. SCHULTZE (Hrsg.) (1953-62) Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, Bd. 1-9., Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Remagen.
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (NLfB) (Hrsg) (2005) Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen - Standortbeschreibung und Baseline. MS-Access Datenbank auf CD-Rom.
- ZEBISCH, M., T. GROTHMANN, D. SCHRÖTER, C. HAßE, U. FRITSCH & W. CRAMER (2005) Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. UBA-Forschungsvorhaben Nr. 201 41 253.

Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt in Sachsen

Dr. Arnd Bräunig, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Bodenschutz

Dr. Beate Klöcking, Büro für Angewandte Hydrologie

Tagung UBA Dessau, 22.01.2008

1. Einführung und Projektkonzeption

Der Bodenwasserhaushalt nimmt eine Schlüsselstellung für viele Fragen des Bodenschutzes und der Bodennutzung ein. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt sind von der Bodenform, der Klimaregion und der Landnutzung abhängig.

Ausgehend von gemessenen und prognostizierten Wetterdaten zu Klimastationen werden für repräsentative Böden im Freistaat Sachsen Modellierungen zum Bodenwasserhaushalt durchgeführt. Im Mittelpunkt der Auswertungen steht die standortbezogene Analyse der Modellierungsergebnisse unter Berücksichtigung klimaregionaler Unterschiede, Eigenschaften von Bodenformen und standortbezogener Landnutzungen.

Es stehen Messwerte (1961-2005) und Klimaprojektionen (bis 2100) zu 8 Klimastationen¹ zur Verfügung (CEC, 2006). Jeder Klimastation werden 6 unterschiedliche Bodenformen der Region zugeordnet, so dass in Bezug auf die Faktoren Klima und Boden 48 Standortszenarien zu betrachten sind. Bezüglich der Landnutzung sind die Szenarien Acker, Grünland, Laubwald und Nadelwald zu berücksichtigen. Durch die Kombination der Klimastationen, der Bodenformen und der Landnutzungsszenarien sind 192 Varianten zu bearbeiten.

Die Modellierung erfolgt in Tagesschrittweite mit dem deterministischen Modell ArcEGMO-PSCN (Klöcking, 2006). Dieses Modell umfasst neben einem detaillierten Bodenmodell komplexe Vegetationsmodelle, die u.a. die phänologische Entwicklung der einzelnen Vegetationsarten in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf beschreiben. Abb. 1 fasst die berücksichtigten Wasserflüsse und Teilglieder des Wasserhaushaltes zusammen.

¹ Datenreihen zu Tageswerten der DWD-Stationen Leipzig, Oschatz, Dresden, Görlitz, Chemnitz, Plauen, Marienberg, Fichtelberg. Elemente: Niederschlag, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer

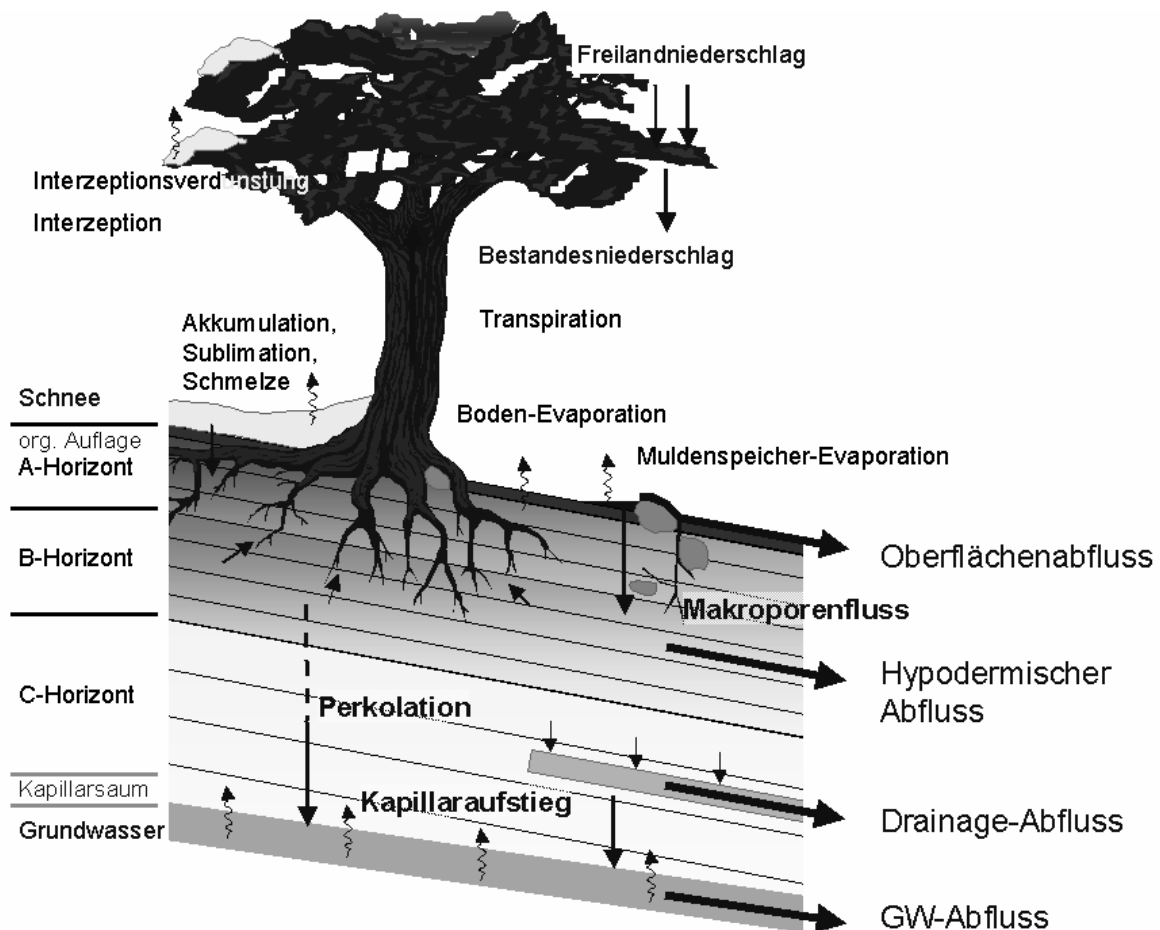


Abb. 1: Wasserflüsse und Teilglieder des Wasserhaushaltes in ArcEGMO

Das Projekt umfasst die folgenden Arbeitsetappen:

- ❖ Auswertung der Klimadaten (Messdaten und Klimaprojektion)
- ❖ Standortbezogene Parametrisierung von Relief, Boden und Vegetation
- ❖ Modellvalidierung mit Daten der Lysimeteranlage Brandis
- ❖ Durchführung der Modellierung, Speicherung Modellierungsergebnisse
Tageswerte bis langjährige Mittelwerte zu den Teilgliedern des Wasserhaushaltes:
Potenzielle Evapotranspiration (PET), Aktuelle Evapotranspiration (AET), Interzeption,
Direktabfluss, Bodenwassergehalte, Interflow, Sickerwasserrate
- ❖ Analyse der Modellierungsergebnisse:
 - zeitliche und tiefenbezogene Verlauf der Bodenwassergehalte (z.B. pflanzenverfügbares Wasser, Wassergehalte im Bereich des permanenten Welkepunktes)
 - Verhältnis PET zu AET (Maß für Wasserversorgung)
 - Sickerwasserrate
 - Einfluss kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser
 - Unterschiede in den Klimaregionen, den Bodenformen und den Landnutzungen

2. Zwischenergebnisse zum Standort Chemnitz

2.1 Klimadaten, Klimaprojektion

Die klimatischen Zukunftsszenarien für das Land Sachsen bis 2100 wurden mit der Regionalisierungsmethodik WEREX IV auf der Grundlage des globalen Klimamodells ECHAM5, SRES-IPCC-Emissionsszenario A1b und A2 (2001-2100) erstellt². Die Modellierung verbindet ein objektives Wetterlagenkonzept mit Zeitreihensimulationen. Dafür fanden die langjährigen meteorologischen Messdaten an den Sächsischen Beobachtungsstationen des DWD ohne Berücksichtigung von eventuell erforderlichen Niederschlagskorrekturen Eingang. Für den Control-Run wurde die Periode 1961-2000 genutzt. Dieser dient zur Kalibrierung/Validierung der Regionalisierungsmethodik an das Ist-Klima und erbrachte für die Mehrzahl der Attribute gute Ergebnisse.

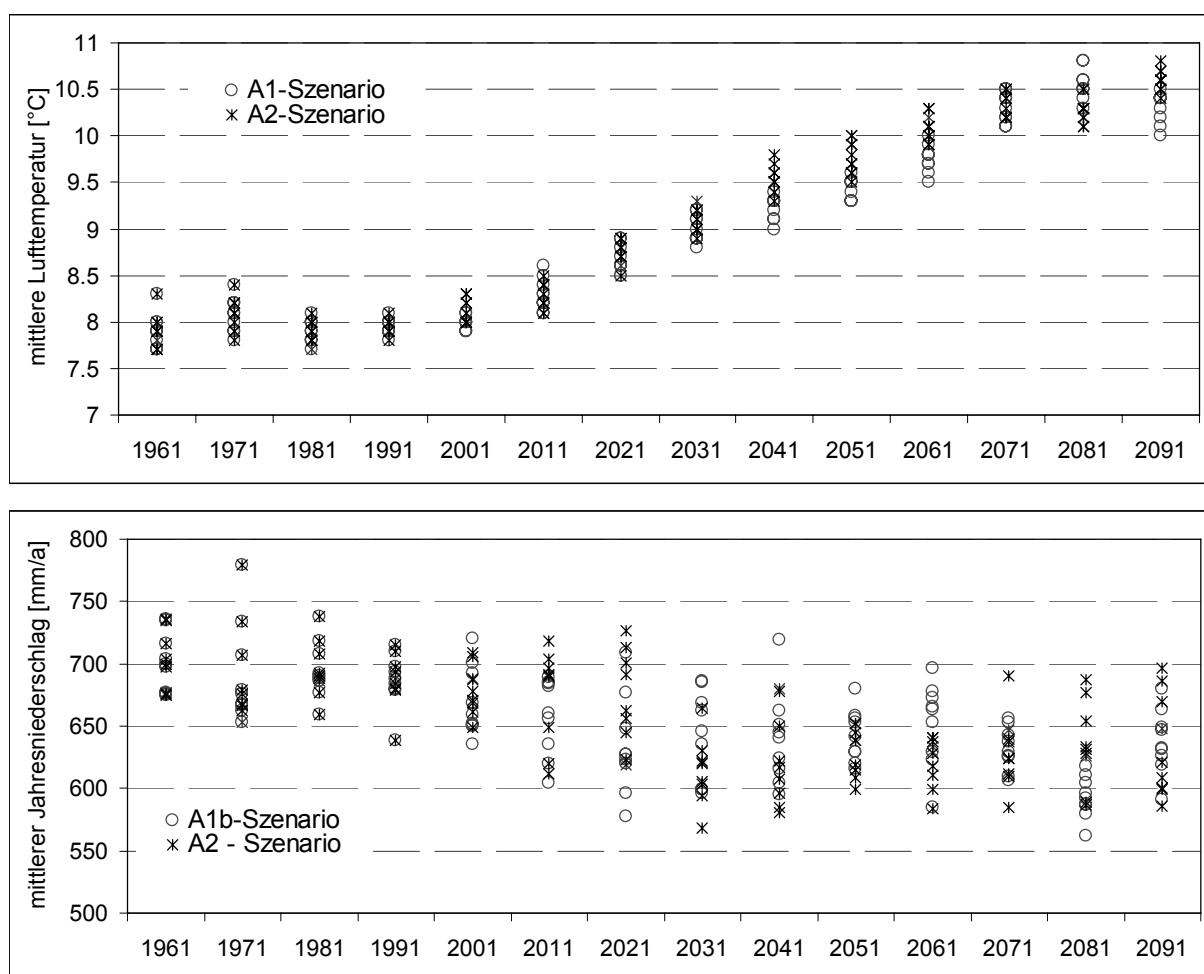


Abb. 2: Klimaprojektion (WEREX IV A2 und A1B) zehn Realisierungen der mittleren Lufttemperatur und Jahresniederschläge, (Dekadenmittel 1961-2100, Station Chemnitz)

Für jedes Emissionsszenario wurden 10 Klimaszenarien realisiert. Entsprechend der IPCC-Vorgaben ist für alle Realisierungen ein deutlicher Trend bei der Entwicklung der Lufttempe-

² Freistaat Sachsen, Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick 2005

raturen im Dekadenmittel zu erkennen (Temperaturanstieges um 2 bis 2,5°C in 100 Jahren, Abb. 2, Abb. 3), wobei durch alle Realisierungen des A2-Szenarios eine wesentlich schnellere Erwärmung im Vergleich mit den Realisierungen des A1b-Szenarios modelliert wird. Bei den Niederschlägen ist kein so eindeutiger Trend festzustellen. In der Tendenz gehen die jährlichen Niederschläge von 780 mm auf 680 mm zurück, wobei in den Simulationsdekaden große Unterschiede zwischen den einzelnen Realisierungen vorhanden sind (Abb. 2, Abb. 3).

Aus den einzelnen Realisierungen wurden hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung ein trockenes (MIN), ein nasses (MAX) und ein mittleres (NOR) Szenario abgeleitet. Somit stehen drei transiente, einheitlich modellierte Reihen der wichtigsten Witterungsattribute für die Sächsischen Beobachtungsstationen des DWD für den Zeitraum 1961-2100 als Tageswerte zur Verfügung. Das sind im Einzelnen die Attribute Lufttemperatur (Tagesmittel-, -maximal- und -minimalwert), Tagessumme des Niederschlags, Tagesmittel der relativen Luftfeuchtigkeit, des Luft- und des Dampfdrucks und der Windgeschwindigkeit sowie Tagessumme der Sonnenscheindauer und des Bedeckungsgrades (Bewölkung).

Die Untersuchungen der Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den Bodenwasserhaushalt wurden auf der Basis der NOR-Reihe des Zukunftsszenarios A2 durchgeführt. Dabei wurde auch die gegenwärtige Situation auf der Basis der Daten des Control Runs von WEREX IV modelliert. Damit kann einerseits der Modellfehler der Klimasimulation ausgeschaltet werden, und andererseits stützen sich die Impaktanalysen auf eine in sich konsistente Datenreihe. Sprünge, die durch die Verwendung von Daten unterschiedlicher Herkunft verursacht werden, können somit ausgeschlossen werden.

Ein Vergleich des Controll-Run WEREX IV A2 NOR mit den gemessenen Daten der Station Chemnitz zeigt mit Ausnahme der Windgeschwindigkeit eine sehr gute Übereinstimmung (Tab. 1).

Tab. 1: Klimatische Attributen an der DWD-Station Chemnitz im Zeitraum 1.1.1961-31.12.2005 (MW- Beobachtung, SimW – simuliert mit WEREX A2)

	Niederschlag [mm/d]		Lufttemperatur Tagesmittel [°C]		Luftfeuchte Tagesmittel [%]		Sonnenschein- dauer [h/d]		Windgeschwindig- keit [m/s]	
	MW	SimW	MW	SimW	MW	SimW	MW	SimW	MW	SimW
Mittel	1.9	1.9	8.2	8.0	77.8	77.0	4.3	4.4	2.7	3.4
Min	0.0	0.0	-19.3	-18.8	22.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Max	78.0	73.3	27.7	29.7	100.0	100.0	15.8	16.3	13.2	12.0

Da außerdem sowohl die Strahlungsverhältnisse etwas zu hoch und die Luftfeuchte unterschätzt werden, ist eine leichte Überschätzung der Verdunstung bei Nutzung der WEREX-Daten zu erwarten. Wird zur Berechnung der Potenziellen Evapotranspiration (PET) der Ansatz nach Turc/Ivanow (DVWK, 1996) benutzt, der nicht die Windgeschwindigkeit berücksichtigt, so sind zwar die Unterschiede vernachlässigbar, bei Nutzung des Penman-Ansatzes (DVWK, 1996) wird durch die zu hohen Windgeschwindigkeiten im Klimaszenario die Verdunstung um ca. 20 mm/Jahr überschätzt. Beide Verdunstungsmodelle benötigen die Glo-

balstrahlung als Eingangsgröße. Liegen hierfür keine Messwerte vor, so wird diese modellintern aus der extraterrestrischen Strahlung, der gemessenen sowie der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer nach dem Ångström-Verfahren (DVWK, 1996) berechnet. Hierdurch ergeben sich zusätzliche Abweichungen zwischen den simulierten Verdunstungswerten (s. Tab. 2).

Tab. 2: Vergleich der simulierten mittleren Jahreswerte der PET (1.1.1961-31.12.2005)

Modellansatz	PET [mm/a]		
	DWD (Globalstrahlung)	DWD (Sonnenscheindauer)	WEREX (Sonnenscheindauer)
Turc/Ivanow	592	585	584
Penman	623	615	642

In Abbildung 3 ist die Entwicklung der langjährigen mittleren Temperatur-, Strahlungs- und Niederschlagsverhältnisse für Chemnitz entsprechend der NOR-Simulation dargestellt. Das Ansteigen der Lufttemperatur und der Globalstrahlungswerte führen bei gleichzeitiger Verringerung der jährlichen Niederschlagsmengen zu einer deutlichen Absenkung der Klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag – PET) von derzeit 135 mm auf ca. -50 mm.

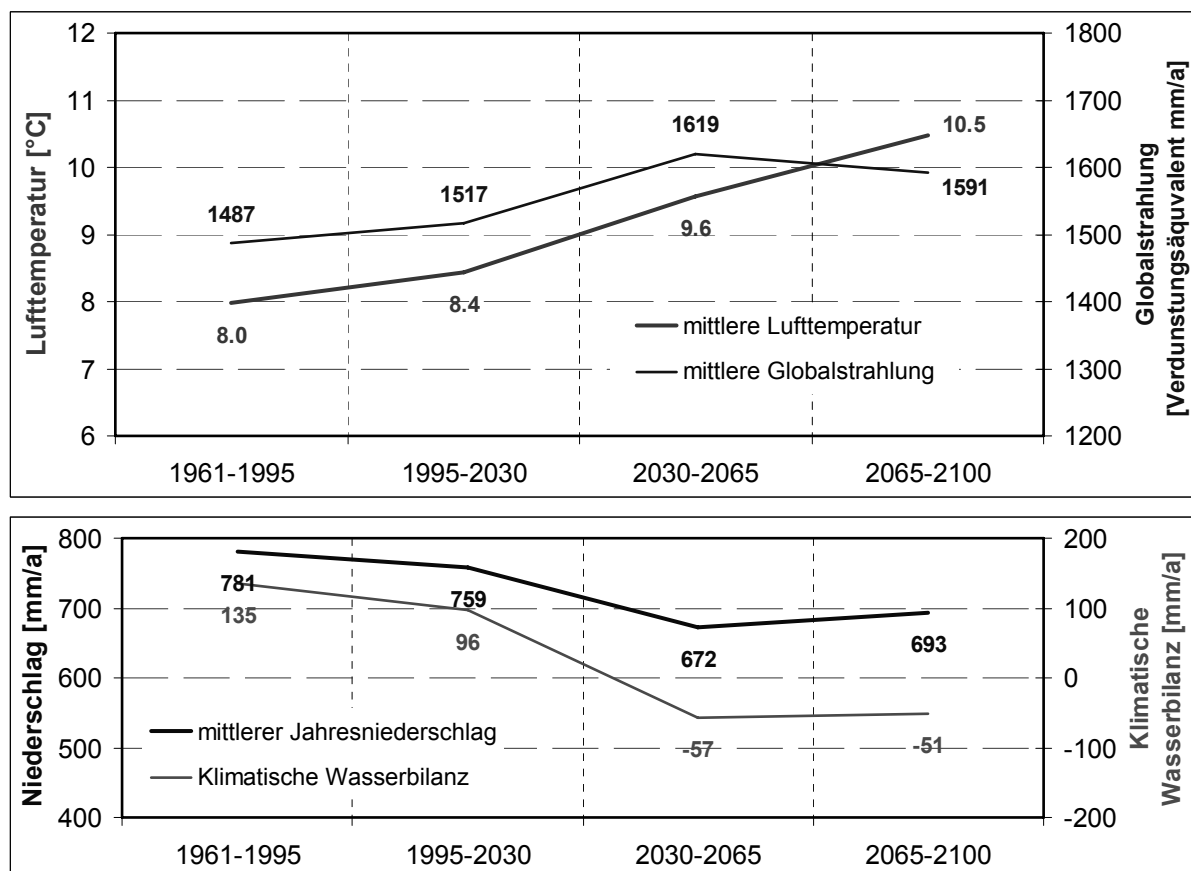


Abb. 3: Klimaprojektion des WEREX 4-Szenarios für Chemnitz (NOR-A2), mittlere Situation in 35-Jahr-Perioden

2.2 Böden, Simulationsergebnisse Wasserhaushalt Ist-Zustand

Die Eigenschaften der sechs der Klimaregion Chemnitz zugeordneten Böden des Bodenatlas Sachsen sind in Tab. 3 aufgeführt. Entsprechend der Substratschichtung erfolgte eine nutzungsabhängige Horizontierung und Parametrisierung diese Böden für die vier untersuchten Landnutzungsformen Ackerbau, Grünland, Laub- und Nadelwald.

Tab. 3: Ausgewählte Böden der Region Chemnitz, Eigenschaften (nFKWe – Nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum; LBF-Nr. laut Bodenatlas Sachsen LfUG, 2007)

Bodenform	nFKWe in mm	Boden- art	Grob- boden in %	Anmerkung	LBF Nr.
Braunerde aus Schuttlehmsand über Verwitterungsschutt	46-57	<u>SI3</u> SI3	<u>55</u> 88	Oberhang, sehr flachgründig	39_00
Braunerde aus grusführendem Lehmschluff über Lehmsandschutt	120	<u>UIs</u> SI3	<u>7</u> 90		43_01
Pseudogley-Parabraunerde aus grus- führendem Lösslehm über Verwitte- rungslehmgrus	154-207	<u>UIs</u> SI4	<u>6</u> 38		301_00
Pseudogley aus Lösslehm	212-272	Ut4	0	rezent wenig ver- nässt	51_00
Stagnogley grusführender Sandlehm über Verwitterungsschuttlehm	68-91	<u>SI4</u> Ls2	<u>18</u> 44	Stauschicht im Un- terboden	47_01
Hangpseudogley aus grusführendem Sandlehm über Grussandlehm	128-165	<u>SIu</u> SI4	<u>10</u> 44	Zuschusswasser Interflow	41_00

Bis auf die Lössböden weisen alle ausgewählten Böden einen hohen Skelettgehalt auf. In Abhängigkeit von den übrigen hydraulischen Bodeneigenschaften kommt es dadurch zu einer stark eingeschränkten Wasseraufnahmekapazität, was insbesondere bei den Braunerden bei der angenommenen Hangneigung von 5° zur Bildung von Interflow RH und Oberflächenabfluss RO zu Lasten der Wasserspeicherung und der Grundwasserneubildung führt (Abb. 4). Dieses Wasser steht nicht mehr für die Vegetation zur Verfügung, was schon heute die Nutzung der flachgründigen Braunerde einschränkt (s. Abb. 5, unterer Graph) und diese besonders verwundbar bzgl. Klimaveränderungen macht.

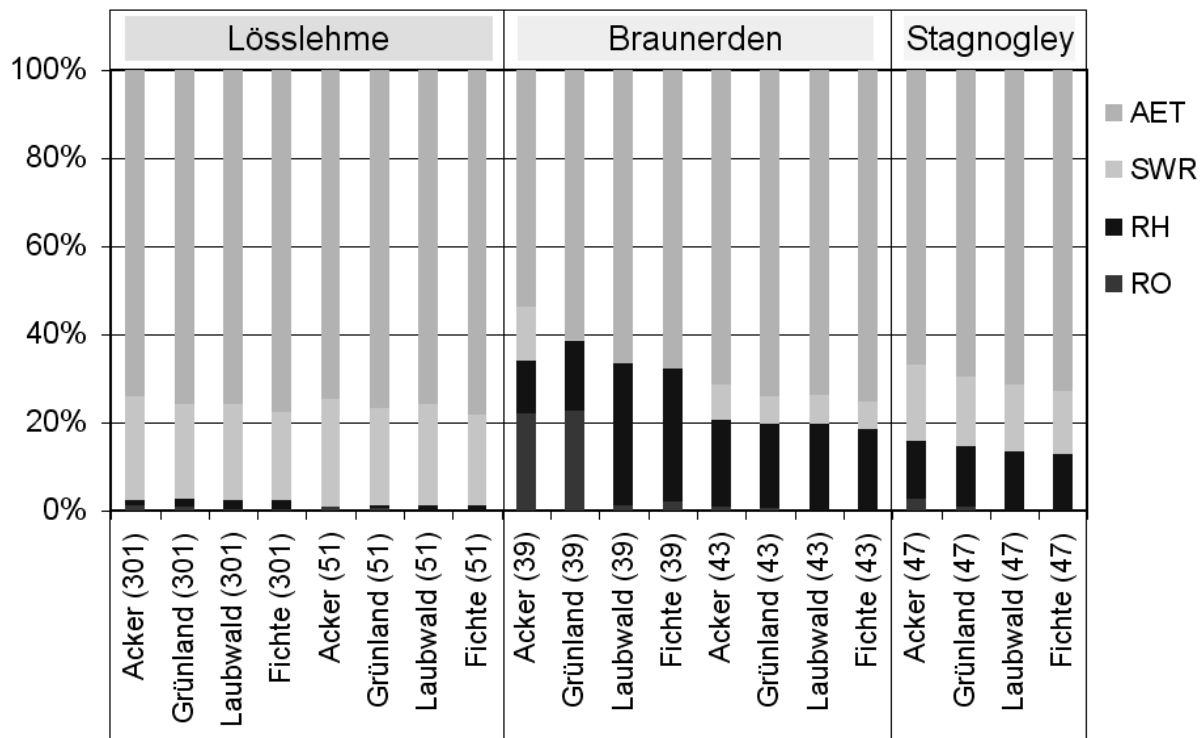


Abb. 4: Simulierte mittlere Aufteilung des Niederschlagsangebots in Verdunstung (AET), Sickerwasser (SWR), Interflow (RH) und Oberflächenabfluss (RO) im Zeitraum 1961-2005 für die Station Chemnitz

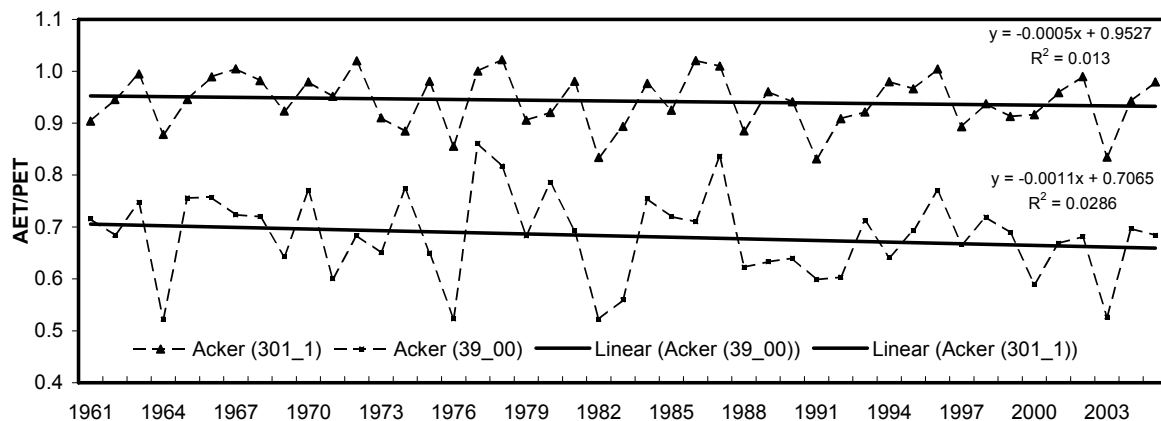


Abb. 5: Trockenstress auf dem Lössboden 301 und der Braunerde 39 unter Ackernutzung

Die Simulationsergebnisse auf der Grundlage der gemessenen DWD-Daten (1961-2005) zeigen die vom Witterungsverlauf der jeweiligen Jahre abhängigen Schwankungen (Abb. 5 und 6). Ein gesicherter Trend lässt sich in den vergangenen 45 Jahren in Bezug auf den Bodenwasserhaushalt kaum ableiten, wie auch die folgende Abbildung verdeutlicht. In Abb. 6 wird außerdem der Einfluss der Bodennutzung auf die Verdunstung in den einzelnen Jahren deutlich, der sich in den langjährigen Mittelwerten auf dem Lössboden kaum ausprägt (Abb. 4).

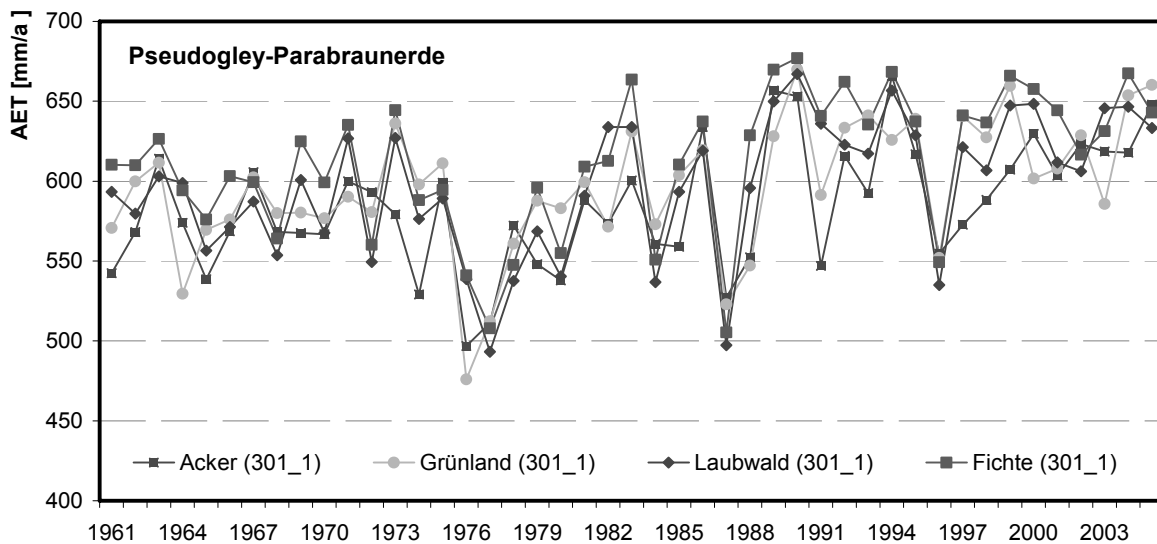


Abb. 6: Entwicklung der jährlichen Verdunstung auf der Pseudogley-Parabraunerde 301 (nFKWe 154-207 mm) unter unterschiedlicher Nutzung (DWD Chemnitz 1961-2005)

2.3 Simulationsergebnisse Wasserhaushalt Zukunft

Die Simulationsergebnisse zur Entwicklung des Wasserhaushaltes zeigen, dass die Böden der Region Chemnitz in sehr unterschiedlichem Maße auf den Klimawandel reagieren (Abb. 7.

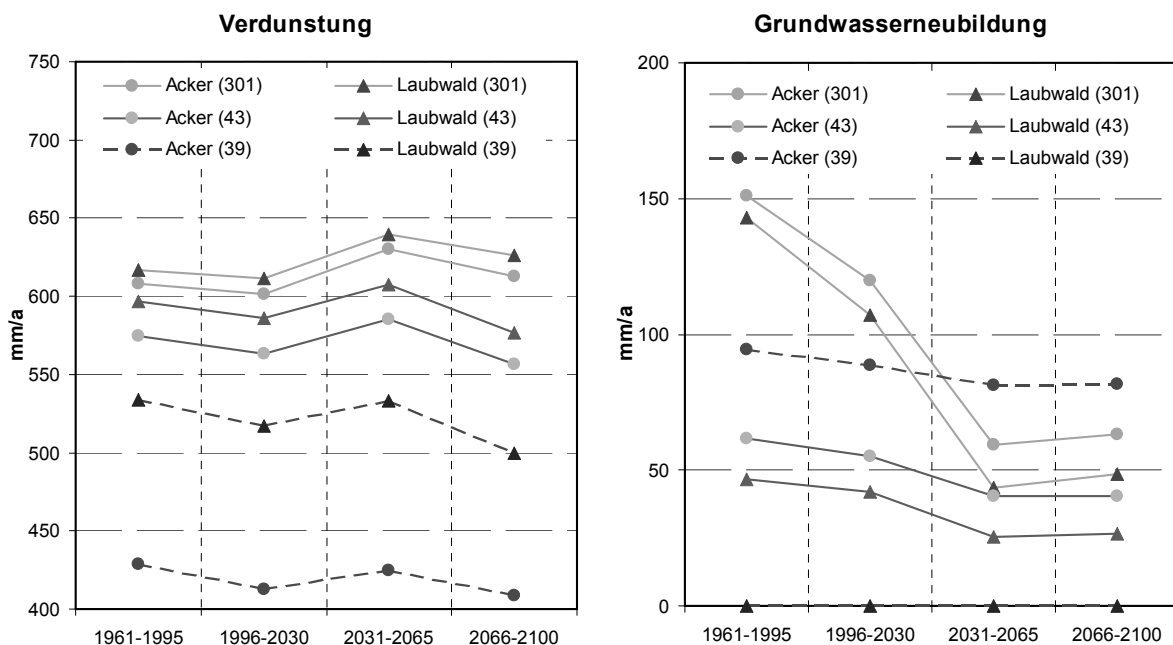


Abb. 7: Entwicklung von aktueller Evapotranspiration und Grundwasserneubildung nach WE-REX IV A2 NOR (1961-2100 Chemnitz) auf Boden 301 (nFKWe 154-207 mm), Boden 43 (nFKWe 120 mm) und Boden 39 (nFKWe 50 mm)

Wie das Verhältnis von aktueller zu potenzieller Transpiration als Indikator für die Wasserversorgung der Vegetation zeigt (Abb. 8), ist in den tiefgründigen Lössböden im Durchschnitt auch zukünftig eine ausreichende Wasserversorgung für die Vegetation gewährleistet, wobei die Anzahl der sehr trockenen Jahre von 3% auf 15% zunimmt (Abb. 9). Dabei geht jedoch die Grundwasserneubildung von heute 150 mm/a auf ca. 60 mm/a sehr stark zurück, was eine Verschärfung des Gebietswasserhaushaltes erwarten lässt.

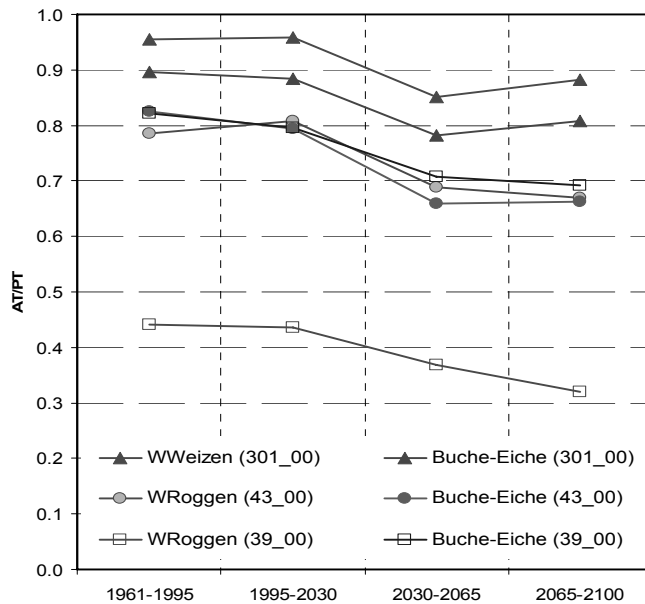


Abb. 8: Entwicklung Verhältnis von aktueller zu potenzieller Transpiration nach WEREX IV A2 NOR (1961-2100 Chemnitz) auf Boden 301 (nFKWe 154-207 mm), Boden 43 (nFKWe 120 mm) und Boden 39 (nFKWe 50 mm)

Böden mit einer nFKWe von 120 mm (43) bewegen sich ab 2030 im Durchschnitt im Bereich einer kritischen Wasserversorgung. In fast jedem 2. Jahr liegt das AT/PT-Verhältnis unter 0,7. Der sehr flachgründige Boden (39), der im Grunde nicht als Acker genutzt wird, wird auch als Waldstandort einen erheblichen Wandel durchmachen. Auf diesen Standorten werden nur noch trockenheitsresistente Baumarten und geringere Bestockungsdichten existieren können.

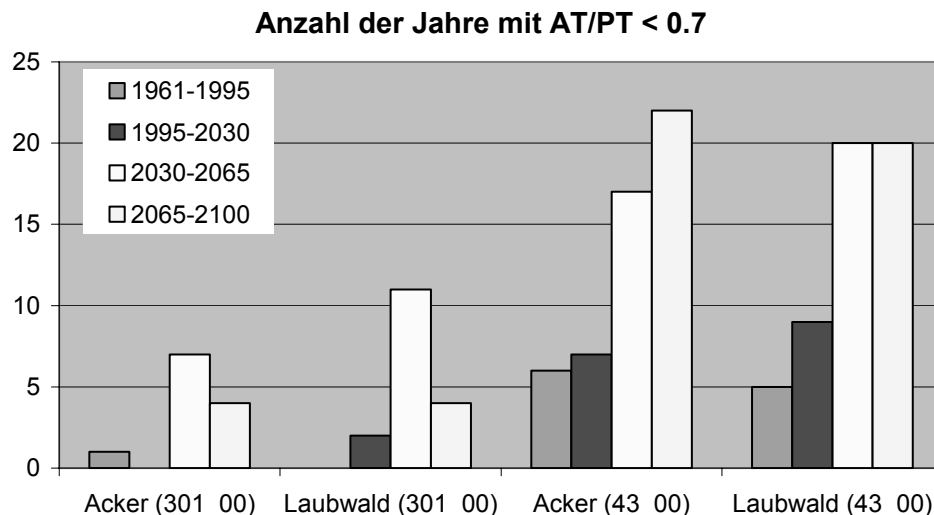


Abb. 9: Entwicklung Verhältnis von aktueller zu potenzieller Transpiration nach WEREX IV A2 NOR (1961-2100 Chemnitz) auf Boden 301 (nFKWe 154-207 mm) und Boden 43 (nFKWe 120 mm)

3. Ausblick

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die DWD-Daten und der Klimaprojektion *WEREX IV A2 NOR* für die Station Chemnitz.

Bis Ende 2008 werden die in der Projektkonzeption aufgeführten sächsischen Standorte und Landnutzungen bearbeitet. Als Standard Klimaprojektion wird voraussichtlich *WEREX IV A1B* mit den Laufreihen *NOR*, *MIN*, *MAX* zu Grunde gelegt.

In Bezug auf die Klimafolgenanpassung sind standortgerechte Fruchtfolgen/Sorten und Baumartenzusammensetzung sowie Bestockungsdichten zu betrachten.

4. Literatur

- CEC, 2006. Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für den Freistaat Sachsen und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die Szenarios B1, A1B und A2 (WEREX IV), Abschlussbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- DVWK, 1996. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238.
- Klöcking, B., 2006. Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO. In: Pfützner, B. (Ed.), Modelldokumentation ArcEGMO. <http://pscn.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5, 2002
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), 2007. Bodenatlas des Freistaates Sachsen im Übersichtsmaßstab 1: 200.000, Teil 4: Auswertekarten zum Bodenschutz, DVD

Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasser

Tina Wixwat, Leibniz Universität Hannover, Hannover; Email: TWixwat@aol.com

Der Klimawandel ist zurzeit ein viel diskutiertes Thema. Auswirkungen auf den Wasserhaushalt werden auch für Niedersachsen erwartet. Da die Grundwasserneubildung unter anderem direkt mit Niederschlag und Temperatur zusammenhängt, kann diese ebenfalls durch den Klimawandel Änderungen unterzogen sein. Auch die Sonnenscheindauer hat Einfluss auf die Verdunstung und somit auch wieder einen Einfluss auf die Grundwasserneubildung.

Der IPCC veröffentlichte mehrere mögliche Szenarien (A1B, B1, B2), wie sich Klima, Wirtschaft und Bevölkerung bis zum Jahr 2100 verändern und den CO₂ -Ausstoß beeinflussen könnten. Für die verschiedenen Szenarien wurden mit dem globalen Klimamodell ECHAM5-MPI-OM Berechnungen durchgeführt

(ROECKNER et al. 2006), die einen Temperaturanstieg von 2 bis 3. prognostizieren. Diese Daten bilden die Grundlage für das regionale Klimamodell WETTREG (SPEKAT et al. 2007). Dieses Modell lässt Rückschlüsse auf kleinräumige Klimaänderungen in Niedersachsen zu.

In Niedersachsen stammen 86% des Trinkwassers aus dem Grundwasser (REUTTER 2005). Demnach ist es auf Grund einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung von Bedeutung, ob sich die Grundwasserneubildung verändern könnte.

Diese Veröffentlichung entstand auf der Basis der Diplomarbeit „Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen“ (WIXWAT 2007)

Klimamodell

Das IPCC veröffentlichte im SRES-Bericht (SRES: Special Report on Emissions Szenarios) vier Klimaszenarien für die Zukunft bis zum Jahr 2100 (IPCC 2000).

A1-Szenario

Als Modellszenario wurde das A1B-Szenario verwendet. Das A1-Szenario beschreibt eine Welt mit einem schnellen und erfolgreichen Wirtschaftswachstum und einem geringen Bevölkerungswachstum. Es wird angenommen, dass die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 ihren Höhepunkt erreicht und danach bis

2100 wieder abnimmt. Es werden neue und effiziente Techniken eingeführt. Die regionalen Unterschiede im Pro-Kopf-Einkommen werden geringer, so dass die Grenzen zwischen „reichen“ und „armen“ Ländern zunehmend verschwinden. Der Energieverbrauch in diesem Szenario ist sehr hoch. Das A1 Szenario wird in vier Untergruppen unterteilt mit verschiedenen Änderungen im Energiesystem von Kohle über Gas und Öl bis zu nicht-fossilen Brennstoffen. Eine Untergruppe ist das A1B Szenario, welches für diese Arbeit verwendet wurde. Es beschreibt das „Höhere Emissionsszenario“ bei dem der Ausstoß vom fossilem CO₂ bis 2050 weitergeht, um danach bis 2100 wieder etwas abzunehmen.

Regionales Klimamodell WETTREG

Die Klimadaten, die in dieser Arbeit verwendet werden, wurden durch das statistische regionale Klimamodell WETTREG (Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode) generiert. Klimamo-

delle sind keine Wettervorhersagen für bestimmte Tage in der Zukunft, sondern zeigen, wie sich das Klima entwickeln

könnte, wenn bestimmte CO₂ -Emissionen in Verbindung mit Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung eintreten (UBA 2007). Bei einem statistischen Klimamodell wird davon ausgegangen, dass die globalen Modelle die Strukturen der atmosphärischen Zirkulation entsprechend beschreiben (SPEKAT et al. 2007).

Aus diesen globalen Modellen werden statistische Beziehungen von Großwetterlagen entwickelt, die dann in kleinerem Maßstab angewendet werden können.

Grundwasserneubildung

Die DIN 4049-3 beschreibt die Grundwasserneubildung als Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser, wobei Grundwasser unterirdisches Wasser ist, das die Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird.

Grundwasser wird durch Versickerung von Niederschlägen und Oberflächenwasser gebildet, wobei die Versickerung wegen jahreszeitlicher Unterschiede des Niederschlages nicht kontinuierlich erfolgt (ADAM et al. 2000). Zudem wird die Grundwasserneubildung noch von der Verdunstung beeinflusst.

Berechnet wurde die Grundwasserneubildung mit dem Berechnungsverfahren GROWA06. Es baut auf dem empirischen Verfahren von RENGGER & WESSOLEK (1996) zur Berechnung der realen Verdunstung auf. Ursprünglich wurde dieses Verfahren als Modell GROWA98 zur Berechnung der Sickerwasserrate entwickelt (DÖRHÖFER et al. 2001). Es erfolgte eine Weiterentwicklung zum Modell GROWA06.

Für die Ermittlung der Zuzückung zum Grundwasser nach GROWA werden folgende Daten benötigt:

- mittlerer Jahresniederschlag
- mittlerer Niederschlag im Winterhalbjahr
- mittlerer Niederschlag im Sommerhalbjahr
- mittlere jährliche Grasreferenzverdunstung nach WENDLING
- pflanzenverfügbares Bodenwasser (wird berechnet aus der nutzbaren Feldkapazität
- des effektiven Wurzelraums und dem mittleren kapillaren Aufstieg)
- Nutzungsart
- Versiegelungsgrad oder Versiegelungsstufe
- Hangneigung
- Exposition
- A/Au-Verhältnis (aus Grundwasserstufe, Staunässestufe und Hangneigung)
- Hydrologische Gesteinseinheiten (aus Bodenhorizonte, Bodenausgangsgesteine,
- Festbodenanteil

Untersuchungsgebiet NE-Heide

Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet NE-Heide befindet sich im nordöstlichen Niedersachsen (s. Abb1). Das Untersuchungsgebiet NE-Heide wurde gewählt, da dieses in der trockensten Region Niedersachsens liegt und dieses Gebiet intensiv landwirtschaftlich genutzt wird. Die Intensität der ackerbaulichen Nutzung drückt sich auch in der zusätzlichen Feldberegnung von 80 mm/a (mehrfähriges Mittel) aus. Für diese Region hat es somit eine große Bedeutung in wie weit sich die Grundwasserneubildungsrate und damit das Grundwasserdargebot im Rahmen des Klimawandels verändern könnte.

Geografischer Überblick

Größere Ortschaften und Städte in diesem Untersuchungsgebiet sind im Norden an der Elbe Hitzacker und Dannenberg und im Süden Lüchow und Wustrow sowie im Westen Zernien.

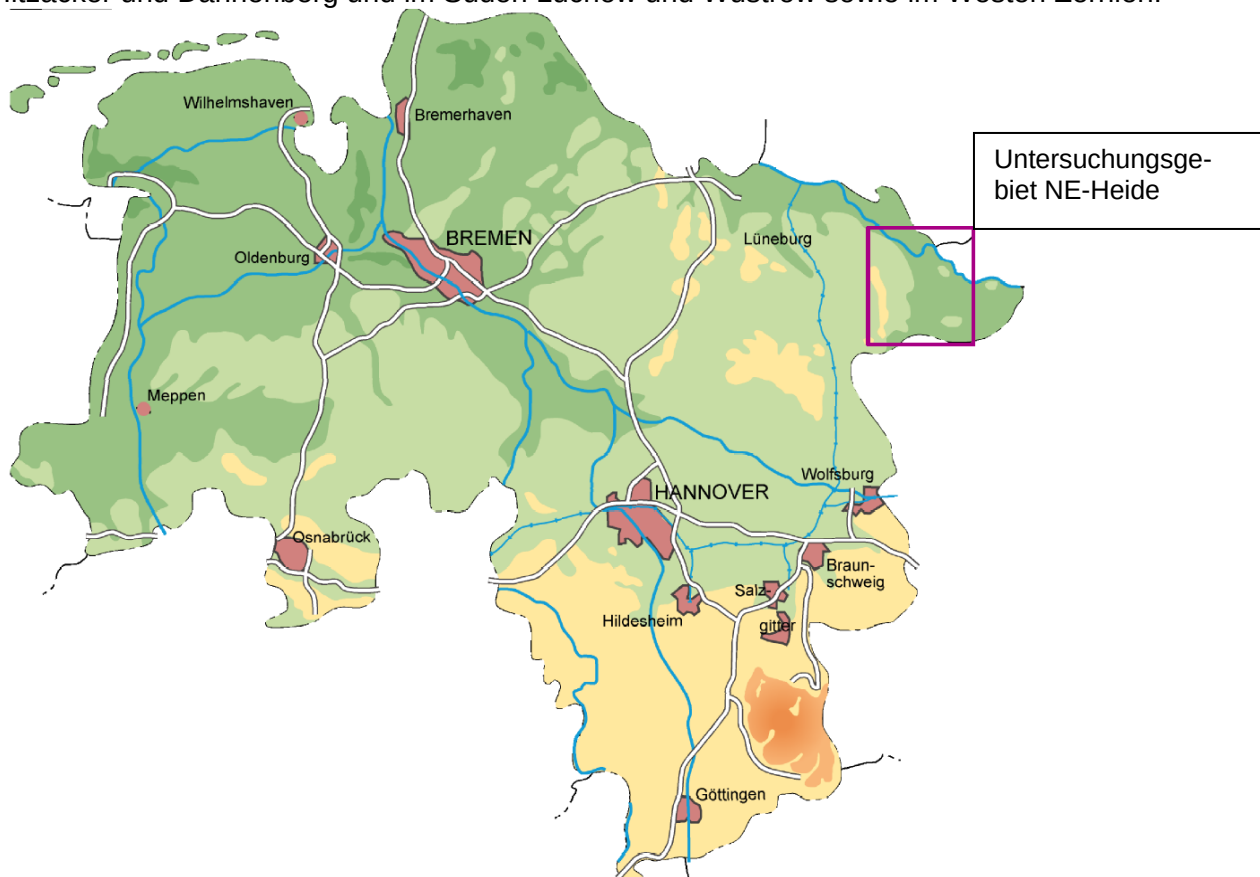


Abb.1: Übersicht über die Lage des Untersuchungsgebietes

Grundsätzlich ist dieses Gebiet eher dünn besiedelt. Der westliche Teil des Untersuchungsgebietes gehört zur Geest. Der östliche Teil des Untersuchungsgebietes ist durch weiträumige Niederungen gekennzeichnet.

Geologischer Überblick

Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes sind vorwiegend Schmelzwasserablagerungen aus dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit vorhanden. Flächig treten auch immer wieder Grundmoränen-Ablagerungen aus dem Jüngeren Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit auf, welche sich aus Geschiebelehm und -mergeln zusammensetzen. Die Grundmoränenablagerun-

gen weisen toniges, sandiges und kiesiges Material auf. Im südlichen und zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes treten vereinzelt holozäne Ablagerungen auf, die zum Teil als Niedermoore ausgebildet und als Torf- und Muddeablagerungen zu erkennen sind. Der nordöstliche Bereich des Untersuchungsgebietes besteht aus holozänen Flussablagerungen wie z.B. Auelehmen und Auesanden, welche aus Ton, Schluff und Sand bestehen. Südlich daran schließt sich ein großes Gebiet an, welches aus weichselzeitlichen Flussablagerungen (Niederterrasse) besteht. Diese Ablagerungen werden teilweise durch Flugsand überdeckt, der ebenfalls während der Weichsel-Kaltzeit abgelagert wurde. Südlich von Langendorf befinden sich ebenfalls Grundmoränenablagerungen des Jüngeren Drenthe-Stadiums. Grundmoränen treten auch wieder in dem südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes auf.

Böden

Dieses Untersuchungsgebiet ist von Gleyen, Podsolen und Braunerden geprägt. Im östlichen Bereich des ausgewählten Gebietes sind von Norden nach Süden zwischen Dannenberg und Lüchow weitflächig sehr tief reichende Gleye aus reinen Sanden ausgebildet. Weiter nach Osten schließen sich dann Gley-Podsole an, die jedoch auch wieder von reinen Gleyen unterbrochen werden. Diese Böden bildeten sich über Flussablagerungen der Niederterrasse. Gleye und Podsole wechseln sich in diesem Bereich ab. Südöstlich von Lüchow schließen sich dann Podsole, Podsol-Braunerden und Braunerden an. Diese bildeten sich sowohl auf Grundmoränen des Jüngeren Drenthe-Stadiums (Podsole) als auch auf Schmelzwasserablagerungen (Braunerden). Allerdings treten auch hier wieder Gleye auf. Vereinzelt kommen in diesem Bereich aber auch Niedermoore vor, welche die Gleye zum Teil überlagern. Es treten immer wieder Hochmoorböden auf. Westlich von Lüchow schließen sich ebenfalls Braunerden an; teilweise auch Pseudogley-Braunerden, da hier sowohl Grundmoränenmaterial des Warthe-Stadiums als auch Schmelzwasserablagerungen des Drenthe-Stadiums vorhanden sind. In diesem Bereich des Untersuchungsgebietes ändern sich die Bodentypen kleinräumiger. Hier kommen zudem noch Gleye und auch Gley-Podsole vor. Der Südwesten dieses Gebietes ist geprägt von Podsol-Braunerden. Es treten aber auch reine Braunerden auf. Südlich von Clenze treten Gleye mit Niedermoorauflage auf. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes kommen vorwiegend Podsol-Braunerden über Schmelzwasserablagerungen vor. Bei Hitzacker und südlich von Zernien sind diese jedoch aus Lehmsanden über Reinsanden aufgebaut. Die restlichen Podsol-Braunerden bestehen überwiegend aus Reinsanden. Unterbrochen ist dieser Bodentyp nur in kleineren Bereichen von Pseudogley-Braunerden oder Pseudogley-Podsolen. Entlang der Elbe sind vorwiegend Gley-Braunauenböden zu finden, bei denen Lehmsande über Kiesen zu finden sind. Nördlich von Dannenberg treten Braunauenböden auf, die aus Lehmschluffen und Schlufftonen bestehen und sich über holozänen Flussablagerungen bildeten.

Veränderung der Grundwasserneubildung

Für Untersuchungsgebiet I NE-Heide wurde die Grundwasserneubildung zum Einen für eine 30 Jahres Spanne von 2071 - 2100 und zum Anderen als Vergleichszeitraum von 1961 - 1990 berechnet. Für das ausgesuchte Gebiet sind die Klimastationen in Lüchow und Uelzen von Bedeutung. Außerdem werden die Klimastation Lüneburg und die umliegenden Niederschlagsstationen betrachtet.

Klima

In dem 30-Jährigen Mittel von 1961 - 1990 ergab sich für die Klimastation Lüneburg eine mittlere Jahrestemperatur von 8,8°C Die Klimastation Lüchow erreichte eine durchschnittliche Temperatur von 8,6°C und die Klimastation Uelzen verzeichnete eine durchschnittlichen Temperatur von 8,4°C und somit die geringste Temperatur der drei Klimastationen. Im Zeitraum von 2071-2100 soll die durchschnittliche Jahrestemperatur um ca. 2,5°C zunehmen.

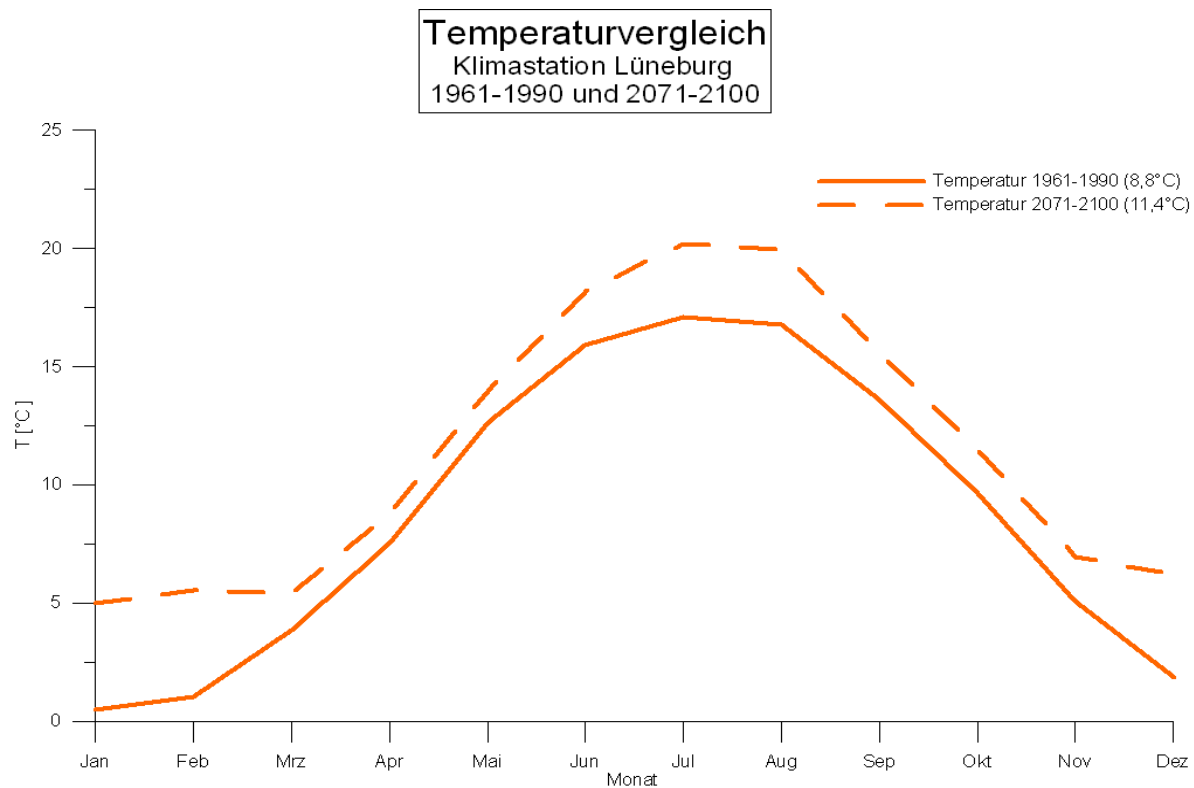


Abb. 2: Vergleich der mittleren monatlichen Temperaturen der Klimastation Lüneburg

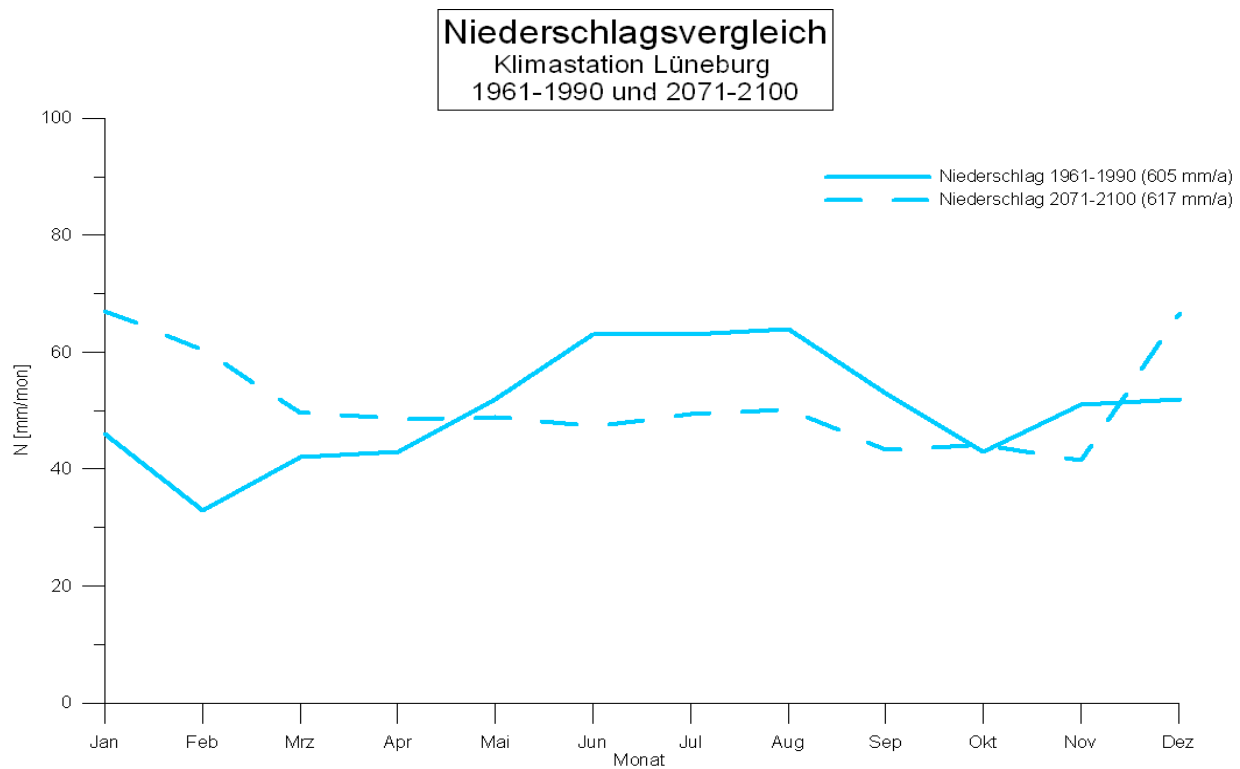


Abb. 2: Vergleich der mittleren monatlichen Niederschläge der Klimastation Lüneburg

Die Klimastation Lüchow weist für die Jahre von 1961-1990 mit 533 mm/a den geringsten mittleren Jahresniederschlag auf. Die Klimastationen Lüneburg und Uelzen verzeichnen mit 605 bzw. 615 mm/a schon eine deutlich höhere jährliche Niederschlagsmenge. Die höchsten mittleren monatlichen Niederschlagsmengen wurden in den Sommermonaten verzeichnet. Die geringsten monatlichen Niederschlagsmengen werden bei allen drei Stationen im Oktober und im Februar verzeichnet. Die Station Lüneburg soll gemäß der WETTREG-Daten eine geringe Zunahme der Niederschläge um 12 mm/a, die Station Lüchow eine Abnahme um 20 mm/a verzeichnen; so dass die Werte als ungefähr gleich bleibend angesehen werden können. Nach Betrachtung der von Uelzen benachbarten Niederschlagsstationen Eimke, Teyendorf und Wrestedt-Stederdorf wurde angenommen, dass der Jahresniederschlag über das 30-jährige Mittel um 35 mm/a steigt (s. Abb. 2). Bei der Betrachtung der Niederschlagsverteilungen ist auffällig, dass sich die höchsten monatlichen Niederschlagsmengen von den hydrologischen Sommermonaten in die hydrologischen Wintermonate verschieben. Dieses ist sehr bedeutsam für die Grundwasserneubildung, da diese, auf Grund der geringen Verdunstung, vorwiegend in den Wintermonaten stattfindet.

Beim Vergleich der FAO-Grasreferenzverdunstung für diese drei Stationen über den Zeitraum von 1961 - 1990 fällt wieder auf, dass alle drei Stationen einen ähnlichen Wert aufweisen. Dieses erklärt sich damit, dass die Verdunstung von der Temperatur, die bei den drei Klimastationen ähnlich war, abhängig ist, ebenso wie von der Sonnenscheindauer. Für den Zeitraum von 2071 - 2100 soll die Verdunstung bei jeder Station um ungefähr 100mm/a zunehmen.

Grundwasserneubildung 1961 - 1990

Die Grundwasserneubildungsraten weisen im Gebiet I eine hohe Schwankungsbreite auf. Es gibt sowohl Flächen mit einer Grundwasserneubildungsrate von ungefähr 230 mm/a als auch Flächen mit einer Grundwasserzehrung von über 20 mm/a; vorwiegend im östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Grundwasserzehrung oder eine leichte Zunahme der Grundwasserneubildung bis zu 35 mm/a tritt entlang der Elbe, östlich von Lüchow und an der südlichen Grenze des Untersuchungsgebietes Richtung Sachsen-Anhalt auf. Eine Grundwasserneubildung von 36 bis 85 mm/a kommt über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt vor. Im westlichen Bereich befinden sich Flächen mit Grundwasserneubildungsraten bis 85 mm/a, genauer südlich von Hitzacker, südöstlich von Zernien im Bereich des Hohen Mechtin und im südlichen Draehn. Auf wenigen Flächen im westlichen und südlichen Teil des Untersuchungsgebietes kommt es zu Grundwasserneubildungen von 86 - 126 mm/a. Grundwasserneubildungen von bis zu 170 mm/a befinden sich überwiegend im östlichen Untersuchungsgebiet. Zu den höchsten Grundwasserneubildungen kommt es im westlichen Bereich dieses Untersuchungsgebietes. Insgesamt weist das östliche Untersuchungsgebiet einheitlichere Grundwasserneubildungsraten auf. Im westlichen Bereich ändert sich die Grundwasserneubildung kleinräumiger auf Grund von Reliefunterschieden (s. Abb.3).

Veränderung der Grundwasserneubildung

Im östlichen Bereich von Untersuchungsgebiet I, welcher der Klimastation Lüchow zugeordnet ist, kommt es bei den angenommenen Klimaänderungen der WETTREG-Daten zu deutlich anderen Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung, da der Niederschlag dieser Station um 20 mm/a abnimmt. Diese leichte Abnahme der Niederschläge um fast 4% wirkt sich bei den meisten Flächen nicht auf die Grundwasserneubildung aus. Das bedeutet, dass auf den meisten Flächen, auf denen mehr als 35 mm Grundwasser pro Jahr gebildet wird, dieses auch beibehalten wird. Bei einem geringen Teil dieser Flächen ist es jedoch so, dass es zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung um über 30% kommen kann.

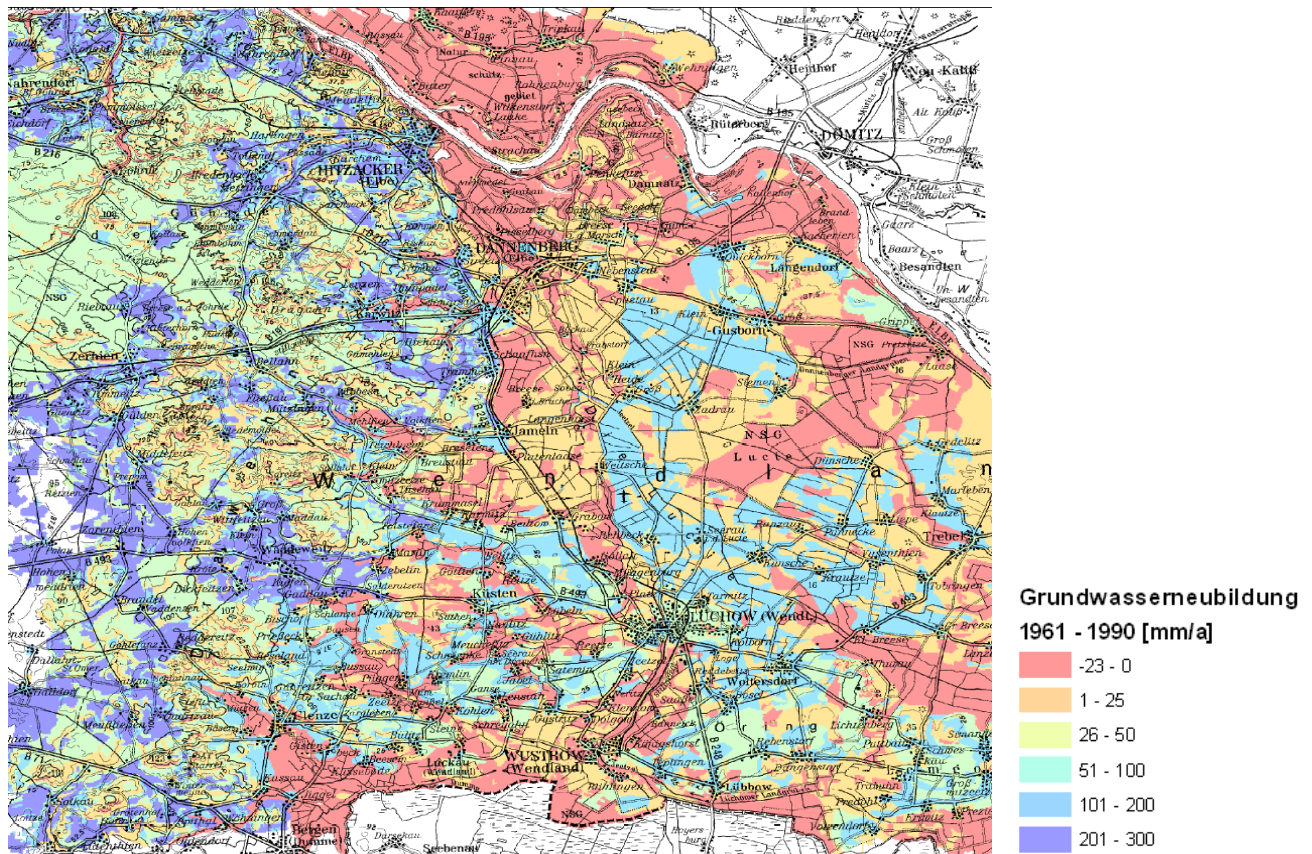


Abb.3: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet NE-Heide

Grundsätzlich erscheint es in diesem Teil des Untersuchungsgebietes so, dass je weniger Grundwasser vorher gebildet wurde, diese geringe Menge dann auch noch abnimmt. Flächen, auf denen es von 1961 - 1990 zu Grundwasserzehrung kam, behalten diese bei. Auf einigen Flächen kommt die Grundwasserzehrung hinzu, auch wenn dieses in der Übersichtskarte als gleich bleibend zu erkennen ist, da sich die Werte der Veränderung in dem Bereich von 25 - (-25) mm/a befinden. Dieses lässt sich damit erklären, dass die Niederschläge abnehmen, sich aber gleichzeitig die Evapotranspiration erhöht. Aus diesem Grunde kann es auch zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung um 85% oder mehr kommen. Die Mehrzahl der Flächen für das gesamte Untersuchungsgebiet I weisen eine Erhöhung der Grundwasserneubildung um 26 - 75 mm/a auf.

Bei Abnahmen der Grundwasserneubildung um etwa 30 mm/a ab werden die Flächen häufig forstwirtschaftlich genutzt. Die Grundwasserflurabstände sind in diesen Bereich sehr gering; sie betragen ungefähr einen Meter. Auffällig ist, dass im südlichen Teil dieses Untersuchungsgebietes die Grundwasserneubildung häufig unter Grünland abnimmt. Allerdings sind auch geringe Grundwasserflurabstände von höchstens einem Meter zu verzeichnen. Zu großen Abnahmen der Grundwasserneubildung kommt es ganz im Osten des Untersuchungsgebietes. Dort sind wiederum größere Nadelwaldflächen anzutreffen auf denen es zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung kommt. Hier kommt noch hinzu, dass der Grundwasserflurabstand sehr gering ist und höchstens zwei Meter beträgt, so dass die Bäume bei Trockenheit ihren Wasserbedarf decken können.

Auf dem überwiegenden Teil der Flächen im westlichen Untersuchungsgebiet ist die Grundwasserneubildungsrate gleich bleibend (s. Abb. 4). Im Bereich um Hitzacker fällt auf, dass Flächen, die im Vergleichszeitraum eine erhöhte Grundwasserneubildung von 170 - 230 mm/a aufwiesen, diese nun noch um ca. 45% erhöhen. Bei näherer Betrachtung der Flächen, auf denen die Grundwasserneubildung noch weiter zunimmt, fällt auf, dass diese Flächen ackerbaulich genutzt werden.

Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes nimmt die Grundwasserneubildung in den Niederungen und in Bereichen mit geringen Grundwasserflurabständen bis ungefähr 1,50 m, um 26 - 50 mm/a zu. Allerdings ist dies nicht auf bestimmte Höhenlagen begrenzt, sondern zudem noch von der Nutzung abhängig. Auf als Grün- und Ackerland genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung bei höheren Grundwasserflurabständen zu (s. Abb. 4).

Bei näherer Betrachtung der Grundwasserflurabstände dieser Region fällt auf, dass sich für das gewählte Untersuchungsgebiet zwei Bereiche ergeben. Zum Einen, ein Bereich im Westen des Gebietes mit hohen und zum Anderen im Osten des Gebietes einen Bereich mit geringeren Grundwasserflurabständen. Der östliche Bereich weist zum größten Teil einen Grundwasserflurabstand von höchstens 4,6 m auf. Im südlichen Bereich dieses Gebietes kann es vereinzelt zu Grundwasserflurabständen bis zu 12,8 m kommen. Des Weiteren kommen hier sogar zwei Bereiche vor, bei denen der Grundwasserflurabstand sogar auf einzelnen Flächen über 40 m betragen kann.

Zusammenfassung

Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes nimmt die Grundwasserneubildung in den Niederungen und Bereichen mit geringem Grundwasserflurabstand bis ungefähr 1,50 m zu. Allerdings ist dies nicht auf bestimmte Höhenlagen begrenzt, sondern vielmehr von der Nutzung abhängig. Auf als Grün- und Ackerland genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung bei höheren Grundwasserflurabständen zu.

Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes ist eine gegenteilige Entwicklung der Grundwasserneubildung im Vergleich zum westlichen Teil sichtbar. Der östliche Bereich dieses Untersuchungsgebietes wird der Klimastation Lüchow zugeordnet. Da diese eine Abnahme der Niederschläge um 20 mm/a verzeichnet, aber gleichzeitig einen Anstieg von Temperatur und Sonnenscheindauer und damit der Evaporation, aufweist, kommt es in diesem Bereich auf keiner Teilfläche zu einer Zunahme der Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2071 - 2100. Der überwiegende Teil der Flächen weist jedoch eine gleich bleibende Grundwasserneubildung auf.

Bei einer Erhöhung der Temperatur um 2,5. und einer leichten Abnahme der Niederschläge um 12 mm/a (östlicher Bereich des Untersuchungsgebietes) bleibt die Grundwasserneubildung zum größten Teil fast gleich der Grundwasserneubildung des Zeitraumes von 1961 - 1990. Allerdings kommt es auf vielen als Nadelwald genutzten Flächen zu Abnahmen der Grundwasserneubildung bis zu 50 mm/a. Diese Flächen befinden sich mehrheitlich im Nordosten des Untersuchungsgebietes, aber auch vereinzelt im südlichen Gebiet. Die Grundwasserflurabstände in diesen Bereichen sind sehr gering (max. 0,50 m), so dass Pflanzen, z. B. Nadel- und Laubbäume das Grundwasser leicht erreichen können, um ihren Wasserbedarf zu decken. Bei einer Zunahme der Niederschläge um 35 mm/a bleibt die Grundwasserneubildung unter Waldstandorten weitgehend gleich. Die Grundwasserflurabstände sind in dem westlichen Bereich des untersuchten Gebietes höher; sie können über 40 m betragen. Unter landwirtschaftlich genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung um bis zu 50 mm/a zu. Die Landnutzung nimmt großen Einfluss auf die Grundwasserneubildung bei einer Zu- oder Abnahme der Niederschläge.

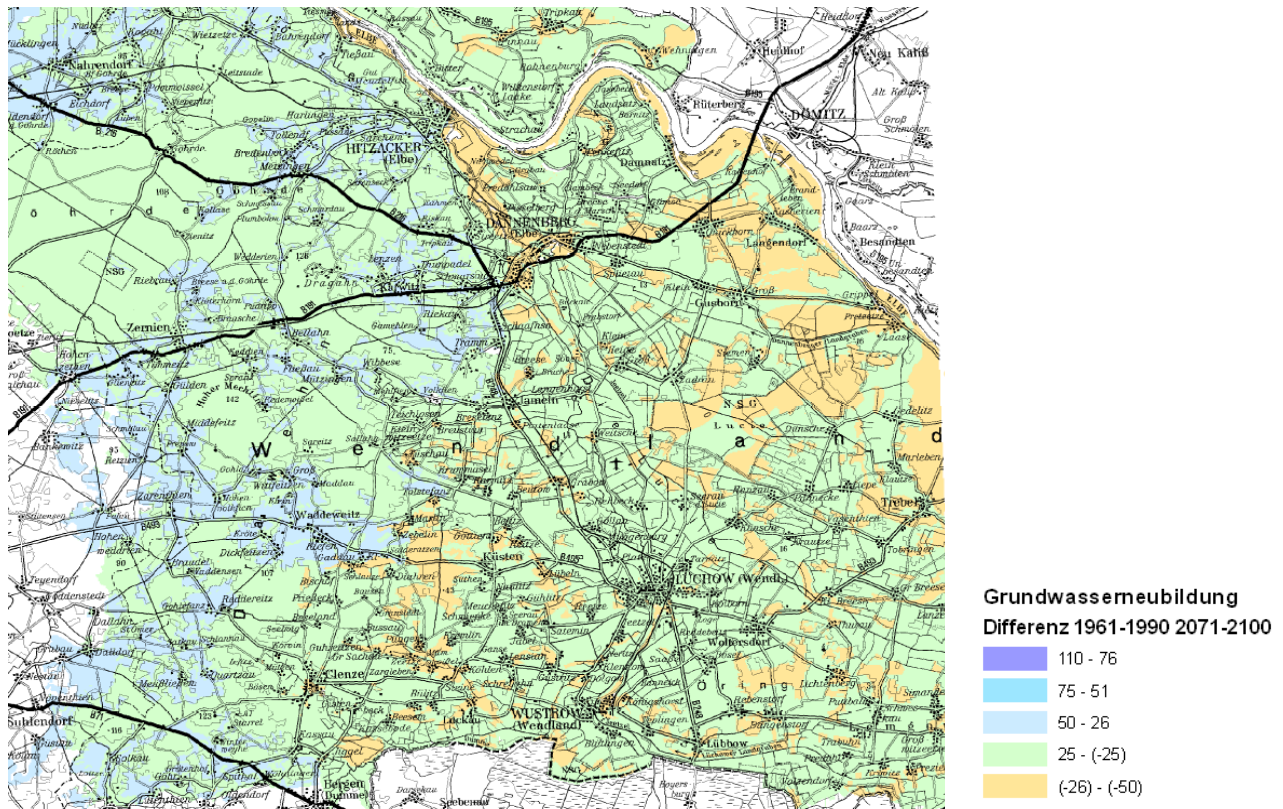


Abb. 4: Veränderung der mittleren Grundwasserneubildung in mm/a.

Bei einer Erhöhung der Temperatur um 2,5. und einer leichten Abnahme der Niederschläge um 12 mm/a (östlicher Bereich des Untersuchungsgebietes) bleibt die Grundwasserneubildung zum größten Teil fast gleich der Grundwasserneubildung des Zeitraumes von 1961 - 1990. Allerdings kommt es auf vielen als Nadelwald genutzten Flächen zu Abnahmen der Grundwasserneubildung bis zu 50 mm/a. Diese Flächen befinden sich mehrheitlich im Nordosten des Untersuchungsgebietes, aber auch vereinzelt im südlichen Gebiet. Die Grundwasserflurabstände in diesen Bereichen sind sehr gering (max. 0,50 m), so dass Pflanzen, z. B. Nadel- und Laubbäume das Grundwasser leicht erreichen können, um ihren Wasserbedarf zu decken. Bei einer Zunahme der Niederschläge um 35 mm/a bleibt die Grundwasserneubildung unter Waldstandorten weitgehend gleich. Die Grundwasserflurabstände sind in dem westlichen Bereich des untersuchten Gebietes höher; sie können über 40 m betragen. Unter landwirtschaftlich genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung um bis zu 50 mm/a zu. Die Landnutzung nimmt großen Einfluss auf die Grundwasserneubildung bei einer Zu- oder Abnahme der Niederschläge.

Auch wenn sich die Niederschlagsmengen über das jährliche Mittel an einigen Klimastationen nicht oder kaum verändern, so verändert sich doch die Verteilung der höchsten Niederschlagsmengen von den Sommer- in die Wintermonate. Dieses ist entscheidend für die Grundwasserneubildung, da diese vorwiegend in den Wintermonaten stattfindet. Die Temperaturzunahmen wirken sich ebenfalls auf die Grundwasserneubildung aus, da die durchschnittlichen Monatsmitteltemperaturen in den Wintermonaten ungefähr 5. betragen können. Die Niederschläge können also direkt in den Boden infiltrieren und fließen nicht, wie bei gefrorenem Boden oberflächlich ab. Die hohen Verdunstungsraten in den Sommermonaten sind bei geringem Flurabstand und bei forstwirtschaftliche Nutzung der Flächen von Bedeutung.

Schlussbetrachtung

Für diese Arbeit wurden lediglich die Eingangsparameter Niederschlag, Temperatur und Verdunstung verändert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich Nutzung bzw. Versiegelung der Flächen in Zukunft ändern werden und es somit auch zu anderen Ergebnissen bei der Grundwasserneubildung kommen wird. Durch Veränderungen von Niederschlag, Temperatur und Verdunstung muss sich die Vegetation den neuen Gegebenheiten anpassen. Möglich wären auch Veränderungen in der Flächennutzung der Landwirtschaft. Sollte die gleiche Flächennutzung wie zurzeit eingehalten werden, so könnte es in den trockener werdenden Sommermonaten zu einer stärkeren Intensivierung der Feldberegnung kommen, die aus hohen Grundwasserentnahmen gedeckt werden könnten, so dass es zu einer Absenkung der Grundwasserspiegel kommen würde. Da es schon in der heutigen Zeit zu einer Absenkung des natürlichen Grundwasserspiegels gekommen ist und dieser bei verstärkten Entnahmen noch weiter sinken wird, muss auch dieses in den Berechnungen, also in den Eingangsparametern, für GROWA06 berücksichtigt werden. Es kann aber nicht nur zu einer Veränderung der Vegetation kommen, sondern auch der Bodentypen. Bodentypen verändern sich jedoch nur sehr langsam. Bei einer Austrocknung der Bodenoberflächen ist der Boden nicht in der Lage Niederschläge komplett aufzunehmen, so dass der Großteil der Niederschläge oberflächlich abfließen wird und somit nicht zur Grundwasserneubildung beiträgt. Auch bei einer Zunahme der Versiegelung kann nur eine geringere Menge der Niederschläge versickern, der Oberflächenabfluss nimmt zu.

Literatur

ADAM, CH., GLÄSSLER, W. & HÖLTING, B. (2000): Hydrogeologisches Wörterbuch, 311 S. Enke-Verlag, Hannover.

DIN 4049: DIN 4049-3, Hydrologie Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie (1994), DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 80 S. Berlin.

DÖRHÖFER, G., KUNKEL, R. TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen, in: Arbeithefte Wasser Aufbruch nach Europa Hydrogeologie vor neuen Aufgaben, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung NLFb (Hrsg.), S. 109-167.

NAKICENOVIC, N. & SWART, R. (HRSG) (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Uni. Press Cambridge, 612 S. Cambridge.

RENGER, M. & WESSOLEK, G.(1996): Berechnung der Verdunstungsjahressummen einzelner Jahre, DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 238, S.47, Bonn.

REUTTER, E. (2005): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens, Geofakten 21. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 9 S., Hannover.

ROECKNER, E., BRASSEUR, G., GIORGETTA, M., JACOB, D., JUNGKLAUS, J., REICK, CH. & SILLMANN, J. (2006): Klimaprojektion für das 21. Jahrhundert, Max-Planck-Institut für Meteorologie, 28 S., Hamburg.

SPEKAT, A., ENKE, W. & KREIENKAMP, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2, Publikationen des Umweltbundesamtes, 112 S. Potsdam.

WIXWAT, T (2007): Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen, Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover, 91 S. Hannover

Phosphor und Stickstoff in Böden Schleswig-Holsteins bei steigenden Lufttemperaturen

Andreas Rinker¹, Frauke Deunert², Gunther Schmidt³ und Winfried Schröder⁴

¹ DigSyLand - Institut für Digitale Systemanalyse & Landschaftsdiagnose, Zum Dorfteich 6, D-24975 Husby (rinker@digsyland.de)

² DigSyLand - Institut für Digitale Systemanalyse & Landschaftsdiagnose, Zum Dorfteich 6, D-24975 Husby (deunert@digsyland.de)

³ Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta, Postfach 1553, D-49464 Vechta (gschmidt@iuw.uni-vechta.de)

⁴ Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta, Postfach 1553, D-49464 Vechta (wschroeder@iuw.uni-vechta.de)

Zusammenfassung

Ziel und Hintergrund. Der globale Klimawandel wirkt sich regional differenziert auf einzelne Ökosystem-Kompartimente aus. Aufgrund der zentralen regulatorischen Bedeutung des Stoffhaushalts terrestrischer Ökosysteme war es das Ziel dieser im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein durchgeführten Untersuchung, den Austrag von Phosphor (P) und Stickstoff (N) aus Böden Schleswig-Holsteins unter dem heutigen und zukünftigen Klima zu berechnen.

Methoden. Methodischer Mittelpunkt der Untersuchungen ist das Modellsystem WASMOD, mit dem der wassergebundene Stofftransport in Böden und an der Bodenoberfläche für Bodenprofile, Ackerflächen oder Wassereinzugsgebiete berechnet werden kann. Die WASMOD-Berechnungen dieser Studie erfolgten auf der Grundlage von Daten der Agrarstatistik, des Deutschen Wetterdienstes, der REMO-Klimaprognosen sowie der Reichsbodenschätzung. Wasser- und Stoffbilanzen wurden für typische Kombinationen von acht Bodensubstraten, vier Grundwasserflurabstand-Stufen, neun Anbauvarianten und Klima auf landwirtschaftlich genutzten Flächen berechnet. Die Modellrechnungen erfolgten für den Zeitraum vom 01.01.1975 bis 31.12.2004 (30 Jahre) für die Klimastandorte Erfde und Lensahn des DWD. Die Klimaszenarien wurden für den Zeitraum 1971-2000 (Referenz) sowie für die Jahre 2071-2100 (REMO-Szenarien B1 und A1B) ausgewertet. Alle Berechnungen erfolgten mit und ohne Boden-Drainage.

Ergebnisse. Die Ergebnisse umfassen Angaben über Niederschlag, Interzeption, Evapotranspiration, Sickerwasser, Drainage-Abfluss sowie ausgewählte N-Bilanzen (Eintrag, Sickerwasseraustrag, Mineralisation, Denitrifikation, Nitrifikation, Volatilisierung, Drainage-Abfluss) sowie P-Bilanzen (Eintrag, Mineralisation, Auswaschung und Anteil an organischem, sorbiertem, gelöstem und fixiertem P). Die Ergebnisse der Simulationen weisen eine hohe Differenzierung der Merkmalskombinationen auf.

Die Evapotranspiration steigt in den Klimaszenarien B1 und insbesondere A1B deutlich an. Die Sickerwassermenge ist im Szenario B1 im Vergleich zum Referenzzeitraum sehr hoch, da auch mehr Niederschläge fallen. A1B weist dagegen ähnliche Resultate wie das Referenzszenario trotz höherer Niederschläge auf, denn die höhere Verdunstungsrate kompensiert den Niederschlagszuwachs. Das Klimaszenario B1 weist die höchsten P- und N-Austräge auf. Das Klimaszenario A1B ist den Resultaten des Referenzlaufes sehr ähnlich. Die N-Austräge unter Ackernutzung steigen im Klimaszenario B1 stark an. Die höchsten Austräge (136 kg N/ha) wurden für intensiv genutzte Weidestandorte berechnet. . Das B1-Szenario weist die höchsten P-Austräge auf, A1B rangiert unterhalb denen des Referenzzeitraums. Die N-Austräge der sandigen Standorte sind im Mittel des Verhältnisses Einträge / Austräge höher als bei lehmigen Standorten, absolut aber geringer. Räumlich differenzierend wirkt sich hierbei der Grundwasserflurabstand aus. Die Ergebnisse der Simulationen bezüglich der gasförmigen N-Verluste weisen auf den sandigen Standorten erwartungsgemäß kaum Denitrifikationsverluste auf. Bei den lehmigen Standorten können die Denitrifikationsverluste auf 41 kg N/ha im Jahr ansteigen. Die höchsten Mineralisationsraten sind im Szenario A1B zu erwarten. Das Szenario B1 weist im Vergleich zum Referenzszenario erhöhte Temperaturen bei hohen Niederschlägen und wenig Trockenperioden auf, so dass eine Abnahme der Mineralisationsleistung auf diesen Standorten berechnet wurde. Drainagen verringern die N- und P-Auswaschung aus Äckern, hingegen steigt der P-Output aus drainiertem Grünland.

Diskussion. Eine Diskussion der Ergebnisse kann nur methoden- und datenkritisch sowie wissenschaftstheoretisch erfolgen, auf Grund fehlender weiterer Untersuchungen jedoch nicht im Vergleich mit anderen Befunden. Wegen der mittlerweile zwanzigjährigen Entwicklungszeit des Modellsystems WASMOD und seiner breiten Validierung in der Ökosystemforschung, in Fallstudien sowie im Umwelt-Monitoring kann davon ausgegangen werden, dass der Wasser- und Stoffhaushalt der Böden zuverlässig modelliert wird. Eine große Herausforderung bleibt die Regionalisierung der Modellergebnisse durch die Verknüpfung von Daten der Reichsbodenschätzung mit Daten aus dem Klima- und Phänologie-Monitoring.

Schlussfolgerungen. Grundlagenforschung in Form der Ökosystemforschung erweist sich insofern als lohnend, als man dadurch jetzt in der Lage ist, validierte Modelle wie WASMOD für Prognosen des Stoffhaushalts in Böden unter veränderten Klimabedingungen berechnen zu können. Entsprechende Grundlagen fehlen jedoch für die prognostische Modellierung des Risikos vektorassoziierter Krankheiten.

Empfehlungen und Ausblick. Grundlagenforschung im Bereich der Ökologie und Umweltmedizin wäre die beste Vorbereitung auf Umweltkrisen und sollte nicht abgewickelt, sondern fortentwickelt werden. Hierbei muss jedoch rigoros darauf geachtet werden, dass Daten aus Forschungsprojekten und Monitoring-Programmen so dokumentiert werden, dass sie über Metadaten-Informationssysteme recherchiert und zusammengeführt werden können.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Stoffhaushalt in Böden sollen bundesweit regionalisiert werden. Hierfür werden auf der Grundlage einer landschaftsökologischen Gliederung Deutschlands sowie anhand von Klimadaten und pflanzenphänologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes und der Internationalen Phänologischen Gärten repräsentative

Modellierungsräume ausgewählt und untersucht. Weiterhin wird dieser Ansatz verknüpft mit der prädiktiven GIS CARTographie des Risikos vektorassoziierter Krankheiten von Menschen und Tieren.

Schlagwörter: Böden; Klimawandel; Modellsystem WASMOD; Phosphat; Schleswig-Holstein; Stickstoff

Abstract

P and N in soils of Schleswig-Holstein reflecting increasing air temperatures

Goal and Scope. The ecological effects of the global climate change differ regionally. Due to the ecological significance of soils in terrestrial ecosystems the aim of this study on behalf of the nature protection Agency of the federal state Schleswig-Holstein was to calculate the output of nitrogen and phosphate from soils in Schleswig-Holstein (Germany) given the current and predicted air temperatures.

Methods. The calculations were performed by the Water and Substance Modelling System (WASMOD). This complex simulation tool can be used for modelling the fluxes of water and dissolved substances through single soil columns or for fields and watersheds. In this study the calculations rely on data collected from several sources such as agricultural statistics, the German Weather Service DWD, results from the high resolution regional climate model REMO as well as from the German soil inventory 'Reichsbodenschätzung'. The WASMOD calculations were performed for representative combinations of ecological characteristics such as soil texture, distance to the ground water table, drainage, cultivation, and climate. The computations refer to three periods: 1975 to 2004 according to the measurements of two meteorological stations (DWD), and in terms of REMO modelling 1971 to 2000 (reference), and 2071 to 2100 according to the IPCC scenarios B1 and A1B.

Results. The WASMOD results encompass precipitation, interception, evaporation, seepage water, drainage, nitrogen balances (input, mineralisation, denitrification, nitrification, output, volatilisation, and drainage), and phosphate balances (input, mineralisation, output, and percentage of organic, sorbed, dissolved and immobile P). According to the combinations of influencing factors the computed results vary spatially: Given the scenarios B1 and A1B the evaporation is expected to increase. Compared to the reference period the B1 seepage will be high and associated with high precipitation. Nevertheless, due to increasing evaporation A1B is similar to the reference period despite higher precipitation. The B1 scenario showed the highest outputs of N and P. The results for A1B were found to be very similar with those for the reference period. The N output from fields significantly increase in B1. The highest outputs were estimated for intensively grazed feedlots. For B1 the highest P outputs were computed whereas the A1B estimations were lower than the results referring to the reference period. In terms of the input / output ratio the N output from sandy soils will be higher than those from loamy soils while the contrary holds true for the absolute discharge. These findings will vary spatially with the distance of the soil surface from the groundwater table. The expected output by denitrification is negligible whereas from loamy soils such N losses can account for 41 kg / ha. The mineralisation was expected at maximum in A1B. Compared with the reference period B1 will have higher air temperatures and more precipitation but less droughts. Consequently, for these sites reduced mineralisation was estimated. Draining will reduce the N and P output from fields and enhance the P discharge from grassland, respectively.

Discussion. The WASMOD modelling results could not be compared to findings of similar studies because such could not be investigated. Thus, the discussion had to focus on the data and methods used for the computations, and the results could not be validated empirically. Nevertheless, from many case studies, ecosystem research and environmental monitoring projects which have been published during the last 20 years the computations of this investigation could be classified as, at least, plausible. A major challenge of further investigations will be the regionalisation if the WASMOD results by the combination of high resolution soil data with such on plant phenology.

Conclusions. Basic research as for instance long-term ecosystem research should be regarded as essential precondition for the development of prognostic models as presented by the example of WASMOD. Such research could be proved as worthwhile in face of problems as represented in this study. Regarding the global change related risk of vector-associated diseases the predictive power of ecological models must be broadened and refined.

Recommendations and Perspectives. Ecosystem research and environmental epidemiology should be coordinated much closer. This research must be attended by a professional documentation of research and monitoring results by use of metadata-based and GIS-based networking of local databases.

The approach of the investigation presented should be applied to representative ecoregions of Germany. To reach this, modelling areas will be selected in terms of an ecological land classification and extensive data sets from meteorological and phenological monitoring networks. Additionally, the approach will be extended by the predictive GIS CARTography of vector-associated diseases.

Keywords: Climate change; nitrogen; phosphate; soils; water and substance modelling system (WASMOD)

1 Ziel und Hintergrund

Es wird mittlerweile nicht mehr darüber gestritten, ob ein Klimawandel eingetreten ist. Vielmehr geht es darum, seine Ausprägung und ökologischen Konsequenzen räumlich so differenziert zu bestimmen, um regionalisierte Anpassungsstrategien zu entwickeln. Die räumliche Differenzierung der ökologischen Folgen des Klimawandels kann nicht für komplexe Ökosystemprozesse erfolgen, sondern muss schutzgutspezifisch anhand von aussagekräftigen Indikatoren erfolgen. Deren Aussagekraft sollte durch ökologische Grundlagenforschung untermauert sein, und sie sollten möglichst flächendeckend quantifiziert werden können. Für die acht Schutzkategorien Atmosphäre, Kryosphäre, marine, terrestrische

und limnische Ökosysteme, Landwirtschaft, Wirtschaft sowie menschliche Gesundheit wurden 22 Indikatoren identifiziert (EEA 2004). Die Klimawandelindikatoren für terrestrische Ökosysteme sind: Avifauna, Kohlenstoffspeicherung sowie Zusammensetzung, Arealentwicklung und Phänologie von Pflanzen(gesellschaften). Unberücksichtigt bleibt dabei der Stoffhaushalt der Böden, obwohl diese das regulatorische Hauptkompartiment terrestrischer Ökosysteme und damit neben dem Standortklima die zweite essenzielle Randbedingung der Primärproduktion sind (Fränzle et al. 1993). Dieser Erkenntnis entsprach die Verknüpfung von bio- und geowissenschaftlichen Forschungsansätzen in der Ökosystemforschung, deren programmatische Grundlegung eng mit Ellenberg et al. (1978) verknüpft ist. In dem Projekt "Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette" war die Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen in und zwischen Ökosystemen ein Arbeitsschwerpunkt (Fränzle 1998; Fränzle et al. 2008). Ein umfangreiches Messprogramm lieferte Daten zur Bilanzierung der N-Einträge in die einzelnen System-Kompartimente sowie zur Quantifizierung der für den Haushalt wichtigen Transport- und Transformationsprozesse. Diese Untersuchungen wurden in terrestrischen (Acker, Grünland, Wälder), semiterrestrischen (Feuchtgrünland, Erlenbruch, Niedermoorgebiete) und in limnischen Ökosystemen durchgeführt. Ziel war es u.a., auf mehreren räumlichen Ebenen (lokal, regional) ökosystemare Prozesse zu erfassen und deren Beeinflussung durch Menschen abzuschätzen. Die mittel- und langfristige Wirkung von anthropogen bedingten Stoffeinträgen in Ökosysteme unterschiedlicher Empfindlichkeit war hierbei ein wichtiger Aspekt. Da nicht alle relevanten Prozesse durch Messungen erfasst werden konnten oder der Messaufwand für manche ökosystemaren Prozesse zu hoch und zu kostenträchtig ist, stellte die Entwicklung und Anwendung von Simulationsmodellen wie WASMOD einen wichtigen Teilbereich der Arbeiten dar. Ausreichend validierte Modelle bieten die Möglichkeit, Prozesse im Rahmen zeitlich und räumlich zu extrapolieren (Matthies et al. 2006). Mit dem Modellsystem WASMOD (Reiche 1991) lässt sich die Wasser- und Stoffdynamik für einzelne Bodenprofile, für Ackerflächen und für Wassereinzugsgebiete berechnen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Merkmalsausprägungen von Vegetation, Relief und Böden sowie agrarwirtschaftlicher Nutzung erfolgt die Prozessquantifizierung räumlich hierarchisiert für die Vegetationsdecke, die Bodenoberfläche, den durchwurzelten Boden sowie die wasserungesättigte und -gesättigte Zone. Vertikale und laterale Transportprozesse werden pro Zeitschritt nacheinander simuliert. Besonders berücksichtigt werden die von Mikroorganismen gesteuerten Umsetzungsprozesse und ihre spezifischen Wechselbeziehungen zum Kohlenstoff- und N-Haushalt. Ziel dieser im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein durchgeführten Untersuchung war die Simulation folgender Teilprozesse in ausgewählten Böden Schleswig-Holsteins und an ihrer Oberfläche unter heutigem und vorausgesagtem Klima: Wasserdynamik (mit Interzeption, Evapotranspiration, Infiltration), Drän-Abfluss, Grundwasserabfluss und Grundwasserflurabstand, vertikaler Transport gelöster Stoffe (mit Aufnahme durch Pflanzenwurzeln), Ad- und Desorptionsdynamik von Stoffen, vertikaler Wärmetransport, Kohlenstoff-Umsetzung (Humifizierung, Mineralisation mit Quantifizierung der CO₂-Freisetzung), mikrobiell gesteuerte N-Umsetzung (Ammonifizierung, Nitrifizierung, Denitrifikation, Immobilisierung), gasförmige NH₄-N-Verluste, lateraler Transport gelöster Stoffe durch die wassergesättigte Zone, Transport gelöster Stoffe mit dem Drän-Wasser, langfristige Veränderungen der Wasserleitfähigkeit und des Wasserhaltevermögens in Abhängigkeit von der Humusdynamik sowie Quantifizierung der N- und C-Akkumulation unterschiedlicher Pflanzen-Kompartimente.

2 Material und Methoden

2.1 Modellstruktur WASMOD

Fink und Kralisch (2005), Kralisch et al. (2003, 2005), Müller et al. (2006) sowie Rinker (2001) beschreiben Aufbau, Funktionen und Validierung des Simulationsmodells WASMOD. Das Hauptprogramm regelt die Ein- und Ausgabe sowie die Prozess-Steuerung. Die Prozesse werden entsprechend ihrem Raum- und Zeitbezug in spezifischen Zeitintervallen aufgerufen. Beispielsweise werden die sich langfristig verändernden Merkmale wie die pF- und kf-Funktionen nur jährlich modifiziert. Hingegen werden schnell ablaufende Prozesse wie die Bodenwasserbewegung im Minuten- bzw. Stundenrhythmus für die vier Ökosystem-Kompartimente Pflanzen, Boden, Grundwasser und Vorfluter berechnet.

2.2 Daten

Für die Berechnungen wurden betriebswirtschaftliche und betriebsübergreifende Daten zur Agrarstruktur, Bodennutzung, Ernte, ökologischen Landbau (LWK-SH 2001a, 2001b, 2001c; MLLT 2002; StA-HH-SH 2004a-d, 2005a-c), Düngerichtwerte (LWK-SH 2003), langjährige Datensätze der DWD-Klimastationen Erfde und Lensahn mit Tageswerten zu Minimum und Maximum der Lufttemperatur, Niederschlagsmenge und Luftfeuchtigkeit zwischen 01.01.1975 und 31.12.2004 verwendet. Die Modellierung des N- und P-Haushalts erfolgten zudem für den Referenzzeitraum (1971 – 2000) und die REMO-Szenarien A1B und B1 des IPCC (2001) für die Jahre 2071-2100.

Aus 500000 Datensätzen der Reichsbodenschätzung wurden 3300 Bodenartenkombinationen identifiziert. Die Zuordnung von pH-Wertstufen zu den Bodenarten erfolgte in Anlehnung an die anzustrebenden pH-Zielwerte (LWK-SH 2003). Die Informationen zur Landnutzung entstammen den Agrarstatistiken. In Expertengesprächen wurden typische Fruchtfolgen naturräumlich und substratspezifisch differenziert. Für die Grünlandnutzung wurden Schnitt, Weide und Mähweidenutzung verschiedener Intensitäten ebenfalls substratspezifisch bestimmt, wobei den Nutzungshäufigkeiten die entsprechende Düngung in kg N/ha zugeordnet wurde. Die absoluten Zahlen orientieren sich dabei nach LWK-SH (2003). Für die Düngung der Ackerkulturen wurden wiederum die Empfehlungen von LWK-SH (2003) angewendet. Dabei wird aus den Standorteigenschaften das mögliche Ertragsniveau bestimmt, dem zu den Kardinalpunkten der Pflanzenentwicklung (Vegetationsbeginn, Schossen, Spätdüngung zum Ährenschieben) N-Gaben zugeordnet werden. Die Phaseeintrittstermine errechnet WASMOD anhand der Kulturpflanzen-Phänologie und dem Witterungsverlauf. Bei der Modellierung der P-Düngung konnte im Gegensatz zu N nicht auf Ergebnisse von Bodenuntersuchungen zurückgegriffen werden, da diese

nicht veröffentlicht werden. Daher wurde angenommen, dass für die modellierten Szenarien eine mittlere Gehaltsklasse mit guter Verfügbarkeit entsprechend der Versorgungsstufe C vorlag und erhalten werden sollte. Aus Bodenart, Fruchtfolge und den Annahmen zur Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung wurden Ertragsstufen bestimmt. Für jeweils vier Ertragserwartungsstufen der häufigsten Fruchtarten wurde je nach Versorgungsstufe der Nährstoffbedarf gemäß (MLLT 2002; StA-HHSH 2003a, 2003b, 2004a-d, 2005a-c) zugeordnet. Den Hauptbodenarten Sand, Sand über Lehm, sandiger Lehm und Lehm wurden Ertragsbewertungen zugewiesen, in denen sich das Ertragspotential der Standorte widerspiegelte. Den Sandböden wurden hierbei die geringsten und den sandigen Lehmen die höchsten Ertragsbewertungen zugesprochen. Die P-Düngung des Grünlands wird nach der gleichen Vorgehensweise berechnet. Zusätzlich wurde in Weiden und Wiesenutzung und Nutzungsintensität unterschieden. Aus der räumlichen Verknüpfung der oben zusammenfassend beschriebenen Merkmale ergeben sich 325 Kombinationen, zu denen Eingabedateien für die Berechnungen mit WASMOD angelegt wurden (Abschn. 2.3).

2.3 Berechnungen

Die akquirierten Daten (Kap. 2.1) wurden für die Berechnungen des N- und P-Haushaltes entsprechend der Modellstruktur in mehreren Eingabedateien abgelegt. Die Bodendatei beinhaltet alle bodenphysikalischen und bodenchemischen Kennwerte für 15 vertikal angeordnete Boden-Kompartimente sowie standortabhängige Angaben wie u.a. Flächengröße, Nutzungsvariante, Abstand zum Vorfluter und Hangneigung. Die Bodendatei wird als ASCII-Datei abgespeichert und von WASMOD zum Beginn der Simulation eingelesen. Am Ende einer Simulationsperiode wird die Bodendatei von WASMOD neu geschrieben. Dabei werden u. a. die aktuelle Bodenfeuchte, der C_{org} -Gehalt und der Grundwasserstand in der Datei mit den simulierten Werten gespeichert.

Die CN-Datei enthält für jedes Bodenkompartment Anfangswerte für unterschiedliche N-Formen. Die CN-Datei wird als ASCII Datei abgespeichert und von WASMOD zum Beginn der Simulation eingelesen. Am Ende einer Simulationsperiode (meistens ein Klimajahr) wird die CN-Datei von WASMOD mit den simulierten Werten gespeichert und als Eingangsdatei für die nachfolgende Simulationsperiode eingelesen.

Die P-Datei enthält für jedes Bodenkompartment Anfangswerte für unterschiedliche P-Fraktionen. Die P-Datei wird als ASCII Datei abgespeichert und von WASMOD zum Beginn der Simulation eingelesen. Am Ende einer Simulationsperiode wird die P-Datei von WASMOD mit den simulierten Werten gespeichert und als Eingangsdatei für die nachfolgende Simulationsperiode eingelesen.

Die Kennzeichnung der Phänologie der Kulturarten erfolgt über die Durchwurzelungstiefe, den HAUDE-Faktor und den Blattflächenindex. Die Durchwurzelungstiefe bestimmt, aus welchen Boden-Kompartimenten der Wasserentzug entsprechend der Transpirationsrate sowie die N-Aufnahme erfolgen. Bei einer angegebenen Wurzeltiefe von ≤ 5 cm findet keine N-Aufnahme statt. Der HAUDE-Faktor wird benötigt, um auf der Grundlage des Sättigungsdefizits der bodennahen Luftschicht eine vegetationspezifische potentielle Evapotranspirationsrate abzuschätzen. Die Angaben zum Blattflächenindex (LAI) werden für die Berechnung des Interzeptionsverlustes benötigt und dienen als Hilfsgröße bei der Abschätzung des Energieeintrages durch direkte Strahlung. Weiterhin enthalten die Phänologie-Dateien Angaben zum Nährstoffeintrag durch Düngung, zur pflanzenspezifischen Aufnahmekapazität und zu einzelnen landwirtschaftlichen Bearbeitungsmaßnahmen. WASMOD berücksichtigt neben dem in der Phänologie-Datei angegebenen N-Eintrag einen zusätzlichen atmosphärischen Eintrag von 20 kg N/ha.

Die Klimadatei enthält tagesbezogene Angaben zur Minimum- und Maximumtemperatur, zum Niederschlag und zum Sättigungsdefizit (Haude) oder alternativ zur Globalstrahlung (Turc-Wendling) der DWD-Stationen Erfde und Lensahn zwischen 1975 und 2004. Die Klimadaten der REMO-Referenz (C20) und -Szenarien (A1B und B1) wurden von der CERA-Datenbank heruntergeladen. Für die Jahresbilanzen wurden vier Modellläufe mit Klimadaten der DWD-Stationen Erfde und Lensahn und sechs Modellläufe mit Klimaszenarien ausgewertet: 1. Klimastation Erfde (1975-2004) Simulation ohne Drainagen, 2. dto. mit Drainagen, 3. Klimastation Lensahn (1975-2004) Simulation ohne Drainagen, 4. dto. mit Drainagen, 5. Klimaszenario Referenz (1971-2000) Simulation ohne Drainagen, 6. dto. mit Drainagen, 7. Klimaszenario A1B (2071-2100) Simulation ohne Drainagen, 8. dto. mit Drainagen, 9. Klimaszenario B1 (2071-2100) Simulation ohne Drainagen, 10. dto. mit Drainagen.

3 Ergebnisse

Die Sickerwassermenge ist im Szenario B1 im Vergleich zum Referenzzeitraum sehr hoch, da auch mehr Niederschläge fallen. A1B weist dagegen ähnliche Resultate wie das Referenzszenario auf. Die höhere Verdunstungsrate kompensiert den Niederschlagszuwachs (**Tab. 1**).

Tab. 1

Die höheren mittleren Niederschläge in Erfde führen zu größeren N-Austrägen ($\text{NO}_3\text{-N}$) mit dem Sickerwasser (**Tab. 2**). Bei N-Einträgen von 157.5 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ werden für die Station Erfde Verluste von 73.5 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ im Sickerwasser berechnet, für die Station Lensahn liegt der Wert bei 64 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$. Im Schnitt liegen die N-Einträge auf ackerbaulich genutzten Standorten mit 188 kg N/ha um 61 kg N/ha über den Einträgen auf Grünlandstandorten. Dementsprechend sind die N-Verluste auf Ackerstandorten höher als bei Grünlandnutzungen. Ähnliches gilt für das Referenzszenario. Für B1 sind steigende N-Austräge berechnet worden, insbesondere für die Ackerstandorte. Dagegen simuliert WASMOD für das Szenario A1B keine großen Unterschiede im Stoffaustrag gegenüber dem Referenzszenario.

Tab. 2

Bei den P-Austrägen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den N-Austrägen (**Tab. 3**): Unter Grünlandnutzung wird wesentlich weniger P über Düngung eingetragen und ausgewaschen. B1 weist wie bei den N-Austrägen die höchsten P-Verluste auf. A1B ist wiederum dem Referenzlauf sehr ähnlich.

Tab. 3

Unter Getreidekulturen treten mit 98 kg NO₃-N/ha und Jahr (Erfde) bzw. 89 kg NO₃-N/ha und Jahr (Lensahn) die höchsten N-Austräge auf (**Tab. 4**). Auf den ohne Düngung genutzten Grünlandstandorten sind die geringsten N-Austräge zu erwarten. Mit 122 kg NO₃-N/ha und Jahr haben intensiv genutzte Weiden die höchsten Austräge. Die N-Austräge unter Acker steigen im Klimaszenarios B1 stark an. Die höchsten Austräge mit 136 kg N/ha wurden für intensiv genutzte Weidestandorte berechnet.

Tab. 4

Unter Acker- und Grünlandnutzung wird in Erfde mehr P ausgetragen als in Lensahn (**Tab. 5**). Die Ergebnisse des Referenzszenarios liegen in vergleichbarer Höhe des Klimastandorts Erfde. Für B1 wurden die höchsten Austräge berechnet. A1B weist geringere Austräge als der Referenzzeitraum auf.

Tab. 5

Die sandigen Standorte (Sand, Sand über Lehm und lehmiger Sand) weisen im Vergleich zu den lehmigen Standorten (sandiger Lehm und Lehm im Östlichen Hügelland) und Lehm (Marsch) geringere N-Einträge auf (**Tab. 6**). Dementsprechend sind auch die absoluten Werte des N-Austrags niedriger. Die N-Austräge der sandigen Standorte sind jedoch im Mittel des Verhältnisses Einträge / Austräge höher als bei lehmigen Standorten, da durch die höhere Wasserleitfähigkeit der sandigen Bodenarten mehr Wasser versickert. Die Werte der N-Austräge in Lensahn sind wegen der hier um 130 mm niedrigeren mittleren Niederschlagssumme und des damit verbundenen geringeren Sickerwasserverlustes niedriger als in Erfde. Die geringsten N-Verluste mit 22 kg NO₃-N/ha werden für Hochmoor unter Grünlandnutzung berechnet (Klimastation Lensahn). Mit 97 kg NO₃-N/ha werden die höchsten Austräge für Lehm unter Ackernutzung prognostiziert. Die Resultate des Referenzszenarios sind mit denen der Klimastation Erfde vergleichbar. B1 zeigt deutlich höhere Austräge, mit Ausnahme der Niedermoor- und Hochmoorstandorte, bei denen die Zunahme der Austräge weniger stark ausgeprägt ist. Die Werte für A1B sind mit den Resultaten des Referenzzeitraums vergleichbar.

Tab. 6

Für Erfde werden im Vergleich zu Lensahn durchweg höhere P-Austräge berechnet (**Tab. 7**). Das Referenzszenario weist nur bei den Lehmstandorten höhere P-Austräge im Vergleich zum Standort Erfde auf. Auf den sandigeren Standorten wird weniger P-Austrag simuliert als im Standort Lensahn. Dies kann damit begründet werden, dass im Referenzszenario im Durchschnitt der Jahre in den vegetationslosen und damit austragssensiblen Wintermonaten weniger Niederschlag berechnet wird als im Klimastandort Erfde. B1 weist durchgängig für alle Bodenarten die höchsten P-Austräge im Sickerwasser auf. Die Resultate für A1B sind mit den Ergebnissen des Referenzszenarios vergleichbar. Ausnahme sind die Sandstandorte die höhere P-Austräge aufweisen. Die Zunahme der Niederschläge in den Wintermonaten führt zu diesem Ergebnis. Anders als bei lehmigeren Standorten versickert das Bodenwasser kaum rasch in größere Tiefe.

Tab. 7

Die N-Einträge und -austräge der sandigen Standorte (Sand, Sand über Lehm und lehmiger Sand) weisen die höchsten N-Verluste mit dem Sickerwasser bei einem Flurabstand von 0,5 m auf (**Tab. 8**). Die verminderte Pflanzenaufnahme führt bei niedrigen Grundwasserflurabständen zu erhöhten Austrägen. Anders als bei lehmigeren Standorten bei gleichem Flurabstand wird N weniger durch Denitrifikation emittiert. Bei Sand über Lehm und lehmigem Sand sind die Austräge in den Flurabstandsstufen nahezu gleich. Denn in bei Trockenheit wird gespeichertes Bodenwasser aus tieferen Bodenschichten nachgeliefert, das Niederschlagswasser kann gut gespeichert werden, und eine gute Durchlüftung verhindert Staunässe. Die lehmigen Standorte zeigen höhere N-Austräge im Sickerwasser bei größeren Grundwasserflurabständen. Bodenarten mit niedrigen kF-Werten behindern bei Trockenheit eine schnelle Nachlieferung von Wasser aus tieferen Bodenschichten und reduzieren die N-Aufnahme der Pflanzen. Gleichzeitig behindert die N-Aufnahme durch die Pflanzen. Die Denitrifikationsrate der lehmigen Standorte beträgt bei Flurabständen zwischen 0,25 m und 0,5 m über 60 kg N/ha. Die N-Gesamtverluste sind auf lehmigen Standorten geringen Flurabstandes höher als bei größerem Flurabstand. Im B1-Szenario werden die höchsten Austräge durchgängig für alle Grundwasserflurabstandsstufen berechnet.

Tab. 8

Die P-Austräge sind wie die N-Austräge positiv mit dem Grundwasserflurabstand korreliert (**Tab. 9**). Das Szenario B1 weist auch hier die höchsten Austräge auf.

Tab. 9

Die Ammonium-Auswaschung unterhalb der Pflanzenwurzelzone spielt bei der Betrachtung der Gesamt-N-Austräge mit dem Sickerwasser eine untergeordnete Rolle. Das Ammonium-Ion wird an den Austauschern des Bodens sorbiert oder aber von der Pflanze aufgenommen. Die Ammonium Austräge im Sickerwasser sind bei der in WASMOD eingestellten Bilanzierungstiefe von 1 m mit max. ca. 9 g/ha (Hochmoorstandorte) im Vergleich zu den frei beweglichen NO₃-N-Austrägen gering.

Bei der mikrobiellen Denitrifikation wird unter anaeroben Bedingungen Nitrat oder Nitrit zu nitrosen Gasen reduziert. Schlecht belüftete Böden fördern somit die Denitrifikation. Die Denitrifikation und die Ausgasung bilden die Summe der gasförmigen N-Verluste der Landschaft. Die gasförmigen N-Verluste weisen auf den sandigen Standorten erwartungsgemäß kaum Denitrifikationsverluste auf (**Tab. 10**). Bei den lehmigen Standorten können die Denitrifikationsverluste auf 41 kg N/ha im Jahr ansteigen. Diese schlecht belüfteten Böden begünstigen insbesondere bei

niedrigen Grundwasserflurabständen die Umwandlung des Nitrats oder Nitrits zu nitrosen Gasen. In den Klimaszenarien B1 und A1B sind die höchsten Denitrifikationsverluste zu verzeichnen.

Tab. 10

Die Mineralisierung ist von großer Bedeutung für die Freisetzung von Haupt- und Spurennährstoffen beim Um- und Abbau in und auf dem Boden befindlicher organischer Stoffe. Die Mineralisation steigt mit dem Humusgehalt des Bodens und dem Wechsel von feuchten und trockeneren Phasen. Im Mittel aller berechneten 325 Merkmalskombinationen beträgt die Mineralisation 81 kg N/ha und Jahr (**Tab. 11**). Bei dem Niedermoorstandort beträgt die Mineralisation mindestens 152 kg N/ha und Jahr (Klimastation Erfde). Der hohe Humusgehalt beeinflusst an diesen Standorten die Mineralisation beträchtlich. Mit höherem Grundwasserstand steigt die Mineralisationsrate bis auf durchschnittlich 215 kg N/ha im Jahr (Lensahn), da feuchte und trockenere Perioden sich öfter über größere Bodenschichten abwechseln. Die höchsten Mineralisationsraten sind im Szenario A1B zu erwarten. Der hohe Temperaturanstieg, bei gleichzeitiger Trockenheit im Sommer führt zu diesem Ergebnis. Das Szenario B1 weist zwar im Vergleich zum Referenzszenario ebenfalls erhöhte Temperaturen auf, jedoch sind aufgrund der hohen Niederschläge weniger Trockenperioden zu verzeichnen, so dass eine Abnahme der Mineralisationsleistung auf diesen Standorten berechnet wurden.

Tab. 11

Simulationen mit Drainagen in 100 cm Tiefe mit 30 cm Durchmesser und mit einem Abstand von 18 m zeigen im Vergleich mit den Simulationen ohne Drainage eine deutliche Abnahme der N-Auswaschung (**Tab. 12**). Rund 20 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha werden im Jahr auf Ackerstandorten mit Drainagen weniger ausgewaschen, bei Grünlandstandorten ist der Effekt weniger ausgeprägt: Hier liegt die Reduzierung bei etwa 3 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha. Begründet kann diese geringere Auswaschung mit der wesentlich verbesserten N-Aufnahme der Pflanzen, gerade bei geringen Grundwasserflurabständen. Während bei allen Ackerstandorten ohne Drainage die Pflanzenaufnahme lediglich bei im Mittel 55 kg N/ha liegt, steigt die Aufnahme auf 100 kg N/ha bei drainierten Ackerstandorten. Die Standorte mit hohen Denitrifikationen der Bodenarten Lehm weisen mit Drainagen eine weitaus geringe Entgasung auf: Während bei Lehm (Marsch) 26 kg N/ha durch Denitrifikation entweichen liegt der Wert bei drainierten Standorten bei 8 kg N/ha.

Tab. 12

Auf drainierten Ackerstandorten ist mit einem Rückgang der P-Austräge zu rechnen. Auf den Grünlandstandorten ist ein gegenläufiger Trend zu erkennen (**Tab. 13**). Begründet kann diese geringere Auswaschung mit der wesentlich verbesserten N-Aufnahme der Pflanzen, gerade bei geringen Grundwasserflurabständen. Während bei allen Ackerstandorten ohne Drainage die Pflanzenaufnahme lediglich bei im Mittel 55 kg N/ha liegt, steigt die Aufnahme auf 100 kg N/ha bei drainierten Ackerstandorten. Die Standorte mit hohen Denitrifikationen der Bodenarten Lehm weisen mit Drainagen eine weitaus geringe Entgasung auf: Während bei Lehm (Marsch) 26 kg N/ha durch Denitrifikation entweichen liegt der Wert bei drainierten Standorten bei 8 kg N/ha. Hier nehmen die P-Austräge aufgrund der in den Drainagen berechneten Frachten erheblich zu. Dieses Ergebnis wird vor allem durch die Moor-Standorte überprägt. Hier werden P-Frachten in hohen Mengen in den Drainagen simuliert.

Tab. 13

4 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Arbeit können nicht anhand von Befunden vergleichbarer Untersuchungen diskutiert werden, denn solche gibt es bislang nicht. Somit bleibt nur die Möglichkeit einer Methoden- und Datenkritik sowie einer wissenschaftstheoretischen Diskussion.

Modelle sind komplexe Hypothesen, die an der Realität quantitativ zu validieren sind. Sie dienen dann der Beschreibungen von (ökologischen) Systemen (Welche Komponenten umfasst das System? Welche Beziehungen bestehen zwischen ihnen?) und zu ihrer Erklärung (Wie funktioniert das System?). Sind die (Öko-)Systeme hinreichend valide beschrieben und erklärt, können Prognosen (Wie wird sich das System entwickeln?) und Technologien (Was muss getan werden, um einen angestrebten Systemzustand zu ermöglichen?) modelliert werden (Schröder und Daschkeit 2003). Das in dieser Arbeit verwendete Modellsystem WASMOD wurde für sehr unterschiedlich ausgeprägte Boden-, Klima- und Nutzungsverhältnisse auf mehreren räumlichen Ebenen (Bodenprofil, Acker, Wassereinzugsgebiet) an Messdaten validiert. Eine besondere Bedeutung kam dabei dem Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Stoffaustrag aus Böden zu. Ausführliche Diskussionen und umfangreiche Literatur über weitere WASMOD-Anwendungen sind den Arbeiten von Fink und Kralisch (2005), Fränze et al. (2008), Haluszczak et al. (1991), Kralisch et al. (2003, 2005), Müller et al. (2006) und Rinker (2001) zu entnehmen. Die in der vorliegenden Arbeit mit WASMOD berechneten der N- und P-Austräge bei steigenden Lufttemperaturen sind räumliche und zeitliche Prognosen. Vorhersagen sind Erweiterungen von räumlich und zeitlich punktuellen Stichproben auf andere Raum- und Zeitpunkte, also die extensionale Erweiterung von Stichprobenereignissen auf die Grundgesamtheiten, deren verkleinertes Abbild die Stichproben sein sollen. Räumliche Generalisierung ist die Verallgemeinerung von Messungen an ausgewählten Orten auf solche ohne Messungen. Bei der zeitlichen Generalisierung werden Stichprobenereignisse eines status quo auf einen status post (Prognose) oder einen status ante (Epignose) bezogen. Die Entsprechung der Aussagen über die Realität zu den Zeitpunkten t_{x+1} , t_{x+2} etc. mit der an t_x erlaubt den Schluss von t_x auf t_{x+n} . Aufgrund bestimmter beobachteter Regelmäßigkeiten wird also auf das Eintreten der diesen Regelmäßigkeiten entsprechenden Ereignisse in der Zukunft geschlossen. Hierbei gelten für die auf der Basis von Aussagen über die Realität zum Zeitpunkt t_x , t_{x+1} etc. entwickelte Aussage zum Zeitpunkt t_{x+n} dieselben Wahrscheinlichkeitskalküle wie für die ursprünglichen. Räumliche und zeitliche Generalisierungen sind Induktionen. Induktive Schlüsse sind Wahrscheinlichkeitsschlüsse und prinzipiell niemals logisch voll gerechtfertigt. Die empirische Validität zeitlicher Prognosen wie die in dieser Arbeit kann erst dann geprüft werden, wenn der prognostizierte Zeitpunkt

erreicht ist, also ex post. Die solcherart bestimmte Prognosequalität von WASMOD ist ausreichend (Fink und Kralisch 2005; Haluszczak et al. 1991; Kralisch et al. 2003, 2005; Müller et al. 2006; Rinker 2001).
Ferner ist zu bedenken, dass bereits die empirischen Daten, welche in die Modellierung eingehen, Wahrscheinlichkeitsaussagen sind. Als solche sind die verknüpft mit einem Wahrscheinlichkeitskalkül (W_R) der räumlichen Repräsentanz der Stichprobenelemente für die Grundgesamtheit, einem Wahrscheinlichkeitskalkül (W_I) der Erfassung relevanter Messgrößen und Randbedingungen sowie mit einem Wahrscheinlichkeitskalkül (W_Q) der Messqualität. W_Q wird bestimmt von der Realisierung der Hauptgütekriterien für Messvorgänge: Objektivität (Beobachterunabhängigkeit), Reliabilität (Präzision, Verlässlichkeit, Wiederholbarkeit) und Validität (Aussagekraft der ausgewählten Messgrößen für die Untersuchung) (Schröder und Daschkeit 2003).

5 Schlussfolgerungen

Die Berechnungen zeigen, dass die sich großräumig veränderten Energieflüsse auf die räumliche und zeitliche Struktur sowie die Amplituden der Ausprägung atmosphärischer Merkmale auswirken. Dies zeigt sich besonders deutlich an den Lufttemperaturen und den Niederschlägen. Diese beiden Klimaelemente sind entscheidende Regelgrößen für die Stoffhaushalte von Böden terrestrischer Ökosysteme. Die Folgen ihrer empirisch belegten und ihrer prognostizierten Veränderung können für den N- und P-Austrag aus Böden Schleswig-Holsteins mit dem Modellsystem WASMOD berechnet werden. Wegen der umfassenden Validierung von WASMOD in der Ökosystemforschung, in Fallstudien sowie im Umwelt-Monitoring kann davon ausgegangen werden, dass der Wasser- und Stoffhaushalt der Böden zuverlässig modelliert wird. Grundlagenforschung in Form der Ökosystemforschung erweist sich insofern als lohnend, als man dadurch jetzt in der Lage ist, validierte Modelle wie WASMOD für Prognosen des Stoffhaushalts in Böden unter veränderten Klimabedingungen berechnen zu können. Entsprechende Grundlagen fehlen jedoch für die prognostische Modellierung des Risikos vektorassoziierter Krankheiten (Maier et al. 2003; Takken et al. 2005; WHO 2004).

6 Empfehlungen und Ausblick

Grundlagenforschung im Schnittfeld von Ökologie und Umweltmedizin wäre die beste Vorbereitung auf Umweltkrisen und sollte fortentwickelt werden. Hierbei muss jedoch streng darauf geachtet werden, dass von vornherein ein stringentes statistisches Design entworfen und realisiert wird. Die Steigerung der umweltwissenschaftlichen Prognosefähigkeit setzt ferner voraus, dass einmal erarbeitetes Wissen in Form von Daten endlich professionell nach dem Vorbild des Bibliothekswesens professionell dokumentiert, archiviert und miteinander vernetzt wird.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Stoffhaushalt in Böden sollen mit WASMOD anhand von Daten aus der Reichbodenschätzung und räumlich möglichst hoch aufgelöster Klimamodelle wie CLM, REMO, STAR oder WettREG regionalisiert und mit Befunden aus dem Biomonitoring (Mohr et al. 2007; Schröder et al. 2008; Wappelhorst et al. 2000) verknüpft werden. Hierfür werden auf der Grundlage einer landschaftsökologischen Gliederung Deutschlands sowie anhand von Klimadaten und pflanzenphänologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes und der Internationalen Phänologischen Gärten repräsentative Modellierungsräume ausgewählt und untersucht. Die Befunde sollen in einer WebGIS-Anwendung (Kleppin et al. 2008) umfassend dokumentiert und für die weitere Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin soll mit WAMOD der Wasserhaushalt an der Bodenoberfläche unter veränderten Klimabedingungen simuliert werden, was für eine prädiktive GIS-CART-Tierung des Risikos vektorassoziierter Krankheiten wesentlich ist.

Literatur

- EEA (2004): Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment. EEA Report 2 / 2004, 100 pp.
- Ellenberg H, Fränze O, Müller P (1978): Ökosystemforschung im Hinblick auf Umweltpolitik und Umweltplanung. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums des Inneren, FKZ 78-10104005. Berlin
- Fränze O (1998): Grundlagen und Entwicklung der Ökosystemforschung. In: Fränze O, Müller F, Schröder W (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. Landsberg am Lech, München, Zürich, Kap. II-2.1 (3.Erg.Lfg.), S. 1-24
- Fränze O, Jensen-Huß K, Daschkeit A, Hertling T, Lüschor R, Schröder W (1993): Grundlagen zur Bewertung der Belastung und Belastbarkeit von Böden als Teilen von Ökosystemen. UBA-Texte 59 / 93, Berlin, 391 pp.
- Fränze O, Kappen L, Blume H-P, Dierksen K (Eds): Ecosystem organization of a complex landscape. Long-term research in the Bornhöved lake district, Germany. Ecological Studies 202
- Fink M, Kralisch S (2005): Estimating the Importance of Topological Routing for Modelling Water and Nitrogen Transport at Catchment Scale. In: Zerger A, Argent RM (eds.): MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2686–2692
- Haluszczak S, Vetter L, Schröder W (1991): Dehydrogenaseaktivität in konventionell und biologisch bewirtschafteten Böden unterschiedlicher Nutzung. Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein 61, 55–80
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate change. The Scientific Basis. Cambridge, UK, University Press.
- Kleppin L, Schröder W, Schmidt G, Pesch R (2008): Entwicklung und Erprobung einer Metadaten- und WebGIS-Applikation für das Expositionsmonitoring mit Moosen in Deutschland. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 20, 38-48
- Kralisch S, Fink M, Flügel WA, Beckstein C (2003): A Neural Network Approach for the Optimization of Watershed Management. Environmental Modelling & Software 18/2003, Oxford, p. 815 – 823.
- Kralisch S, Fink M, Beckstein C (2005): Neural Network Based Sensitivity Analysis of Natural Resource Models. In: Zerger A, Argent RM (eds.): MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, p. 2498–2504
- LWK-SH (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein) (2001a): Marktfrucht-Report 2001. Ergebnisse und Analysen aus der Unternehmensberatung für Marktfruchtbetriebe in Schleswig-Holstein. Betriebswirtschaftliche Mitteilungen NR. 550/551, Kiel, S. 1-57
- LWK-SH (2001b): Ökologisch-Ökonomische Auswirkungen des Integrierten Landbaus. Betriebswirtschaftliche Mitteilungen NR. 552/553, Kiel, S. 1-102

- LWK-SH (2001c): Ergebnisse der Rinderspezialberatung, Abteilung Betriebswirtschaft und Beratung. Betriebswirtschaftliche Mitteilungen NR. 554/555, Kiel, S. 1-125
- LWK-SH (2003): Richtwerte für die Düngung. Kiel
- Maier WA, Grunewald J, Habedank B, Hartelt K, Kampen H, Kimmig P, Naucke T, Oehme R, Vollmer A, Schöler A, Schmitt C (2003): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland. Climate Change 05/03, Berlin
- Matthies M, Klasmeier J, Heß O (2006): GIS-basierte Modellierung von Gewässerimmissionen. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 18, 102-109
- MLLT (Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig Holstein) (2002): Agrarreport Schleswig-Holstein. Kiel, S. 1-189
- Mohr K, de Bruyn U, Linders H-W (2007): Epiphytische Flechten im Wandel von Immissionen und Klima – Ergebnisse einer Wiederholungskartierung in Nordwestdeutschland. UWSF – Z Umweltchem Ökotox Online First
- Müller F, Schrautzer J, Reiche EW, Rinker A (2006): Ecosystem Based Indicators in Retrogressive Successions of an Agricultural Landscape. Ecological Indicators 6, p. 63-82
- Reiche EW (1991): Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Modellsystems zur Beschreibung und flächenhaften Bilanzierung der Wasser- und Stickstoffdynamik in Böden. Kieler Geographische Schriften 79, S. 1-150
- Rinker A (2001): Beschreibung der Wasser- und Stoffhaushaltsdynamik devastierter Flächen mit dem Simulationsmodell WASMOD am Beispiel des Braunkohlentagesbergbaus Espenhain. Diss. Fak. Geowiss., Geotechnik und Bergbau TU Bergakademie Freiberg
- Schröder W, Daschkeit A (2003): Umweltwissenschaft als Prototyp interdisziplinärer Forschung. In: Fränze O, Müller F, Schröder W (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. Landsberg am Lech, München, Zürich, Kap. II-2.5 (9. Erg.Lfg.), S. 1-32
- Schröder W, Hornsman I, Pesch R, Schmidt G, Fränze S, Wünschmann S, Heidenreich H, Markert B (2008): Moosmonitoring als Spiegel der Landnutzung? Stickstoff- und Metallakkumulation in Moosen zweier Regionen Mitteleuropas. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 20, 62–74
- StA-HHSH (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein) (2004a): Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein in landwirtschaftlichen Betrieben. Endgültiges Ergebnis. Kiel, S. 1-11
- StA-HHSH (2004b): Statistisches Jahrbuch 2004. Kap. 11: Landwirtschaft, Kiel, S. 1-301
- StA-HHSH (2004c): Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2004, Kiel (C I1-j/04)
- StA-HHSH (2004d): Bodennutzung und Ernte in Schleswig-Holstein 2003. Kiel (C I/ C I1-j/03 S)
- StA-HHSH (2005a): Agrarstruktur in Schleswig-Holstein 2003. Ausgewählte Strukturdaten für Betriebe mit ökologischem Landbau nach Kreisen und Naturräumen. Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung. Statistischer Bericht 19. Mai 2005, Kiel, S. 1-20
- StA-HHSH (2005b): Bodennutzung und Ernte in Schleswig-Holstein 2003. Statistischer Bericht 16. September 2004, Kiel, S. 1-87
- StA-HHSH (2005c): Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland Schleswig-Holstein. Statistischer Bericht CII 1-m9/05S, 6. Oktober 2005, Kiel
- Takken W, Martens P, Bogers (eds.) (2005): Environmental change and malaria risk. Global and local implications. Springer, Dordrecht
- Wappelhorst O, Korhammer S, Leffler US, Markert B (2000): Ein Moosbiomonitoring zur Ermittlung atmosphärischer Elementeinträge in die Euroregion Neiße (D, PL, CZ). UWSF – Z Umweltchem Ökotox 12 (4) 191–200
- WHO: World Health Organization (2004): Using Climate to predict infectious disease outbreaks. A Review. WHO/SDE/OEH/04.01, Geneva

Tabelle 1:Wasserhaushaltsbilanzen

Tabelle 2:N- u. P-Einträge und –austräge

Tabelle 3:Differenzierung der N-Einträge und –austräge nach Nutzungen

Tabelle 4:Differenzierung der P-Einträge und –austräge nach Nutzungen

Tabelle 5:Differenzierung der N-Einträge und –austräge nach Bodenarten

Tabelle 6:Differenzierung der P-Einträge und –austräge nach Bodenarten

Tabelle 7:Differenzierung der N-Einträge und –austräge nach Grundwasserflurabstand

Tabelle 8:Differenzierung der P-Einträge und –austräge nach Grundwasserflurabstand

Tabelle 9:N-Einträge und Denitrifikation unter Grünlandnutzung

Tabelle 10: N-Einträge und -Mineralisation auf Niedermoor

Tabelle 11: Einfluss von Drainagen auf die N- u. P-Bilanz

Tab.1

	Erfde -835			Lensahn -705			Referenz -838			B1 -934			A1B -876		
Nutzung	int	eta	sicker	int	eta	sicker	int	eta	sicker	int	eta	sicker	int	eta	sicker
Acker	83	177	499	73	196	387	100	194	472	98	195	561	93	224	496
Grünland	154	195	444	135	214	329	175	209	413	187	212	489	175	245	424

Tab. 2

		Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Nutzung	N-Eintrag	N-Austrag (NO ₃ -N)				
Acker	188	89	79	87	100	89
Grünland	127	58	49	62	64	57
Nutzung	P-Eintrag	P-Austrag				
Acker	78	0,3137	0,2825	0,287	0,3305	0,2721
Grünland	29	0,0825	0,0804	0,0739	0,0924	0,0664

Tab. 3

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
	Nutzung	Eintrag	Austrag (NO ₃ -N)				
Acker- nutzung	Mais	186	90	80	94	102	90
	Raps	191	81	69	78	95	81
	FF Getreide	206	98	89	92	106	96
	FF bodenschone nd	206	97	88	92	106	96
	FF extensiv	153	79	71	81	88	81
Grünland -nutzung	Mahd intensiv	260	88	69	94	95	81
	Mahd extensiv	128	42	33	44	46	39
	Mahd ohne Düngung	20	10	8	9	10	8
	Weide intensiv	206	122	110	130	136	124
	Weide extensiv	109	70	65	74	81	76
	Weide ohne Düngung	20	15	12	15	16	15
	Mähweide intensiv	254	100	88	111	112	95
	Mähweide extensiv	124	58	48	62	66	58
	Mähweide ohne Düngung	20	14	12	14	15	14

Tab. 4

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
	Nutzung	Eintrag	Austrag				
Acker- nutzung	Mais	100	0,402	0,366	0,403	0,428	0,355
	Raps	88	0,356	0,309	0,288	0,349	0,295
	FF Getreide	81	0,329	0,302	0,301	0,356	0,286
	FF bodenschone nd	80	0,329	0,304	0,298	0,352	0,285
	FF extensiv	42	0,153	0,133	0,146	0,168	0,139
Grünland -nutzung	Mahd intensiv	78	0,184	0,167	0,174	0,200	0,144
	Mahd extensiv	41	0,089	0,082	0,072	0,092	0,065
	Mahd ohne Düngung	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Weide intensiv	34	0,131	0,134	0,123	0,167	0,124
	Weide extensiv	18	0,066	0,075	0,056	0,080	0,060
	Weide ohne Düngung	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Mähweide intensiv	64	0,176	0,167	0,169	0,205	0,142
	Mähweide extensiv	28	0,079	0,082	0,070	0,088	0,063
	Mähweide ohne Düngung	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Tab. 5

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Bodenart	Nutzung	Eintrag	Austrag (NO ₃ -N)				
Sand	Ackerland	148	75	65	76	85	76
	Grünland	125	66	56	65	72	65
Sand über Lehm	Ackerland	170	93	82	91	102	91
	Grünland	125	68	59	66	74	66
Lehmiger Sand	Ackerland	164	84	75	81	92	81
	Grünland	140	73	62	72	82	72
Sandiger Lehm	Ackerland	199	90	80	91	102	88
	Grünland	140	58	50	59	68	59
Lehm (ÖH)	Ackerland	215	93	85	95	104	90
	Grünland	144	52	43	51	59	57
Lehm (Marsch)	Ackerland	215	97	85	95	108	93
	Grünland	144	62	53	61	69	67
Niedermoor	Grünland	100	47	41	44	49	48
Hochmoor	Grünland	64	25	22	23	25	24

Tab.6

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Bodenart	Nutzung	Eintrag	Austrag				
Sand	Ackerland	64	0,147	0,141	0,114	0,16	0,131
	Grünland	24	0,035	0,034	0,026	0,043	0,033
Sand über Lehm	Ackerland	68	0,357	0,292	0,232	0,28	0,25
	Grünland	24	0,117	0,09	0,06	0,077	0,058
Lehmiger Sand	Ackerland	76	0,283	0,241	0,236	0,289	0,226
	Grünland	34	0,089	0,072	0,074	0,099	0,073
Sandiger Lehm	Ackerland	84	0,311	0,279	0,326	0,349	0,3
	Grünland	34	0,08	0,065	0,083	0,097	0,06
Lehm (ÖH)	Ackerland	86	0,389	0,354	0,415	0,446	0,394
	Grünland	34	0,101	0,083	0,111	0,126	0,102
Lehm (Marsch)	Ackerland	86	0,356	0,343	0,34	0,398	0,287
	Grünland	34	0,076	0,096	0,079	0,102	0,064
Niedermoor	Grünland	28	0,101	0,12	0,093	0,115	0,078
Hochmoor	Grünland	11	0,043	0,076	0,037	0,052	0,033

Tab. 7

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Bodenart	Hydrologie	Eintrag	Austrag (NO ₃ -N)				
Sand	0,5 m	133	80	71	81	86	78
	1 m	133	61	51	64	71	62
	2 m	133	66	58	69	74	66
Sand über Lehm	0,5 m	141	79	69	80	86	78
	1 m	141	75	65	75	82	74
	2 m	141	78	69	79	85	77
Lehmiger Sand	0,5 m	149	79	69	83	90	79
	1 m	149	72	62	75	82	72
	2 m	149	78	69	80	85	76
Sandiger Lehm	0,5 m	161	68	58	73	81	71
	1 m	161	69	60	73	78	67
	2 m	161	72	64	75	82	73
Lehm (ÖH)	0,25 m	169	57	52	59	64	58
	0,5 m	169	65	56	69	77	67
	1 m	169	73	62	75	80	71
	2 m	169	72	62	73	81	71
Lehm (Marsch)	0,25 m	169	67	55	66	74	64
	0,5 m	169	72	57	75	83	70
	1 m	169	72	62	75	80	71
	2 m	169	88	81	90	96	86
Niedermoor	0,25 m	100	41	37	42	43	39
	0,5 m	100	46	40	47	49	45
	1 m	100	55	47	56	56	50
Hochmoor	0,25 m	64	23	21	22	23	20
	0,5 m	64	27	24	26	27	25

Tab. 8

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Bodenart	Hydrologie	Eintrag	Austrag				
Sand	0,5 m	39	0,104	0,111	0,075	0,119	0,086
	1 m	39	0,066	0,064	0,056	0,073	0,064
	2 m	39	0,055	0,042	0,041	0,061	0,053
Sand über Lehm	0,5 m	40	0,374	0,279	0,179	0,224	0,196
	1 m	40	0,128	0,111	0,099	0,119	0,095
	2 m	40	0,108	0,096	0,087	0,11	0,089
Lehmiger Sand	0,5 m	49	0,222	0,197	0,179	0,212	0,154
	1 m	49	0,135	0,111	0,116	0,152	0,122
	2 m	49	0,116	0,089	0,099	0,136	0,11
Sandiger Lehm	0,5 m	52	0,239	0,224	0,239	0,27	0,234
	1 m	52	0,135	0,115	0,15	0,161	0,127
	2 m	52	0,113	0,086	0,12	0,131	0,092
Lehm (ÖH)	0,25 m	53	0,268	0,259	0,276	0,301	0,284
	0,5 m	53	0,264	0,231	0,274	0,298	0,27
	1 m	53	0,151	0,136	0,182	0,199	0,169
	2 m	53	0,134	0,094	0,145	0,164	0,104
Lehm (Marsch)	0,25 m	53	0,241	0,328	0,227	0,249	0,216
	0,5 m	53	0,181	0,189	0,213	0,249	0,139
	1 m	53	0,147	0,122	0,135	0,167	0,114
	2 m	53	0,135	0,099	0,114	0,166	0,106
Niedermoor	0,25 m	28	0,1	0,124	0,113	0,123	0,093
	0,5 m	28	0,11	0,158	0,084	0,11	0,072
	1 m	28	0,092	0,078	0,082	0,113	0,069
Hochmoor	0,25 m	11	0,039	0,093	0,043	0,057	0,036
	0,5 m	11	0,046	0,059	0,032	0,047	0,03

Tab. 9

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Bodenart	Nutzung	Eintrag	Denitrifikation				
Sand	Grünland	125	1	1	1	1	1
Sand über Lehm	Grünland	125	1	1	1	1	1
Lehmiger Sand	Grünland	140	8	8	7	7	8
Sandiger Lehm	Grünland	140	26	25	26	28	27
Lehm (ÖH)	Grünland	144	41	37	41	46	45
Lehm (Marsch)	Grünland	144	26	25	27	31	30
Niedermoor	Grünland	100	9	11	8	7	9
Hochmoor	Grünland	64	5	9	5	4	6

Tab.10

			Erfde -835	Lensahn -705	Referenz -838	B1 -934	A1B -876
Bodenart	Hydrologie	Eintrag	Mineralisation				
Niedermoor	0,25 m	100	152	182	156	151	176
	0,5 m	100	174	200	177	167	186
	1 m	100	193	215	198	188	203

Tab. 11

		Erfde -835			Lensahn -705			Referenz -838			B1 -934			A1B -876		
Nutzung	N-Eintrag	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Acker	188	68	34	34	57	30	27	65	33	32	75	38	37	66	33	33
Grünland	127	54	23	31	47	20	27	55	24	31	61	26	35	55	23	32
	P-Eintrag															
Acker	78	0,21	0,16	0,05	0,19	0,14	0,05	0,18	0,1	0,08	0,5	0,15	0,35	0,38	0,14	0,24
Grünland	29	0,33	0,03	0,29	0,19	0,03	0,16	0,28	0,02	0,26	0,49	0,03	0,46	0,37	0,03	0,34

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Bodenerosion durch Wasser in Bayern

Rudolf Rippel, Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

1 Zusammenfassung

Unter Zugrundelegung der für den Zeitraum 2021-2050 prognostizierten Klimadaten (Basis: globales Klimamodell ECHAM4/OPYC3, Emissionsszenario B2, regionales Modell Meteo-Research für 345 bayernrelevante Niederschlagsmessstationen) werden die für die Ermittlung der potenziellen Bodenerosion mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) relevanten klimaabhängigen Parameter

- Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor R und
- Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor C bestimmt.

Die Berechnung für 13 verschiedene Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Anteilen an erosionskritischen Früchten und jeweils 3 unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten ergibt folgende Änderungsfaktor für den R- und C-Faktor im Zeitraum 2021-2050 gegenüber 1971-2000 (Mittelwerte und Spannweiten):

	R ₂₀₅₀		C ₂₀₅₀		R ₂₀₅₀ * C ₂₀₅₀	
	Ø	von - bis	Ø	von - bis	Ø	von - bis
Änderungsfaktoren 2050 gegenüber 2000	1,05	0,96 - 1,21	1,10	1,02 - 1,30	1,16	0,98 - 1,57

Demnach wird der Bodenabtrag durch Wassererosion auf bayerischen Ackerflächen bis 2050 im Durchschnitt um etwa 16 % zunehmen, wenn keine zusätzlichen Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

2 Auswirkungen der Klimaänderung auf die Bodenerosion durch Wasser in Bayern

Modelle ermöglichen einen Blick in die Zukunft. Klimaforscher sagen uns mit deren Hilfe voraus, mit welchem Klima wir nach heutigem Kenntnisstand in Zukunft rechnen müssen. Für die Prognose des langjährigen mittleren Bodenabtrags ist das Modell der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) geeignet.

Der zu einer Abschätzung der Bodenerosion notwendigen Konkretisierung der Witterungsdaten liegen die Ergebnisse des Arbeitskreises KLIWA sowie 10 Realisationen für jeweils 60 Modelljahre und 345 Klimastationen in und um Bayern des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) zugrunde. Deren Modellierung basiert auf dem globalen

Klimamodell ECHAM4/OPYC3 (Emissionsszenario B2) und dem regionalen Modell Meteo-Research [1] [2].

In Folgendem soll versucht werden, die Folgen des Klimawandels für das Erosionsgeschehen in Bayern abzuschätzen. Dabei bleiben andere mögliche erosionswirksame Entwicklungen außer Betracht, die nicht oder nur indirekt klimabedingt sind. Zu denken wäre hier an eine weitere Verbreitung des Maisanbaus in Folge des Biogasbooms, an größere erosionswirksame Hanglängen durch Flurneuordnung und „virtuelle Flurbereinigung“ oder an eine zunehmende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung in der landwirtschaftlichen Praxis.

2.1 Vorgehen

Aufbauend auf den oben beschriebenen Prognosemodellen wird das Erosionsgeschehen der letzten 3 Dekaden des vergangenen Jahrhunderts mit dem in den Jahren 2021 bis 2050 verglichen. Vereinfachend werden folgend die für diese Perioden stehenden Jahre „2000“ und „2050“ bzw. die entsprechenden Indizes verwendet.

Die ABAG schätzt die potentielle Erosionsgefährdung durch Multiplikation von 6 Faktoren ab [3] [4]:

$$\text{Abtrag } A = R * K * S * L * C * P$$

Dabei ist

R der Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor,

K der Bodenerodierbarkeitsfaktor,

S der Hangneigungsfaktor,

L der Hanglängenfaktor,

C der Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor und

P der Erosionsschutz-Maßnahmenfaktor.

Mindestens zwei Faktoren der ABAG sind klimaabhängig: der Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor R sowie der Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor C. Beide Faktoren werden unter dem Aspekt der zu erwartenden Klimaentwicklung betrachtet. Anschließend werden für verschiedene Fruchtfolgen und standardisierte Bewirtschaftungssysteme die Abträge unter den Niederschlagsbedingungen der Jahre 1971-2000 mit denen der Jahre 2021-2050 verglichen.

2.1.1 Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor im Jahr 2050 (R_{2050})

R wird bestimmt von der kinetischen Energie des Niederschlags in kJ/m^2 , von der Intensität des Niederschlags in mm/h und von der Höhe des Niederschlags in mm [3]. Da für Energie und Intensität der Niederschläge konkrete Prognosen fehlen, wird hier [4] folgend

angenommen, dass die Ableitung von R aus der Jahresniederschlagshöhe ausreichend genau ist. Demnach besteht gemäß der Formel $R = 0,083 \cdot [\text{mittlerer Jahresniederschlag in mm}] - 1,77$ eine enge Beziehung zwischen dem mittleren Jahresniederschlag und R ($r = 0,942$). Für die Beziehung zwischen den mittleren Niederschlägen im Sommerhalbjahr besteht zwar eine geringfügig engere Korrelation ($r = 0,961$), wegen der erwarteten Verschiebung eines Teils der Niederschläge vom Sommer- in das Winterhalbjahr erscheint die erst genannte Beziehung für den hier verfolgten Zweck aber als besser geeignet.

2.1.2 Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor im Jahr 2050 (C_{2050})

Nach [3] und [4] ist C abhängig von dem durch Pflanzen und Pflanzenreste im Jahresablauf erzeugten Schutz und der mechanischen Bearbeitung des Bodens. Dabei ist ausschlaggebend, wie Perioden unterschiedlicher Bedeckungsgrade des Bodens mit Phasen unterschiedlicher Niederschlagserosivität zusammenfallen.

Klimaänderungen werden demnach Auswirkungen auf den Bewirtschaftungsfaktor C haben über die zeitliche Verschiebung der kulturartspezifischen Perioden verschiedener Bodenbedeckungsgrade und über die Veränderung des relativen R-Anteils im Jahresgang.

2.1.2.1 Zeitliche Verschiebung der Kulturperioden

Für die Bestimmung der C-Faktoren sind 6 Kulturperioden zu unterscheiden (Tab. 1).

Tab. 1: Kulturperioden zur Bestimmung des C-Faktors, nach [3]

Beschreibung	Kurzbezeichnung
Hauptbodenbearbeitung bis Saattbettbereitung	BB-SB
Saattbettbereitung bis 10 % Bodenbedeckung durch die Kulturpflanze	SB-10%
10 bis 50 % Bodenbedeckung	10-50%
50 bis 75 % Bodenbedeckung	50-75%
75 % Bodenbedeckung bis Ernte	75%-E
Ernte bis Hauptbodenbearbeitung	E-BB

Die Kulturperioden E-BB und BB-SB sind vom Erntetermin der vorangegangenen Frucht, dem Zeitpunkt der Hauptbodenbearbeitung und dem Saattermin der nachfolgenden Frucht abhängig. Deshalb ist C immer an eine Fruchtfolge gebunden und kann nur unzureichend durch die Addition einzelner, fruchtartspezifischer C-Werte der Fruchtfolgeglieder ermittelt werden.

Ausgehend von den in [3] für Bayern beschriebenen mittleren Anfangs- und Endterminen der einzelnen Kulturperioden wird entsprechend der prognostizierten Klimaänderung ([1] [2]) angenommen, dass die Vegetationszeit im Jahr 2050 im Frühjahr 7 Tage früher beginnt und im Herbst 7 Tage später endet als heute. Daraus werden unter Berücksichtigung

pflanzenbaulicher Zusammenhänge die weiteren Verschiebungen der Kulturperioden abgeleitet (Abb. 1).

Die Saatbettbereitung im Herbst wird im Umfang der zur Verfügung stehenden Vegetationszeit nach hinten verschoben, um den zwischen Ernte der Vorfrucht und Herbstsaat bisher oft knappen Zeitraum ohne Zeitdruck zu nutzen, um die Kulturen wie Gerste und Raps nicht zu üppig in den Winter gehen zu lassen, um eine Zwischenfrucht länger stehen zu lassen oder um die längere Vegetationszeit mit hierfür geeigneten Kulturpflanzen zumindest teilweise zu nutzen (Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln). Dem entsprechend werden - wie auch heute schon - die Stadien mit 10 % und 50 % Bodenbedeckung von Wintergerste, Winterroggen und Winterraps bereits im Herbst erreicht, wenn auch 7 Tage später. Die übrigen Kulturarten werden diese Stadien im Frühjahr des Folgejahres 7 Tage früher als heute erreichen.

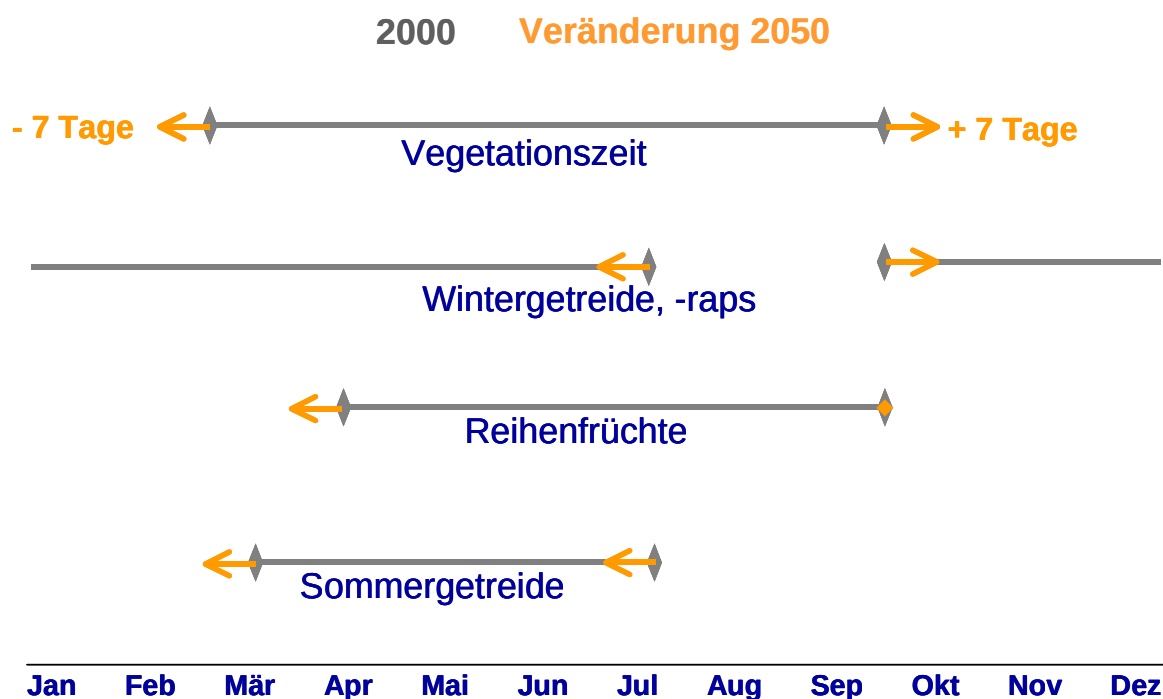


Abb. 1: angenommene Verschiebung der Kulturperioden (schematisch)

Die Saat im Frühjahr wird 7 Tage früher als heute erfolgen, um die zur Verfügung stehenden Wasservorräte möglichst voll nutzen zu können. Dem entsprechend werden auch die weiteren Stadien für Körnerfrüchte einschließlich der Ernte 7 Tage früher als heute erreicht. Für Reihenfrüchte wird unterstellt, dass sich die Erntetermine nicht verschieben werden. Zumindest für Mais und Kartoffeln stehen zahlreiche Sorten mit unterschiedlich langer Vegetationszeit zur Verfügung, so dass sich durch Sortenwahl die längere Vegetationszeit (bei ausreichender Wasserversorgung) zumindest teilweise nutzen lässt.

Um die Auswirkungen der Klimaänderung für eine möglichst breite Spanne von C-Faktoren verfolgen zu können, werden hier drei standardisierte und nach dem Grad des damit verbundenen Erosionsschutzes unterschiedene Varianten der Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung betrachtet:

- Niedriger Erosionsschutz („niedrig“): wenige Tage nach der Ernte der Vorfrucht wird eine wendende Bodenbearbeitung (Pflug, Schälplflug) oder eine „gründliche“ Grubberbearbeitung durchgeführt. Das Verfahren ist auch unter dem Namen „reiner Tisch“ bekannt.
- Mittlerer Erosionsschutz („mittel“): Nach der Ernte der Vorfrucht werden mit dem Grubber Ernterückstände, Stoppeln und Stroh flach eingearbeitet. Vor Mais und Zuckerrüben wird 10 Tage nach der Vorfruchternte, frühestens aber am 10.8., gepflügt und eine Zwischenfrucht eingesät, in deren Mulch im Frühjahr die Mais- oder Zuckerrübensaart ohne Saatbettbereitung erfolgt. Vor Kartoffeln werden im Herbst Dämme gebaut, auf die eine Zwischenfrucht gesät wird. Im Frühjahr werden die Pflanzkartoffeln direkt in die vorgeformten Dämme gelegt. Im übrigen erfolgt eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug im Herbst 4 Tage vor der Saatbettbereitung einer Winterung bzw. am 15. November vor einer Sommerung.
- Hoher Erosionsschutz („hoch“): Nach der Ernte wird flach gegrubbert. Die Saat von Körnerfrüchten erfolgt mit einer Säkombination, z. B. einem Sägrubber ohne wendende Bodenbearbeitung. Vor Mais und Zuckerrüben wird 10 Tage nach der Vorfruchternte, frühestens aber am 10.8., eine Zwischenfrucht ohne vorherige wendende Bodenbearbeitung gesät, in deren Mulch im Frühjahr die Mais- oder Zuckerrübensaart ohne Saatbettbereitung erfolgt. Vor Kartoffeln werden Dämme gebaut, auf die eine Zwischenfrucht gesät wird. Im Frühjahr werden die Pflanzkartoffeln direkt in die vorgeformten Dämme gelegt. Das Verfahren entspricht der pfluglosen Bewirtschaftung.

2.1.2.2 Veränderung der relativen Jahres-R-Verteilung

Die bisher geltende mittlere Jahres-R-Verteilung (Summenprozent) wurde in [4] als Mittelwert von 18 bayerischen Wetterstationen ermittelt. Für die Prognose der künftigen Jahres-R-Verteilung werden Niederschlagsdaten dieser 18 Stationen herangezogen, soweit diese in die Niederschlagsmodellierung einbezogen wurden. Andernfalls wird die jeweils nächste von der Höhenlage vergleichbare Messstation herangezogen.

Wegen der nicht verfügbaren Daten zur definitionsgemäßen Ermittlung von Energie und Intensität künftiger Niederschläge wird angenommen, dass sich der monatliche Anteil erosiver Niederschläge im gleichen Verhältnis ändert wie der monatliche Anteil der Tage mit Niederschlägen über 25 mm. Diese Annahme erscheint gerechtfertigt, da für die Bestimmung der R-Anteile nur die Niederschläge eingehen, die eine bestimmte Intensität

übersteigen und das Erosionsgeschehen von den Starkniederschlagsereignissen entscheidend abhängen dürfte.

Daraus ergibt sich eine Anhebung der monatlichen Anteile für September bis Mai und – bei nach wie vor hohem Niveau – eine Absenkung in den verbleibenden Monaten (Tab. 2).

Tab. 2: Mittlere monatliche R-Faktor-Anteile (%), 2000 und 2050

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
2000	0,12	0,60	0,77	3,0	10,3	28,0	20,9	20,6	9,8	3,2	1,6	1,1	100
2050	0,16	0,99	0,85	4,8	11,5	24,6	17,9	17,6	13,0	4,6	2,7	1,3	100

Ausgehend von den heute geltenden täglichen R-Faktor-Anteilen wurden die monatlichen Summenprozente entsprechend angepasst und auf die taggenauen anteilmäßig übertragen. Abb. 2 zeigt die bisherige und die für 2050 auf diese Weise bestimmte Summenkurve der R-Faktor-Anteile.

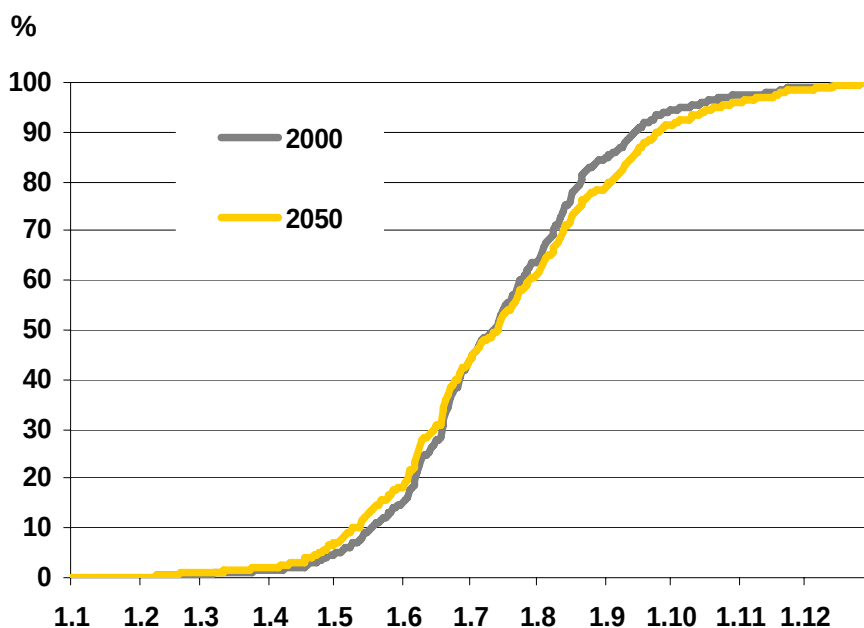


Abb. 2: Mittlere langjährige tägliche Summenprozente der R-Faktor-Anteile in Bayern heute (nach [4]) und im Jahr 2050

Für die Zukunft ergibt sich demnach gegenüber heute von September bis einschließlich Mai eine etwas steilere Kurve und damit ein höherer Anteil an erosiven Niederschlägen und eine Abflachung in den Monaten Juni bis einschließlich August. Demnach wird auch künftig der

weit überwiegende Teil erosiver Niederschläge im Sommerhalbjahr fallen, insbesondere in den Monaten Juni bis August (Abb. 3).

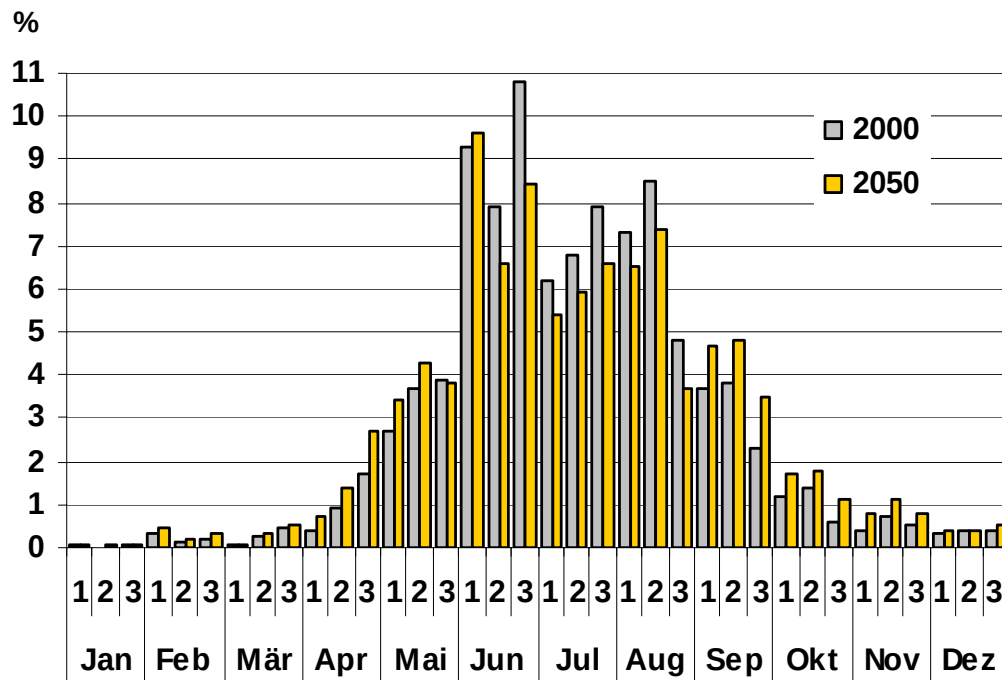


Abb. 3: Mittlere langjährige Summenprozente der R-Faktor-Anteile pro Dekade in Bayern heute (nach [4]) und im Jahr 2050

2.1.2.3 Ermittlung von C_{2050}

Der C-Faktor wurde für folgende 13 Fruchtfolgen bestimmt (mit jeweils den 3 oben beschriebenen Stufen des Erosionsschutzes bei Bearbeitung und Bestellung):

Raps-Getreide-Fruchtfolgen:

- Winterraps-Winterweizen-Winterweizen-Triticale (25 % Raps+Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Winterweizen (33 % Raps+Gerste)
- Winterweizen-Sommergerste (50 % Raps+Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Wintergerste-Hafer (50 % Raps + Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Sommergerste (66 % Raps+Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Wintergerste-Sommergerste (75 % Raps+Gerste)

Mais-Fruchtfolgen:

- Silomais-Winterweizen-Wintergerste-Sommergerste (25 % Mais)
- Silomais-Winterweizen-Wintergerste (33 % Mais)
- Silomais-Winterweizen (50 % Mais)

Zuckerrüben-Fruchtfolgen:

- Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen-Wintergerste (25 % Zuckerrüben)

- Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste (33 % Zuckerrüben)

Kartoffel-Fruchtfolgen:

- Kartoffeln-Winterweizen-Wintergerste-Sommergerste (25 % Kartoffeln)
- Kartoffeln-Winterweizen-Sommergerste (33 % Kartoffeln)

Näheres zur Bestimmung von C-Faktoren kann [4] entnommen werden.

2.1.3 Veränderung des Bodenabtrags A_{2050} aufgrund der für 2050 prognostizierten direkten Klimaeinflüsse

Der potenzielle Abtrag für die im Jahr 2050 herrschenden Klimaverhältnisse wird durch Einsetzen der Faktoren R_{2050} und C_{2050} in die ABAG bei sonst gleichbleibenden Bedingungen bestimmt. Wegen des linearen Zusammenhangs der Einzelfaktoren mit dem potentiellen Abtrag gilt folgendes: ändert sich R_{2050} gegenüber R_{2000} um den Faktor a und C_{2050} gegenüber C_{2000} um den Faktor b, so ändert sich A_{2050} gegenüber A_{2000} um den Faktor $a * b$. Verändert sich also z. B. R um den Faktor 1,10 und C um den Faktor 0,95, so ergibt sich insgesamt eine Erhöhung des potentiellen Bodenabtrags um den Faktor $1,10 * 0,95 = 1,045$, also um 4,5 %.

Für die regionalisierte Darstellung des Bodenabtrags in Bayern in einer Karte wird mit Hilfe der Formel [5]

$$C = [83 - 1,58 * (Md + Ms + AFu) + 0,0082 * (Md + Ms + AFu)^2] * (1 - 0,03 * AFu) + 0,01 * AFu - 0,05 * Ms + 2,7$$

gemarkungsweise ein C-Faktor ermittelt und für die Prognose mit der ermittelten durchschnittlichen fruchtfolgespezifischen prozentualen Veränderung berücksichtigt (Md = Anteil der kleinkörnigen Mähdruschfrüchte in % AF; Ms = Anteil der mit Mulchsaatverfahren angebauten Reihenfrüchte in % AF; AFu = Anteil des mehrjährigen (rasenbildenden) Ackerfutters in % AF).

2.2 Ergebnisse und Diskussion

2.2.1 R_{2050}

Im Mittel von 345 Niederschlagsmessstationen im Bereich Bayerns wird es zu einer Anhebung der Jahresniederschlagsmenge um den Faktor 1,05 von 998 auf 1045 mm kommen. Damit ändert sich der R-Faktor im Durchschnitt aller Stationen um den Faktor 1,05 (0,96 bis 1,21) mit regional deutlichen Unterschieden.

Die Veränderung der Jahresniederschläge wird bewirken, dass bei dem hier unterstellten Klimaszenario R_{2050} in Bayern kleinflächig leicht abnehmen, im Süden überwiegend etwa gleich bleiben und in weiten Teilen Ober- und Unterfrankens um 10 % und mehr ansteigen wird (Abb. 4, Tab. 3). Da die Niederschlagswerte für 2000 und 2050 aus Modellrechnungen stammen, können die Werte für 2000 von den tatsächlich gemessenen abweichen.

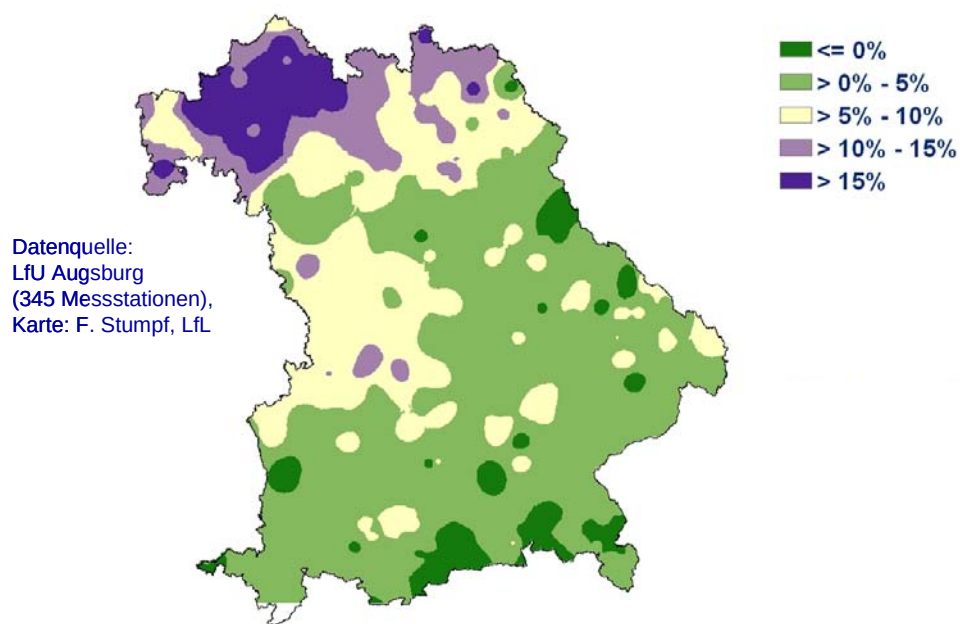


Abb. 4: Relative Zunahme des R-Faktors 2050 gegenüber 2000 in Bayern

Tab. 3: Niederschläge und R-Faktoren für 18 Niederschlagsmessstationen in Bayern

Messstation	Höhe über NN	Jahresniederschlag, mm		R-Faktor		relativ, % 2000=100 %
		2000	2050	2000	2050	
Hof	474	731	818	59	66	112
Bad Kissingen	262	739	873	60	71	119
Großheirat	295	677	754	54	61	112
Bamberg	239	645	732	52	59	114
Würzburg	268	595	687	48	55	116
Weiden	438	727	764	59	62	105
Nürnberg-Tiergarten	325	743	757	60	61	102
Regensburg	366	669	691	54	56	103
Weißenburg	422	702	745	57	60	106
Ortenburg	375	888	906	72	73	102
Scheyern	481	841	855	68	69	102
Augsburg	461	794	811	64	66	102
Hallbergmoos-Goldach	462	864	887	70	72	103
München-Berg am Laim	530	1013	1031	82	84	102
Mühldorf	540	1547	1590	127	130	103
Kempten	705	1238	1285	101	105	104
Marktschellenberg	500	1849	1876	152	154	101
Oberstdorf	810	1769	1756	145	144	99

In Ermangelung einer besseren Methode erfolgt die Ermittlung der künftigen R-Faktoren hier mit der Annahme, dass der bisher geltende Zusammenhang $R = 0,083 \cdot [\text{mittlerer Jahresniederschlag in mm}] - 1,77$ auch künftig seine Richtigkeit haben wird. Steigende Temperaturen werden aber im Winter dazu führen, dass die Niederschläge erosiver wirken als bisher, da sie dann häufiger in Form von Regen anstatt Schnee fallen und der in kürzeren Perioden gefrorene Boden den ansetzenden Abtragskräften weniger Widerstand bieten kann.

Dementsprechend ist eine Entwicklung des R-Faktors zu erwarten, die eher noch über dem hier beschriebene Anstieg liegt.

2.2.2 C₂₀₅₀

Die Klimaänderung wird ein Ansteigen des C-Faktors zur Folge haben. Dies liegt überwiegend daran, dass sich für Winterfrüchte die Zeitspanne zwischen Bodenbearbeitung und Saattbettbereitung gegenüber 2000 in einer Zeit mit hohen und ab September zunehmenden Anteilen an erosiven Niederschlägen um 14 Tage verlängert. Dies betrifft besonders die später zu säenden Früchte Winterweizen und Winterroggen (Abb. 5).

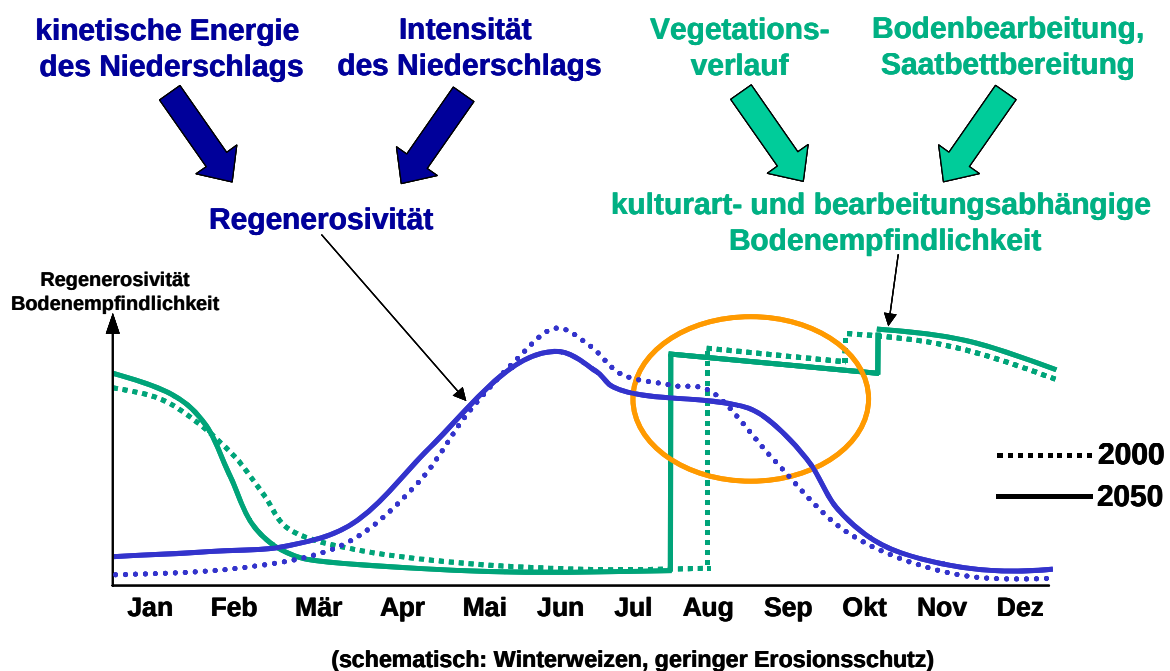


Abb. 5: Schematische Darstellung der zu erwartenden Verschiebungen des Anteils der Regenerosivität und der kulturart- und bearbeitungsabhängigen Empfindlichkeit des Bodens am Beispiel Winterweizen

Auch für Sommerungen ergibt sich aus der früheren Ernte der Vorfrucht eine Erhöhung des C-Faktors. Bei frühräumenden Mähdruschfrüchte wie Gerste und Raps entfällt zwar der

Schutz der Bodenbedeckung zu einem früheren Zeitpunkt, wegen der ab Juni abnehmenden Anteile an erosiven Niederschlägen ergibt sich aus dieser Konstellation aber eher eine etwas geringere Anhebung des C-Faktors.

Die spät räumenden Hackfrüchte führen aus den bekannten Gründen zwar zu einem insgesamt hohen C-Faktor, schützen den Boden aber gerade in Zeiten künftig zunehmender Regenerosivität (September, Oktober) länger als die anderen Früchte, weshalb deren Anteil zu einer eher geringeren Anhebung des C-Faktors beiträgt.

Tab. 4 zeigt, dass die relativen Veränderungen des C-Faktors wesentlich vom Niveau des Erosionsschutzes abhängig sind. Bei gleichem Schutzniveau ergeben sich innerhalb der Fruchtfolgegruppen Unterschiede, die sich aus den genannten Gründen zumindest zu einem bedeutenden Teil mit dem jeweiligen Anteil an Winterweizen erklären lassen.

Tab. 4: Relative Veränderung des Bewirtschaftungsfaktors C verschiedener Fruchtfolgen und Erosionsschutz-Niveaus für 2050 (%; 2000 = 100 %)

Fruchtfolge	kritische Früchte %	Erosionsschutz		
		niedrig	mittel	hoch
Mähdrusch-Fruchtfolgen	25-75	126 (122-130)	106 (102-111)	111 (107-114)
Mais-Fruchtfolgen	25-50	110 (106-113)	111 (105-118)	107 (104-112)
Zuckerrüben-Fruchtfolgen	25/33	114 (112/117)	106 (105/108)	103 (102/103)
Kartoffel-Fruchtfolgen	25/33	116 (116/116)	109 (109/109)	107 (107/107)
alle Fruchtfolge-Gruppen		117 (106-130)	108 (102-118)	107 (102-114)

Was Erosionsschutzmaßnahmen angeht, bewegt sich die Praxis derzeit überwiegend zwischen den beiden Erosionsschutzvarianten „niedrig“ und „hoch“. Oft wird nach Variante „mittel“ gearbeitet, nicht selten allerdings ohne Mulchsaat der Reihenfrucht. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte erscheint die Annahme einer mittleren Erhöhung des C-Faktors um 10 % realistisch. Die absoluten Veränderungen der C-Faktoren liegen zwar oftmals in Bereichen, die für die Berechnung konkreter Einzelfälle nicht relevant sind,

bei einer bayernweiten Betrachtung der Entwicklung ist die festgestellte Größenordnung der relativen Veränderung aber durchaus von Bedeutung.

Mähdrusch-Fruchtfolgen

In Mähdrusch-Fruchtfolgen mit Sommerfurche oder anderer intensiver Bodenbearbeitung kurz nach der Ernte (niedriger Erosionsschutz) wird sich die Klimaänderung am deutlichsten bemerkbar machen. Im Mittel ist hier mit einer Erhöhung des C-Faktors um ca. 0,03 Einheiten oder 26 % zu rechnen, während bei mittlerem und hohem Erosionsschutz die absolute Erhöhung gering ausfällt, wegen des niedrigen Gesamtniveaus aber im Durchschnitt 6 bzw. 11 % über den Ausgangswerten liegt.

Mais-Fruchtfolgen

Für Mais-Fruchtfolgen ergeben sich künftig bei hohem und mittlerem Erosionsschutz kaum Erhöhungen, die bei Betrachtung des Einzelfalls praktische Auswirkungen hätten. Für eine generelle Betrachtung, z. B. von bestimmten Planungsräumen, kann hier mit einer Anhebungen des C-Faktors von durchschnittlich 7 - 11 % gerechnet werden. Bei niedrigem Erosionsschutz erhöhen sich die C-Faktoren um etwa 0,02 Einheiten, einem Anstieg, der wegen des höheren Ausgangsniveaus relativ auf gleichem Niveau liegt.

Zuckerrüben- und Kartoffeln-Fruchtfolgen

Für Fruchtfolgen mit Zuckerrüben oder Kartoffeln bei hohem Erosionsschutz gilt das gleiche wie für Mais-Fruchtfolgen. Bei niedrigem Erosionsschutz nehmen die C-Faktoren ebenfalls um etwa 0,02 Einheiten zu, was hier einem Anstieg von etwa 15 % entspricht.

2.2.3 Bodenabtrag

Setzt man den für Bayern berechneten durchschnittlichen Anstieg des R-Faktors von 5 % und den des C-Faktors von 10 % und die jeweils ermittelten Spannen in die ABAG ein, so ergibt sich bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen mit der Klimaänderung ein mittlerer Anstieg der Bodenerosion in Bayern von 16 % ($1,05 \cdot 1,10 = 1,155$) bei einer Spannweite von (theoretisch) 98 bis 157 % des Ausgangswertes (Tab. 5).

Berücksichtigt man die regionalen Unterschiede des R-Faktors (Abb. 4) und - auf Gemarkungsebene - die unterschiedlichen Anteile an Mähdrusch- und Reihenfrüchten mit ihren fruchtartspezifischen relativen C-Faktor-Veränderungen, so ändert sich der Bodenabtrag für 2050 wie in Abb. 6 dargestellt. Abb. 7 stellt die Situation der beiden betrachteten Zeiträume gegenüber.

Tab. 5: Änderungsfaktor des R¹- und C²-Faktors 2050 gegenüber 2000 (Mittelwerte und Spannweiten)

	R ₂₀₅₀		C ₂₀₅₀		R ₂₀₅₀ * C ₂₀₅₀	
	Ø	von - bis	Ø	von - bis	Ø	von - bis
Änderungsfaktoren 2050 gegenüber 2000	1,05	0,96 - 1,21	1,10	1,02 - 1,30	1,16	0,98 - 1,57

¹⁾ 345 bayernrelevante Niederschlagsmessstationen, 10 Realisationen á 60 Jahre + 1 Kontrolllauf á 30 Jahre

²⁾ 13 Fruchtfolgen, 3 Bearbeitungsvarianten (Erosionsschutzniveaus)

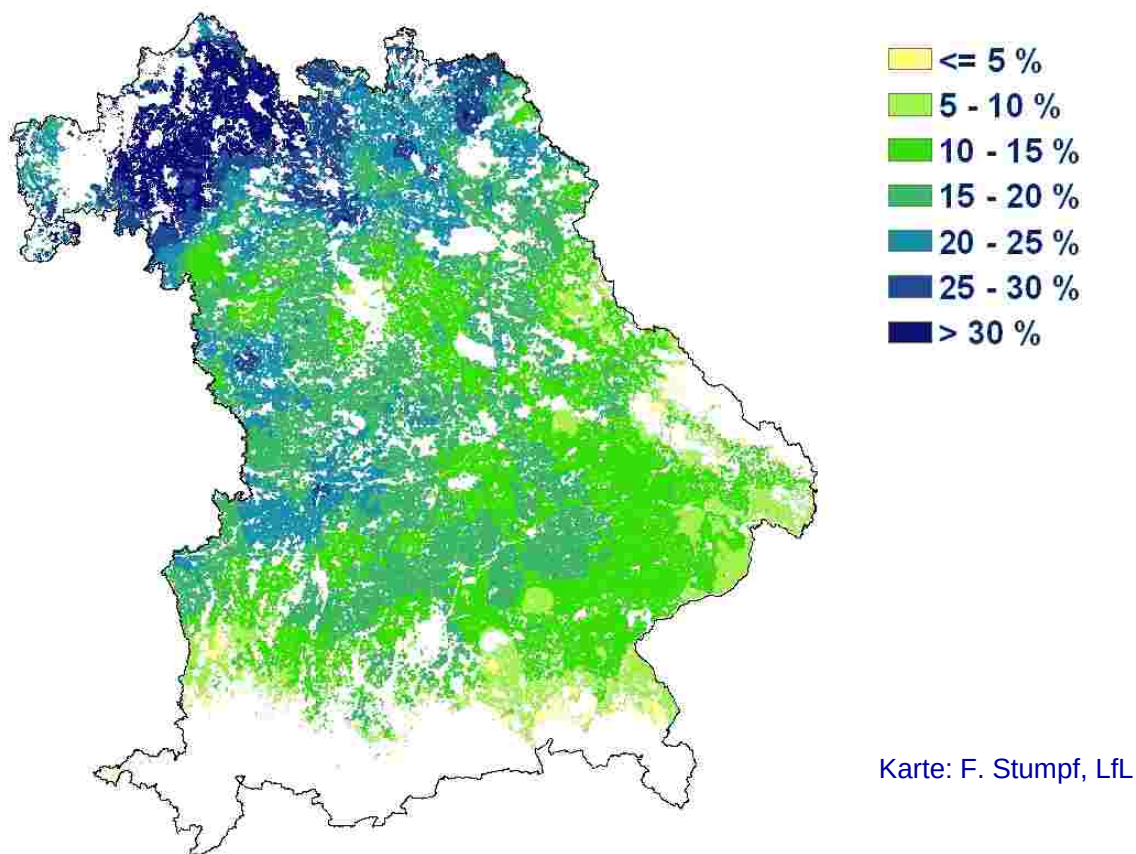


Abb. 6: Voraussichtliche relative Zunahme des Bodenabtrags (nach ABAG) in Bayern durch die Klimaänderung bis 2050 gegenüber 2000 (nach Klimamodell ECHAM4, Emissionsszenario B2, regionales Modell Meteo-Research)

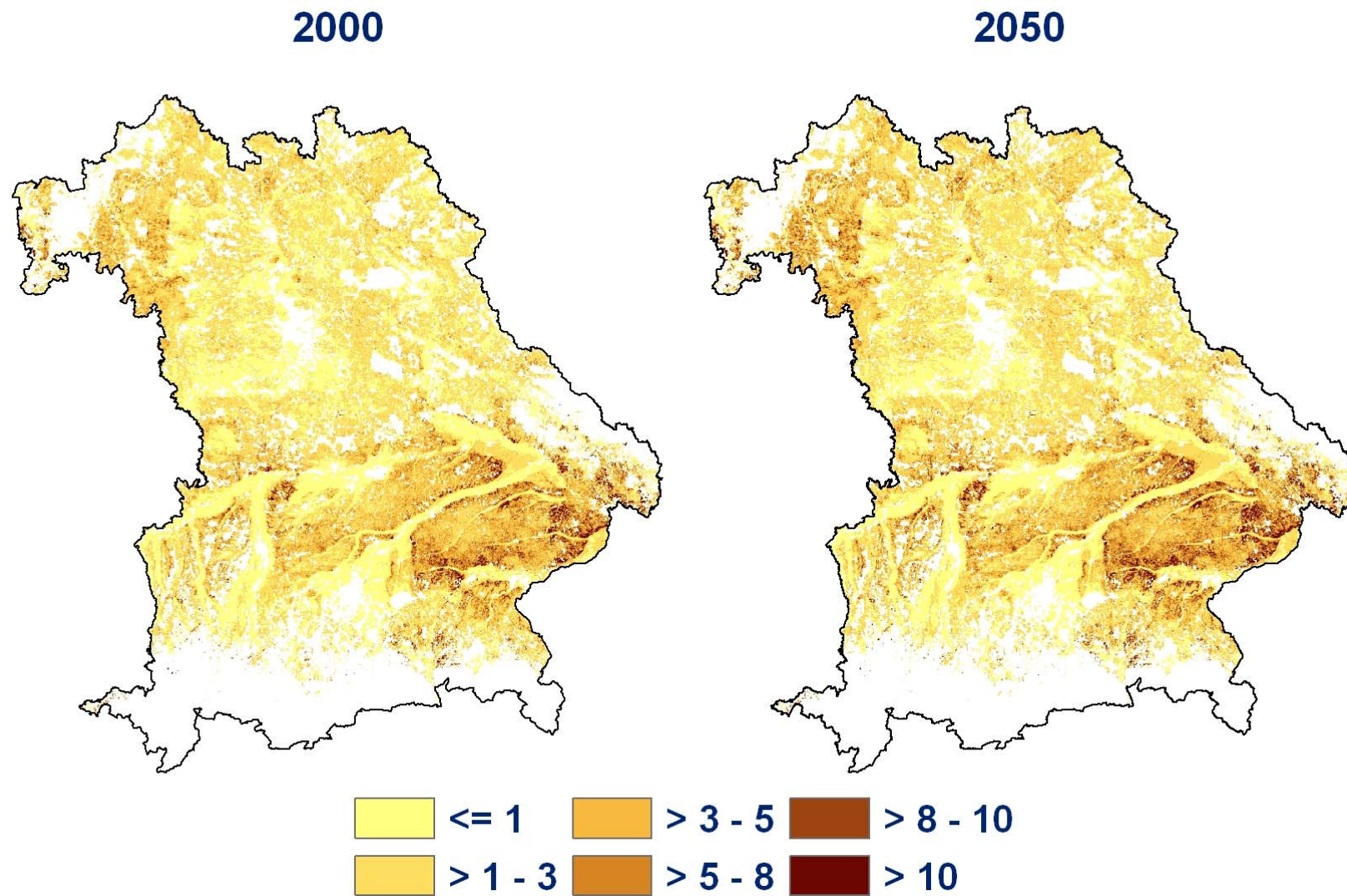


Abb. 7: Bodenabtrag in Bayern 2000 und Prognose für 2050 ($t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$), Karte: F. Stumpf, LfL

Die hier dargestellte Bodenabtragsschätzung geht davon aus, dass künftig nur die ABAG-Faktoren R und C durch die Klimaänderung beeinflusst werden. Es ist anzunehmen, dass damit die gravierendsten Veränderungen erfasst werden. Es sei aber zumindest erwähnt, dass sich mit einer möglichen Veränderung des Humusgehalts definitionsgemäß auch der K-Faktor ändern würde. Die mit einer Erwärmung einhergehenden Veränderungen des Kulturartenspektrums würden den C-Faktor ebenfalls beeinflussen.

Die Aussagen von Klimaprognosen zur räumlichen Verteilung von Wettererscheinungen, insbesondere von Niederschlägen, sind mit größeren Unsicherheiten verbunden. Andere Klima-Modelle können zu anderen Ergebnissen kommen. Dieser Arbeit liegt das Emissionsszenario „B2“ [6] zugrunde. Es beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, mit einer stetig ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in anderen Szenarien. Inwieweit es gelingt, diese Vorstellungen global annähernd umzusetzen, kann hier nicht beurteilt werden.

3 Danksagung

Für die Bereitstellung der Niederschlagsdaten aus den Modellläufen für 1971-2000 und 2021-2050 danke ich dem Bayerischen Landesamt für Umwelt Augsburg. Herrn Prof. Dr. Karl Auerswald (TU Weihenstephan) sowie den Herren Robert Brandhuber, Josef Kreitmayr und Frank Stumpf (alle LfL) danke ich für ihren fachmännischen Rat, letzterem auch für die Anfertigung der GIS-Karten.

4 Literatur:

- [1] Arbeitskreis KLIWA, Hrsg. (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, KLIWA-Bericht Heft 9.
- [2] Arbeitskreis KLIWA, Hrsg. (2005): Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050.
- [3] DIN 19708 Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- [4] Schwertmann, U. & Vogl, W. & Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersagen des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, 2. Aufl., Stuttgart .
- [5] Auerswald K. (2002): Schätzung des C-Faktors aus Fruchtfolgestatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalem bis subatlantischem Klima nördlich der Alpen, Landnutzung und Landentwicklung 43, 1-5 (2002).

- [6] Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC), Hrsg., (2007):
Klimaänderung 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, 4.
Sachstandsbericht des IPCC (AR4), deutsche Übersetzung.

N₂O-Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Zusammenhang mit der N-Düngung und Landbewirtschaftung sowie Vermeidungsoptionen

R. Ruser^{1,2}, T. Kamp², K. Choudry², U. Hera² und T. Rötzer²

¹ Institut für Pflanzenernährung, FG Düngung mit Bodenchemie, 70599 Universität Hohenheim

² Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V., Drei-Kronen-Gasse 2, 93047 Regensburg

Einleitung

Die Konzentration des klimarelevanten Spurengases Lachgas (N₂O) ist seit etwa 1750 von 270 auf heute 319 ppb angestiegen. Neben dem Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt welcher vom IPCC (2007) aktuell auf 7,9% geschätzt wurde, konnte für N₂O zudem gezeigt werden, dass N₂O am stratosphärischen Ozonabbau beteiligt ist (CRUTZEN, 1981). Von den weltweit rund 8,1 Tg N₂O die jährlich aus anthropogenen Quellen in die Atmosphäre freigesetzt werden, werden 85% landwirtschaftlichen Aktivitäten zugerechnet, davon entstammen ca. 80% bodenbürtigen Emission (BREMNER, 1997).

N₂O wird in Böden hauptsächlich während der mikrobiellen N-Transformationsprozesse Nitrifikation und Denitrifikation gebildet (BREMNER, 1997; GRANLI & BØCKMAN, 1994). Die N₂O-Emissionen aus der Landwirtschaft werden auf den verstärkten Eintrag von N über die mineralische oder organische Düngung sowie über den Anbau von Leguminosen in Agrarökosysteme zurückgeführt.

Im Folgenden wird der Stand des Wissens zum Zusammenhang zwischen N-Düngung oder der Bewirtschaftung und der N₂O-Freisetzung aus – sofern möglich – annuellen Datensätzen der BRD dargestellt. Zur Abschätzung von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Klimawirksamkeit werden international Jahresdaten gefordert weil auf Standorten mit häufigeren Frost / Tau-Ereignissen im Winter gezeigt wurde, dass die N₂O-Emissionen außerhalb der Vegetationsperiode etwa 50% der gesamten Jahresemission betragen (FLESSA *et al.*, 1995).

N-Düngung und N₂O-Emissionen

JUNGKUNST *et al.* (2006) fassten sämtliche publizierten Datensätze zur N₂O-Jahresemission auf Standorten der BRD zusammen. Dabei war die mittlere N₂O-Emission aus gedüngten Acker- bzw. Grünlandflächen höher als aus ungedüngten Böden, im Mittel betrug sie 4,85 bzw. 2,15 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹. Für beide Landnutzungssysteme traten dabei sehr hohe Schwankungsbreiten auf (0,1 bis 17,0 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹ für Ackerflächen und 0,3 bis 10,0 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹ für Grünlandflächen). Die hohen N₂O-Verluste beider Systeme befinden sich auch im internationalen Vergleich auf einem sehr hohen Niveau (vgl. GREGORICH *et al.*, 2005; DOBBIE & SMITH, 2003; BOECKX & VAN CLEEMPUT, 2001).

Tab. 1: Annuelle N₂O-Emissionsdatensätze und N₂O-Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden in der BRD in Abhängigkeit der Landnutzung und der Düngung nach JUNGKUNST *et al.* (2006)

Nutzung	Düngung	Anzahl	Mittelwert	Median	Minium	Maximum
----- kg N ₂ O-N ha ⁻¹ a ⁻¹ -----						
Acker	-	9	1,35	1,50	0,04	2,50
	+	50	4,85	3,40	0,07	17,10
Grünland	-	16	1,18	0,85	0,10	3,40
	+	28	2,15	1,55	0,30	10,00

Düngermenge, zeitliche und räumliche Optimierung der Düngung und N₂O-Emissionen

Eine Reihe von Untersuchungen zum Einfluss der Menge an N-Dünger auf die N₂O-Flüsse ergab sowohl für Grünland- als auch für Ackerböden, dass die N₂O-Emissionen in der Regel mit der Düngermenge ansteigen (POGGEMANN, 2001; RUSER *et al.*, 2001; LEIDEL, 2000; KILIAN *et al.*, 1998; KAMMANN *et al.*, 1998). Allerdings hat sich gezeigt, dass die N₂O-Freisetzung Hilfe der Düngermenge nur unzureichend abgeschätzt werden kann (JUNGKUNST *et al.*, 2006; KAISER & RUSER, 2000). Ein deutlich besseres Ergebnis erzielten FLESSA *et al.* (2002) und SEHY (2004), die die N₂O-Emissionen mittels des Ansatzes nach IPCC (2006) in Abhängigkeit des gesamten jährlichen N-Inputs darstellten (Abb. 1). Bei diesem Ansatz ging neben dem N-Dünger auch der Stickstoff mit in die Berechnung ein, der beispielsweise dem Boden in Form von Ernteresten, Zwischenfrüchten oder über die Leguminosen wieder zur Verfügung gestellt wird. Der Emissionsfaktor, der sich aus den für den bayerischen Standort Scheyern gemessenen Daten ergibt, ist mit 2,3% etwa doppelt so hoch wie ihn der IPCC (2006) derzeit zur Berechnung nationaler Spurengasinventuren vorschlägt. Der Vergleich von ertragsbezogenen N₂O-Emissionen bei Wintergetreide auf unterschiedlichen Standorten in der BRD bestätigte, dass der Versuchsstandort einen sehr großen Einfluss auf die N₂O-Emissionen hat, hier werden aktuell vor allem Faktoren wie das Klima oder die Bodenbearbeitung diskutiert (KAISER & RUSER, 2000).

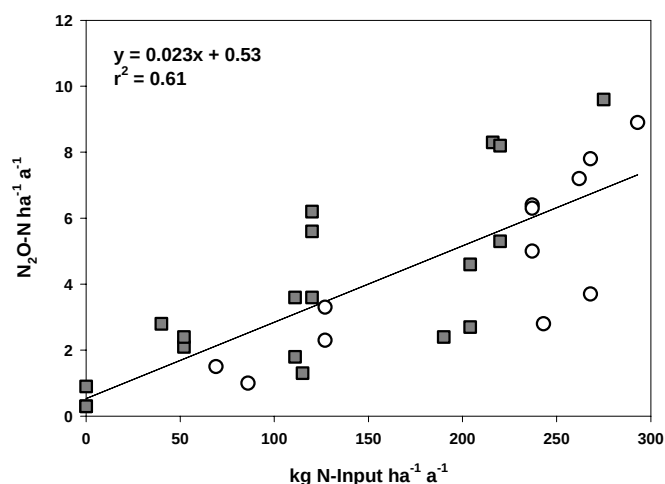


Abb. 1: Zusammenhang zwischen dem N-Input berechnet nach den Vorgaben des IPCC (2006) und den N₂O-Jahresemissionen ermittelt von FLESSA *et al.* (2002) (graue Quadrate) und von SEHY (2004) (runde Symbole).

Der standortsabhängige Emissionsfaktor konnte anhand zweier konkreter Beispiele auch mit Hilfe von N-Salden auf Schlagebene ermittelt werden (Abbildung 2). Bei diesem einfachen Ansatz wurde der N-Input (N-Düngung) dem N-Entzug (Abfuhr des Ernteguts und ggf. Abfuhr von Erntenebenprodukten) gegenüber gestellt.

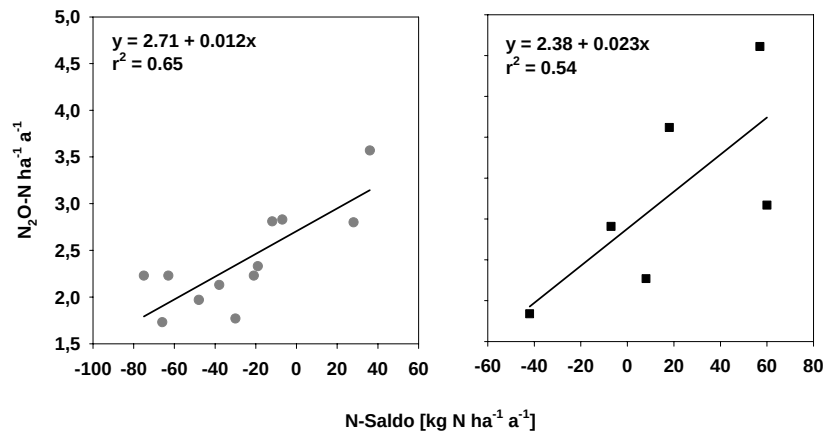


Abb. 2: N₂O-Emissionen in Abhängigkeit des N-Saldos von einem Ackerstandort in Braunschweig (links, KAISER & RUSER, 2000; 3-Jahresmittel auf Weizen-, Gerste- und Zuckerrübenflächen), und von einem Ackerstandort in Scheyern (rechts, berechnet nach RUSER et al., 2001; 2-Jahresmittel auf Weizen-, Mais- und Kartoffelflächen).

Die räumliche und zeitliche Anpassung der N-Düngung an den Pflanzenbedarf und daraus resultierend die Erhöhung der N-Effizienz stellt eine der effektivsten Maßnahmen zur Reduktion der N₂O-Emissionen dar. GUTSER et al. (2000) konnten dies für die zeitliche Anpassung am Beispiel verschiedener Aufteilungen der N-Düngung zu Sommerweizen zeigen. Sie düngten Sommerweizen mit jeweils 150 kg N ha⁻¹ in drei gesplitteten Teilgaben, wobei die Menge der einzelnen Teildüngungen variiert wurde. Verglichen mit einer zum Vegetationsbeginn hoch angedüngten Variante (70 kg N ha⁻¹), wies eine zu diesem Zeitpunkt verhalten gedüngte Variante (30 kg N ha⁻¹) signifikant geringere N₂O-Freisetzen während der gesamten Vegetationsperiode auf. Dies kann auf den geringer N-Entzug durch den Weizenbestand und durch die höheren Bodenwassergehalte während dieser frühen Wachstumsphase zurückgeführt werden. Somit standen den N₂O-bildenden Prozessen höhere Mengen an mineralischem N zur Verfügung.

Ein Bewirtschaftungssystem, bei dem die N-Düngung räumlich an den Bedarf angepasst wird, ist das 'Precision Farming'. SEHY et al. (2003) untersuchten den Einfluss des Precision Farming auf die N₂O-Freisetzung aus zwei Teilbereichen eines Ackers mit unterschiedlichem Ertragspotentialen. Die Erhöhung der Düngermenge in der Precision Farming Variante führte gegenüber der konventionell gedüngten Kontrollvariante im Bereich mit hohen durchschnittlichen Erträgen zu keiner signifikanten Veränderung der N₂O-Freisetzung. Im Gegensatz konnte die N₂O-Emission im Niedrigertragsbereich durch die, gegenüber der konventionellen Variante reduzierte N-Aufwandmenge im Precision Farming, um 34% vermindert werden. Durch die signifikante Reduktion der Emissionen im Niederertragsbereich führte das 'Precision Farming' in den ersten 10 Monaten nach Einführung zu einer Verminderung der N₂O-Freisetzung aus einem Maisacker um ca. 10%. Die Messungen von SEHY et al. (2003) wurden in einem zweiten Versuchsjahr weitergeführt in dem Winterweizen angebaut wurde und welches sich durch extrem hohe Niederschlagssummen während der Vegetationsperiode aus-

zeichnete (SEHY, 2004). Durch die hohen Niederschläge waren die N_2O -Verluste aus der Denitrifikation aufgrund der hohen Bodenwassergehalte und den schlechten Bedingungen für eine O_2 -Diffusion in den Boden höher als im Vorjahr. Dadurch wurden die Düngungseffekte im Niederertragsbereich, der sich durch generell geringere Wassergehalte als der Hohertragsbereich auszeichnete, aufgehoben, sodass sich die Precision Farming Variante nicht von der konventionell gedüngten Variante unterschied.

Düngerform, Nitrifikationshemmstoffe und N_2O -Emissionen

Bisher ist die Datengrundlage nicht ausreichend, um signifikante Unterschiede zwischen der N_2O -Emission und der Düngerform (organische gegenüber synthetisch) pauschal auszuweisen. Aus diesem Grund schlägt der IPCC (2006) für beide Düngergruppen denselben Emissionsfaktor vor.

Die bei KAISER & RUSER (2000) zusammengefassten Datensätze zeigen die Tendenz, dass die N_2O -Emissionen aus organisch gedüngten Böden mit $5,65 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (entsprechend einer N-düngungsbezogenen N_2O -Emissionen von 5,65%) höher waren als aus Böden mit rein synthetischer N-Düngung ($2,6 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, entsprechend 2,0% des N-Düngers). Da bei der Produktion synthetischer Düngemittel ebenfalls klimarelevante Spurengase freigesetzt werden, wird dieser Effekt dadurch teilweise kompensiert.

Aus heutiger Sicht ist die Anwendung nitrifikationshemmender Verfahren in Verbindung mit NH_4 -haltigen Düngemitteln eine erfolgsversprechende Möglichkeit zur Reduktion der N_2O -Emissionen. Da auf landwirtschaftlich genutzten Standorten Deutschlands der Anteil des während der Denitrifikation gebildeten N_2O i.d.R. deutlich höher ist als der Anteil aus der Nitrifikation, konnten die N_2O -Emissionen während der Vegetationsperiode durch die Verringerung des Substratangebots (NO_3 -Konzentration) auf verschiedenen Standorten um bis zu 53% reduziert werden (DITTERT *et al.*, 2001; WEISKE *et al.*, 2001). Leider liegen bis heute keine ganzjährigen Messdaten zum Einfluss von Nitrifikationshemmstoffen aus deutschen Standorten vor. Im Vergleich zur Harnstoffgabe wiesen McTAGGART *et al.* (1997) und DOBBIE & SMITH (2003) auf schottischen Grünland- und Gerstenstandorten eine Reduktion der annuellen N_2O -Emission um 56 und 58% durch den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen nach.

Reduzierte Bodenbearbeitung und N_2O -Emissionen

Für die reduzierte Bodenbearbeitung wird derzeit davon ausgegangen, dass sie zu einer Anreicherung der Humusgehalte in Böden führt. Allerdings nimmt dadurch, verglichen mit konventioneller Pflugbewirtschaftung, die Lagerungsdichte von Böden zu und entsprechend verringert sich der Anteil des Porenvolumens (KOCH & STOCKFISCH, 2006; McVAY *et al.*, 2006). In einem Großteil der Untersuchungen zum Einfluss der Bodenbearbeitung zeigten sich signifikant höhere N_2O -Emissionen bei reduzierter Bodenbearbeitung als in der Vergleichsvariante.

riante unter Pflug (GREGORICH et al., 2005; MACKENZIE et al., 1998). Die erhöhten N₂O-Emissionen können – zumindest kurzfristig - die Atmosphäre stärker belasten als der mittels dieser Bodenbearbeitungsvariante erzielte Einbau von atmosphärischem CO₂ in den Humuspool des Bodens (LI et al., 2005). Deshalb muss die reduzierte Bodenbearbeitung hinsichtlich der Klimabelastung mit Spurengasen derzeit als kritisch bewertet werden. In diesem Zusammenhang scheinen weiterführende Untersuchungen besonders sinnvoll.

Schlussfolgerungen

Mittels dem Bedarf angepasster Düngung kann die N₂O-Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden reduziert werden, dies trifft sowohl hinsichtlich der räumlichen als auch der zeitlichen Verteilung der N-Düngung zu. Das Minderungspotential durch eine an den Pflanzenbedarf optimal angepasste N-Düngung wird auf ca. 10% geschätzt. Ein sehr hohes Vermeidungspotential versprechen nitrifikationshemmende Verfahren, deren Einsatz muss jedoch noch auf annueller Basis für Standorte der BRD überprüft werden.

Die reduzierte Bodenbearbeitung, die neben dem Aspekt der Erosionsminderung auch in Zusammenhang mit der Anreicherung von organischem Kohlenstoff in Böden diskutiert wird, ist mit einer stark erhöhten N₂O-Freisetzung verbunden. Diese zusätzliche Treibhausbelastung kann somit die Humuseinsparungen dieses Verfahren überkompensieren.

Literatur

- BOECKX, P. & O. VAN CLEEMPUT (2001) Estimates of N₂O and CH₄ fluxes from agricultural lands in various regions in Europe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 35-47.
- BREITENBECK, G.A. & J.M. BREMNER (1987) Effects of storing soils at various temperatures on their capacity for denitrification. *Soil Biology & Biochemistry* 19, 377-380.
- BREMNER, J.M. (1997) Sources of nitrous oxide in soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 7-16.
- CRUTZEN, P.J. (1981) Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen including nitrous oxide. In: Delwiche C.C. (ed.): Denitrification, Nitrification and Atmospheric N₂O. John Wiley & Sons, Chichester, 17-44.
- DITTERT, K, R. BOL, R. KING, D. CHADWICK & D. HATCH (2001) Use of a novel nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emission from ¹⁵N-labelled dairy slurry injected into soil. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 15, 1291-1296.
- DOBBIE, K.E. & K.A. SMITH (2003) Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67, 37-46.
- FLESSA H., R. RUSER, P. DÖRSCH, T. KAMP, M.A. JIMENEZ, J.C. MUNCH & F. BEESE (2002) Integrated evaluation of greenhouse gas emissions from two farming systems in southern Germany: Special consideration of soil N₂O emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 91, 175-189.
- FLESSA H., P. DÖRSCH & F. BEESE (1995) Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *Journal of Geophysical Research* 100, 23115-23124
- GRANLI, T. & O.C. BØCKMAN (1994) Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Science Supplement* 12
- GREGORICH, E.D., P. ROCHETTE, A.J. VANDEN BYGAART & D.A. ANGERS (2005) Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil & Tillage Research* 83, 53-72.
- GUTSER, R., W. LINZMEIER & A. KILIAN (2000) N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Abhängigkeit der N-Düngung und des N-Potentials der Böden. *VDLUFA-Schriftenreihe* 55, 190-199.

- IPCC (2006) Good practice guidance for land use, land use change and forestry (GPG LULUCF).
- JUNGKUNST, H.F., A. FREIBAUER, H. NEUFELDT & G. BARETH (2006) Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany – a synthesis of available annual field data. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, 341-351.
- KAISER, E.A. & R. RUSER (2000) Nitrous oxide emissions from arable soils in Germany – An evaluation of six long-term field experiments. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 249-260.
- KAMMANN, C., L. GRÜNHAGE, C. MÜLLER, S. JACOBI & H.-J. JÄGER (1998) Seasonal variability and mitigation options for N₂O emissions from differently managed grasslands. *Environmental Pollution* 102, 179-186.
- KILIAN, A., R. GUTSER & N. CLAASEN (1998) N₂O-emissions following long-term organic fertilization at different levels. *Agrobiological Research* 51, 27-36.
- KOCH, H.J. & N. STOCKFISCH (2006) Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil & Tillage Research* 86, 73-83.
- LEIDEL, S. (2000) N-Salden und Emissionen der klimarelevanten Spurengase Lachgas und Methan unter den Standortbedingungen Nordostdeutschlands als Indikatoren der umweltgerechten Landbewirtschaftung. Dissertation, Universität Rostock
- LI, C.S., S. FROLKING & K. BUTTERBACH-BAHL (2005) Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Climatic Change* 71, 321-338.
- MACKENZIE, A.F., M.X. FAN & F. CADRIN (1998) Nitrous oxide emission as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality* 27, 698-703.
- MCVAY, K.A., J.A. BUDDE, K. FABRIZZI, M.M. MIKHA, C.W. RICE, A.J. SCHLEGEL, D.E. PETERSON, D.W. SWEENEY & C. THOMPSON (2006) Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Science Society of America Journal* 70, 434-438.
- MCTAGGART, I.A., H. CLAYTON, J. PARKER, L. SWAN & K.A. SMITH (1997) Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley, following N fertilizer application with and without nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils* 25, 261-268.
- POGGEMANN, S. (2001) N-Applikation und N₂O-Emissionen von Weideland unter variierenden Bedingungen. Dissertation, Universität Gießen
- RUSER, R., FLESSA, H., SCHILLING, R., BEESE, F. & J.C. MUNCH (2001) Effects of crop-specific field management and N fertilization on N₂O emissions from a fine-loamy soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59, 177-191.
- SEHY, U. (2004) N₂O-Freisetzungen landwirtschaftlich genutzter Böden unter dem Einfluss von Bewirtschaftungs-, Witterungs- und Standortfaktoren. *Dissertation* 173 S.
- SEHY, U., R. RUSER & J.C. MUNCH (2003) Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 99, 97-111.
- WEISKE, A., G. BENCKISER, T. HERBERT & J.C. OTTOW (2001) Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biology and Fertility of Soils* 34, 109-117.



Emission klimarelevanter Gase und die zugrunde liegenden Prozesse im Boden

Claus Florian Stange



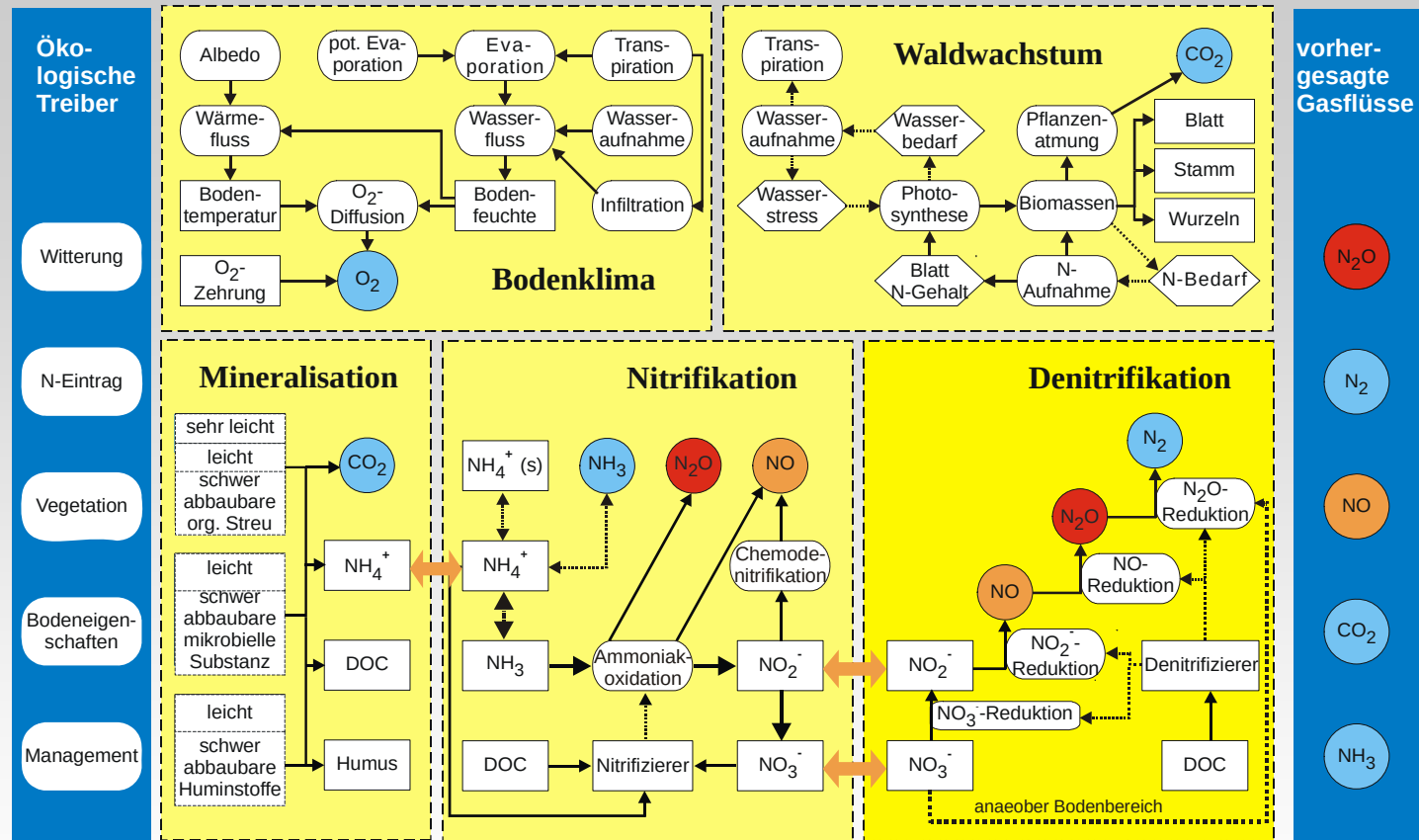
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg



HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

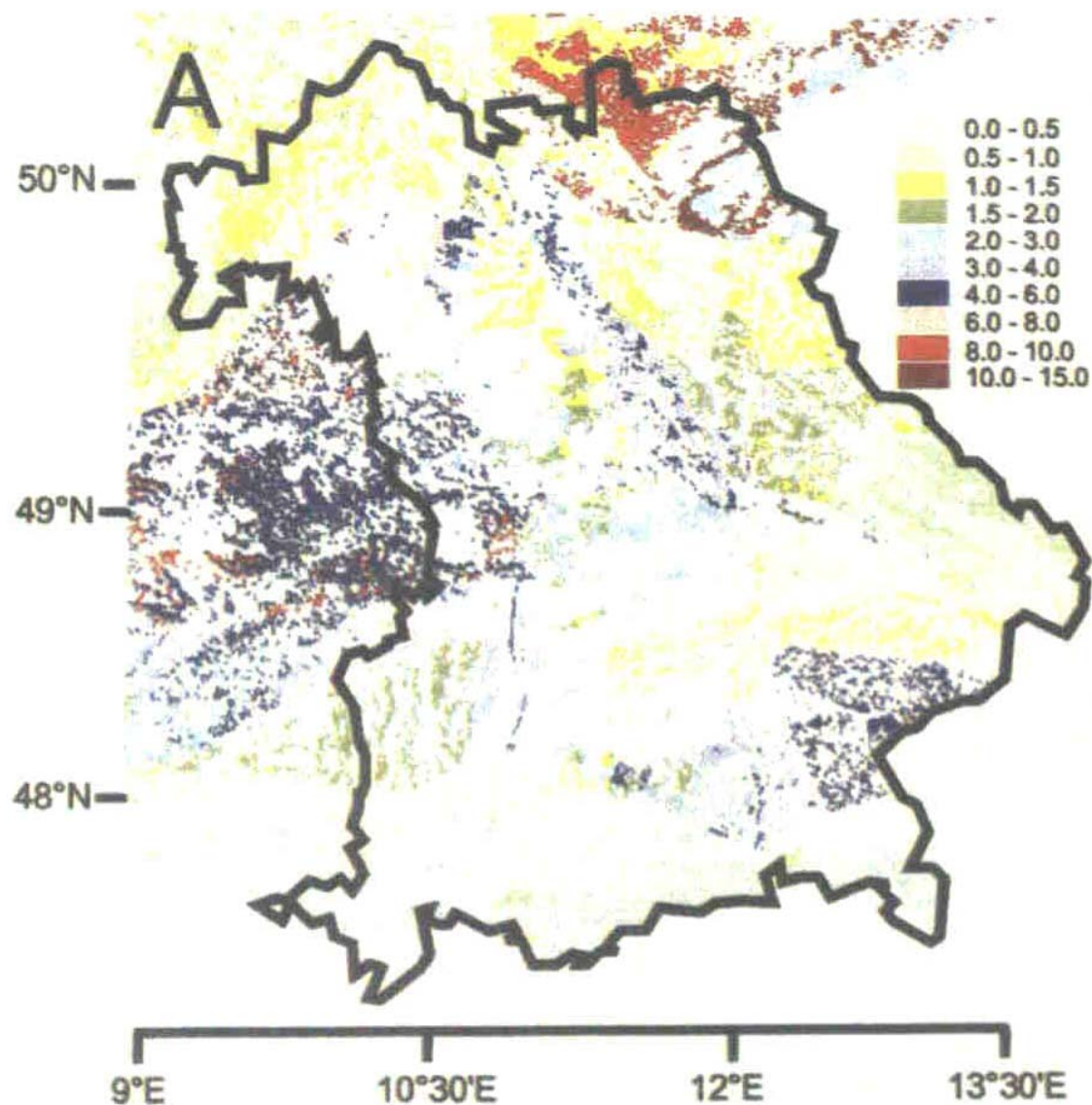
Modelle zur Berechnung der Treibhausgasemission

Das Modell PnET-N-DNDC



Stange, 2001

Regionaler N_2O Fluss aus Wäldern berechnet mit PnET-N-DNDC

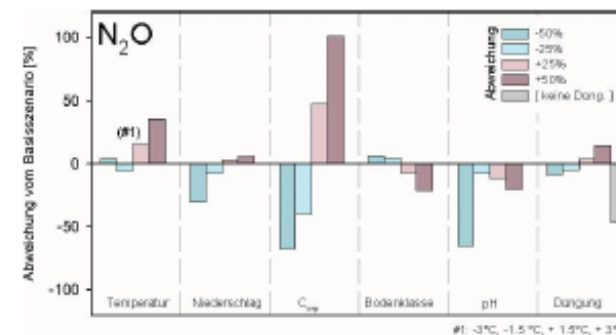


JGR, 2001:
Butterbach-Bahl et al.

HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ



Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg



Beispiel 1: Nitrifikation Statischer Düngeversuch Bad Lauchstädt

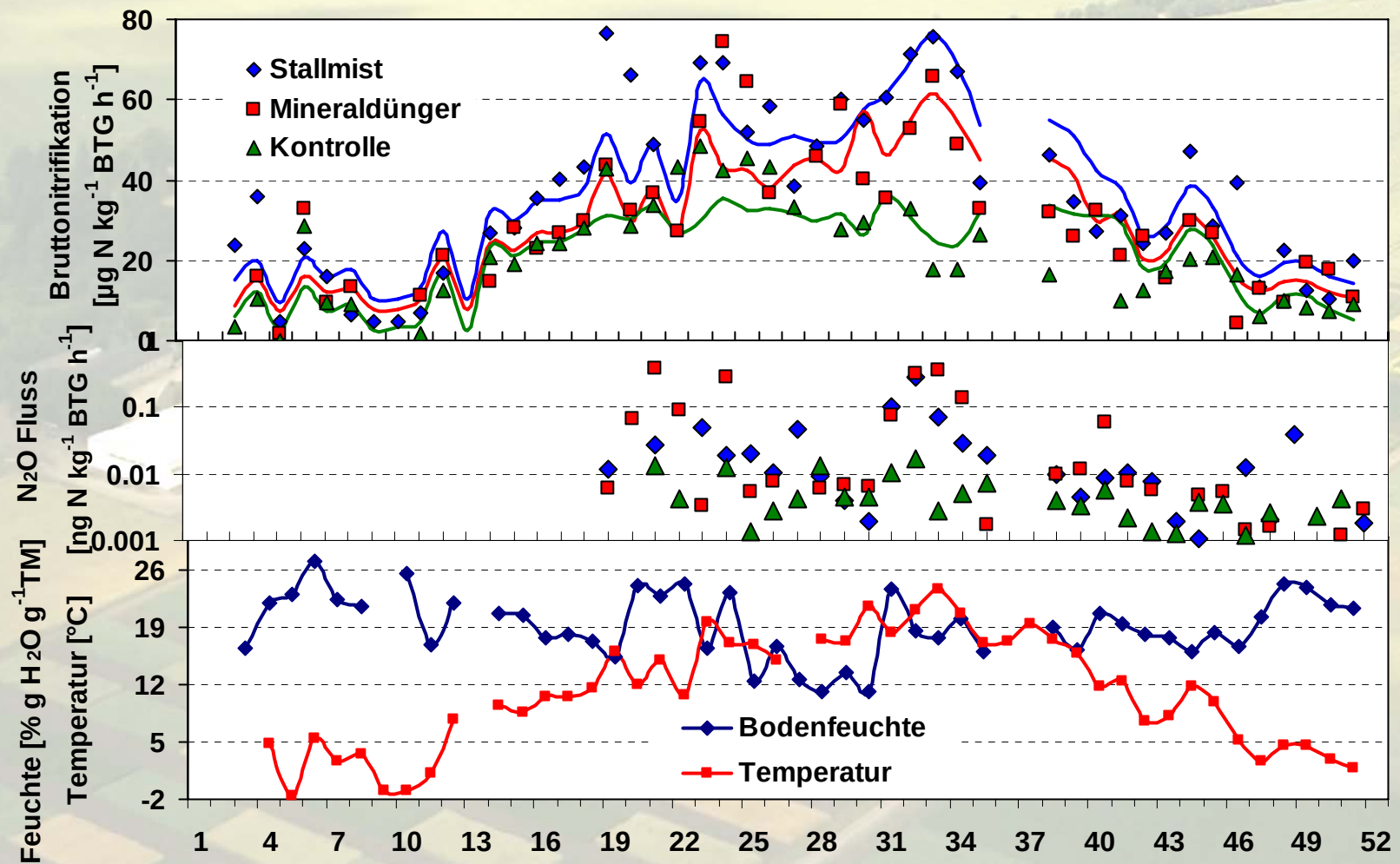


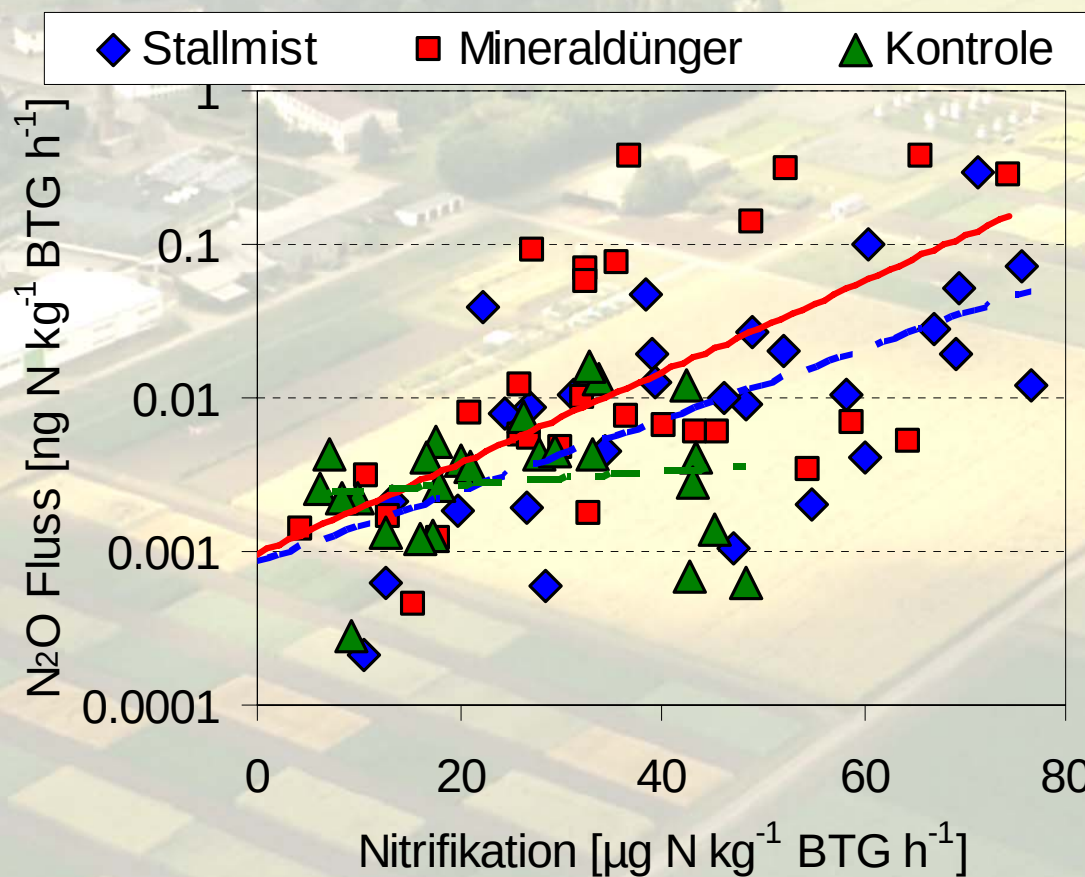
Foto: UFZ



Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

Beispiel 1: N₂O Bildung durch Nitrifikation

$$y = 0.0009e^{0.0532x} \quad y = 0.001e^{0.0681x} \quad y = 0.0022e^{0.0102x}$$
$$R^2 = 0.408 \quad R^2 = 0.318 \quad R^2 = 0.021$$



Beispiel 1: N₂O / Nitrifikations-Verhältnis

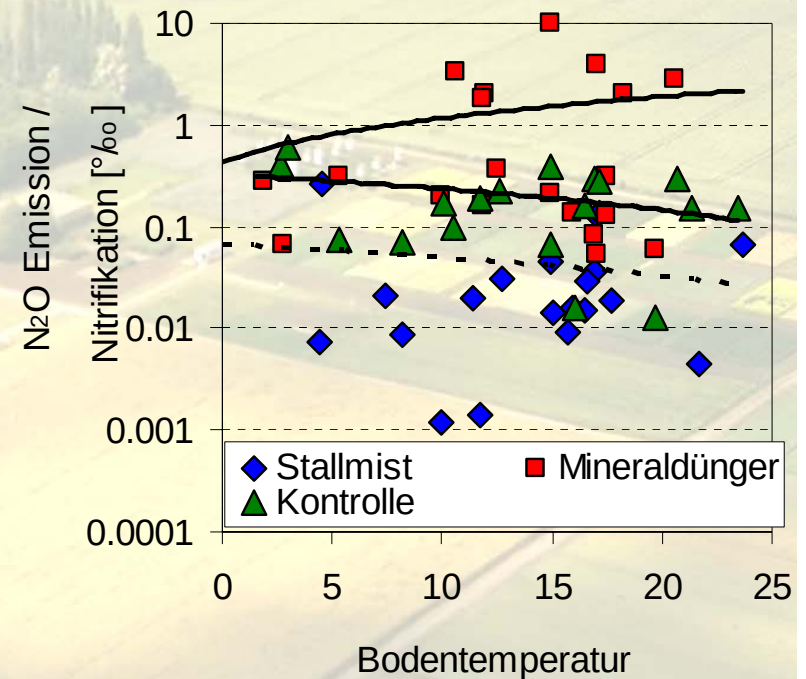
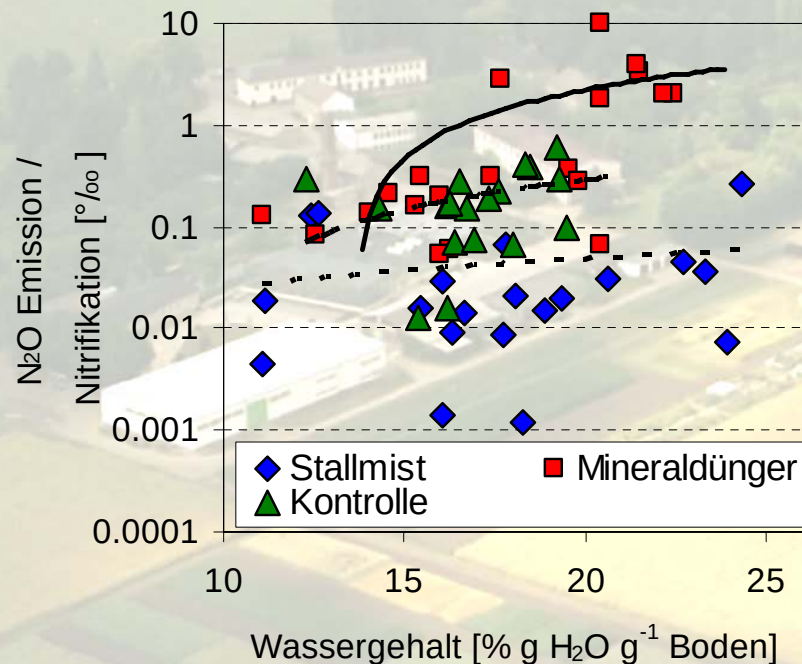
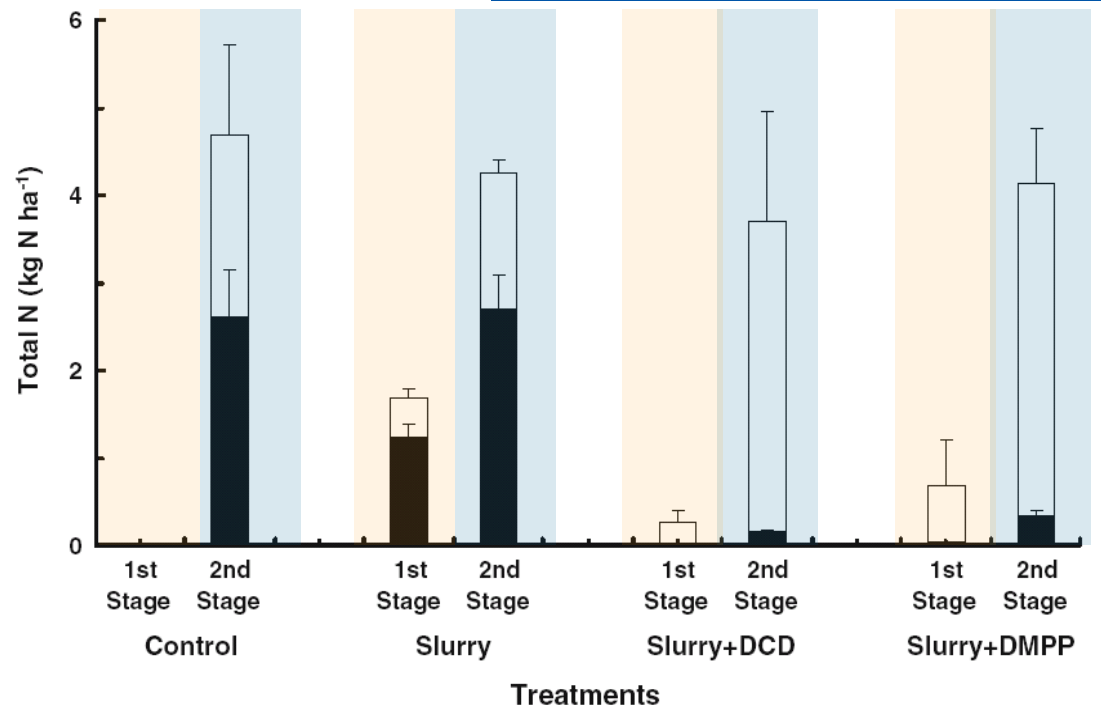
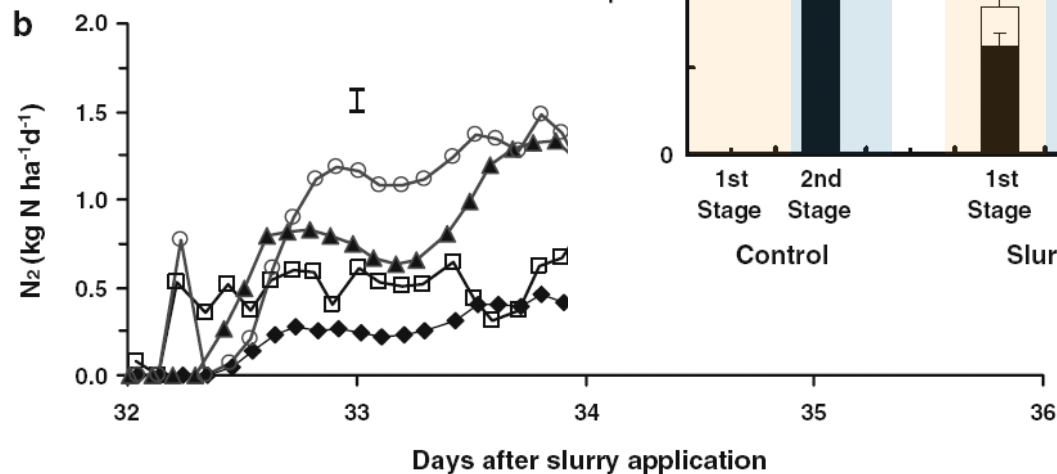
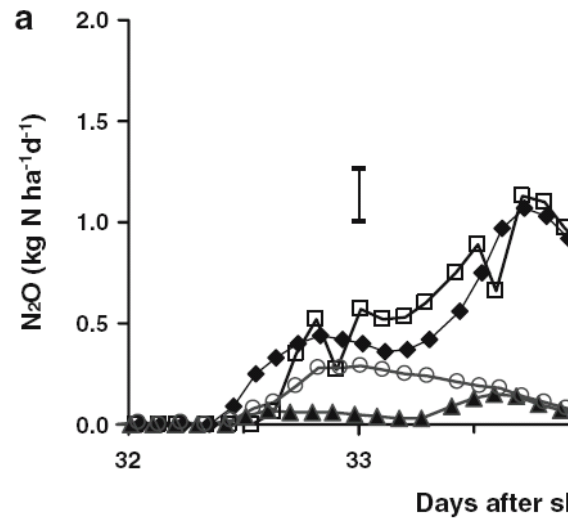


Foto: UFZ



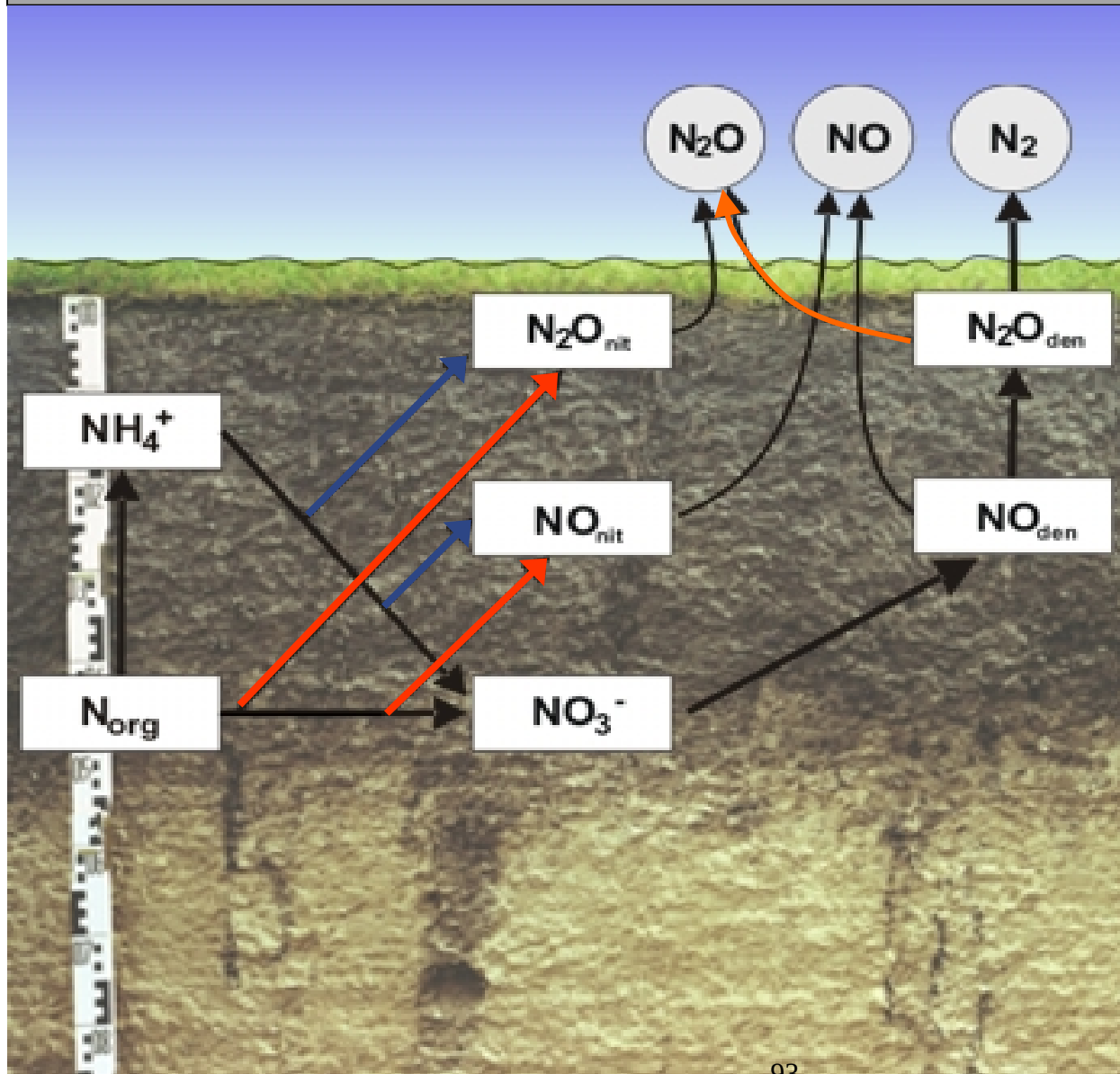
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

Beispiel 2: Einflussfaktoren des $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$ Verhältnisses

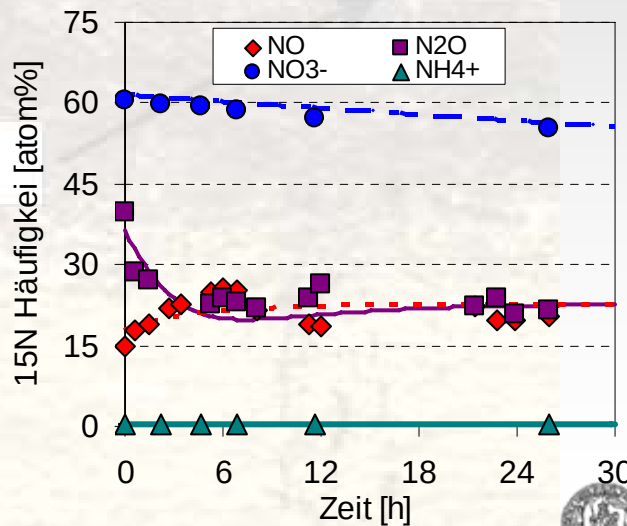
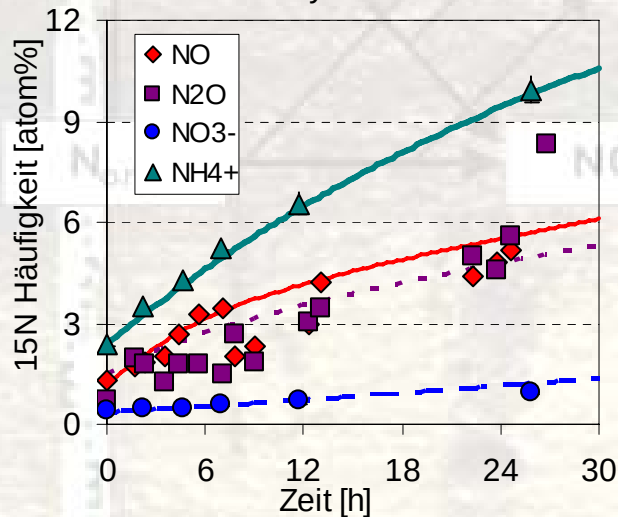
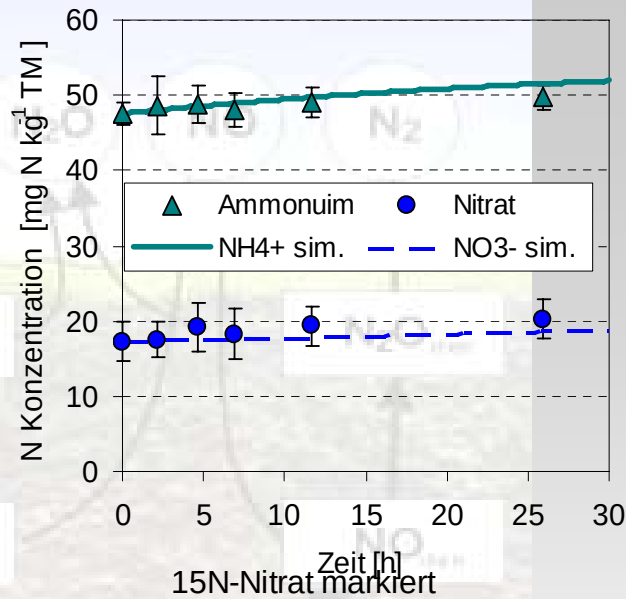
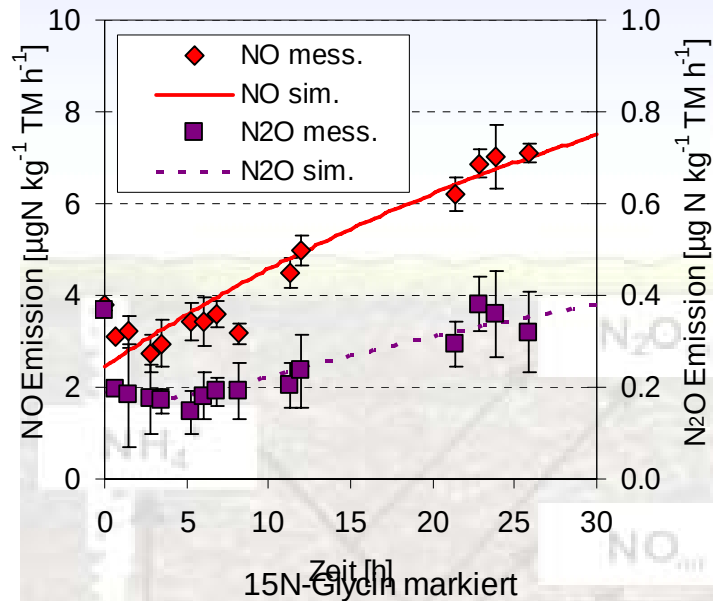


Bio Fertil Soils, 2005: Hatch et al.

Das Modell SimKIM



Modellierung eines Isotopenversuches mit SimKIM

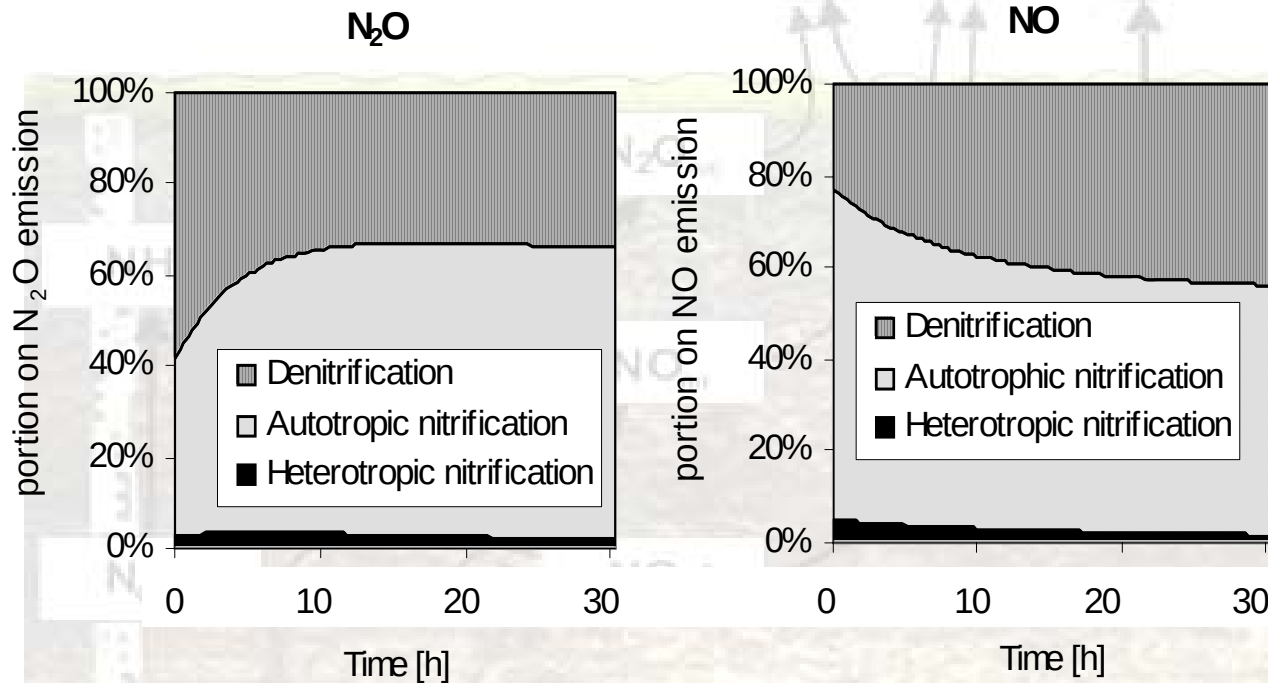


IEHS, 2005:
Stange & Döhling

HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

Anteile der Prozesse am N_2O /NO-Fluss aus dem Boden



IEHS, 2005:
Stange & Döhling

HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ



Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

Ich danke Ihnen für ihre
Aufmerksamkeit



www.sibc.ufz.de



Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg



HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

Bewertung von Bewirtschaftungsstrategien zur CO₂-Bindung in Böden

N. Billen, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim

E. Angenendt, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim

1. Focus und Strategien

Die klimarelevanten Gase CO₂, N₂O und CH₄ haben einen großen Anteil an den anthropogen verursachten Treibhausgasemissionen. Sie stehen auch in einer engen Wechselbeziehung mit dem Boden, so dass der Boden einen Einfluss auf das Klima hat, aber auch das Klima auf den Boden. Eine große Bedeutung hat hierbei die Boden-Humus-Bilanz. Dabei stehen sich Humusaufbau mit der Bildung von Biomasse bzw. organischer Bodensubstanz durch Bindung von CO₂ und Humusabbau mit der Bildung von Wasser, Mineralstoffen, CO₂ und N₂O gegenüber:

- Bei positiver Bilanz kommt es zum Humusaufbau: Böden sind eine C-Senke
- Bei negativer Bilanz kommt es zum Humusabbau: Böden sind eine C-Quelle

Diesen Prozess greifen letztendlich auch die auf das Kyoto Protokoll aufbauenden Marrakesch Richtlinien auf, indem land- und forstwirtschaftliche Maßnahmen bei der Bilanzierung von Treibhausgasen berücksichtigt werden können.

Die Bewertung solcher Maßnahmen kann ökologisch oder ökonomisch auf verschiedenen Maßstabsebenen stattfinden:

Feld → landwirtschaftlicher Betrieb → Region → Land

Im Folgenden werden deshalb drei exemplarische Bewertungsansätze vorgestellt:

1. Ökologische Bewertung auf lokaler Ebene zur Evaluierung der Senkenfunktion repräsentativer Böden, d.h.
 - analytische Evaluierung mit Feldmessungen zur CO₂-Festlegung
 - Ökologische Simulationen zur CO₂-Festlegung mit dem EPIC-Modell (Environmental Policy Integrated Climate)
- Ökologische Bewertung auf regionalisierter Landesebene zur flächenhaften Evaluierung der Senkenfunktion aller Böden unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Punkt 1, d.h.
 - ökologische Simulationen zur CO₂-Festlegung mit dem EPIC-Modell
3. Ökonomisch-Ökologische Bewertung auf regionalisierter Landesebene, d.h.
 - ökonomisch-ökologische Modellierung zur Bilanzierung der landwirtschaftlichen Treibhausgase mit dem EFEM-Modell (Economic Farm Emission Model) unter Berücksichtigung der ökologischen Bewertungsergebnisse von Punkt 2.

Zur Förderung der CO₂-Festlegung stehen im landwirtschaftlichen Bereich eine Vielzahl von Bewirtschaftungsstrategien zur Verfügung:

- Solche mit starkem Eingriff durch Veränderung der Landnutzung, z.B. durch
- Umwandlung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Wald
 - Wiedervernässung drainierter Standorte

- Umwandlung von Acker in Grünland
- Solche mit gemäßigtem Eingriff durch Veränderung der (ackerbaulichen) Produktionsverfahren, z.B. durch
 - Anbau von Energiepflanzen
 - Änderung der Fruchtfolge und des Anbauspektrums
 - Standort- und klimaangepasste Sortenwahl
 - Umstellung auf Beregnungs-/Bewässerungslandbau
 - Reduktion der Bodenbearbeitung (Pflugverzicht)
 - Anpassung von Düngeplan und Düngeverfahren
 - Anpassung des Pflanzenschutzes

Bei den Folgenden Bewertungsbeispielen werden die beiden Maßnahmen „Umwandlung in Grünland“ und „Reduktion der Bodenbearbeitung“ berücksichtigt

2. Exemplarische Bewertungsergebnisse für Südwestdeutschland

2.1 Ökologisch-lokale Ebene

Die mittlere jährliche Humus-C Anreicherung unterschiedlicher Maßnahmen kann als Veränderung gegenüber der konventionellen Pflugbewirtschaftung dargestellt werden. Die Ergebnisse nach 10-20 Jahren Verfahrensumstellung in den Oberböden (0-20 cm) gemäß verschiedener Erhebungsmethoden sind in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei zeigen sich gute Übereinstimmungen der gemessenen Werte (Durchschnitt aus 12 Standorten) und der mit dem EPIC-Modell sowie dem IPCC-Tool simulierten Werte. Die gemessene Anreicherung im oberen Bodenhorizont (0-5 cm) der begrün-ten Flächen ist auch signifikant ($p < 0,05$), die anderen gemessenen Anreicherungen unterliegen allerdings großen Schwankungen. Die Umrechnung der Humus-C Anreicherung in CO₂-Vermeidung und Gegenüberstellung von CO₂-Emissionen eines Pkw's ist in Tabelle 1 dargestellt.

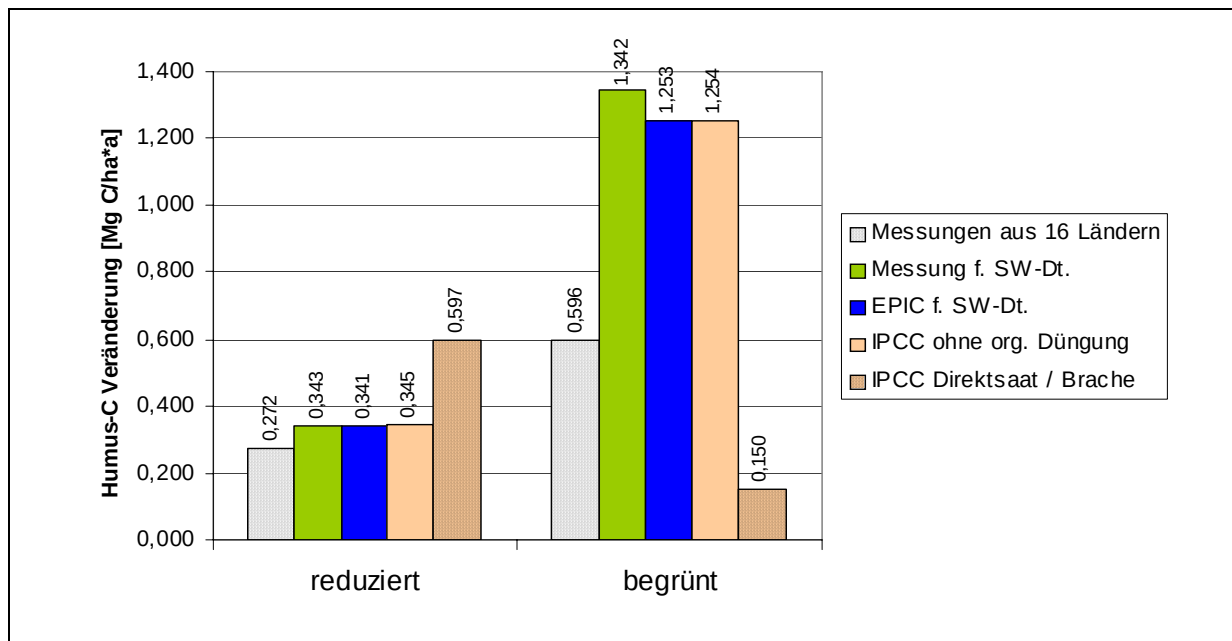


Abbildung 1: Jährliche Humus-C Anreicherung in Oberböden (0-20 cm) nach verschiedenen Erhebungsmethoden (n. Billen et al. 2007)

Tabelle 1: Mittlere CO₂-Vermeidung landwirtschaftlicher Maßnahmen durch Humusanreicherung versus CO₂-Produktion durch Pkw (n. Billen et al. 2007)

Maßnahme	CO ₂ -Vermeidung Mg CO ₂ ha ⁻¹ a ⁻¹	Pkw km bei 160 g CO ₂ km ⁻¹
Reduzierte BB	-1,26	7875
Direktsaat	-3,26	20375
Grünland / Brache	-4,92	30750

Nach Statischem Landesamt Ba.-Wü.:
 Jahresfahrleistung 2004: ca. 13000 km je Pkw
 Pkw-Bestand in BW 2004: ca. 6,2 Mio

2.2 Ökologisch-regionale Ebene

Zur Bewertung auf der ökologisch-regionalen Ebene werden zunächst mit Hilfe von Informationen zu Klimaregionen, Bodengesellschaften und landwirtschaftlichen Nutzflächen aus der SLISYS-Datenbank (Soil and Land Resources Information System) und einem geografischen Informationssystem 12317 Simulationseinheiten erstellt. Innerhalb dieser Simulationseinheiten kann dann die Boden-C Anreicherung aufgrund der landwirtschaftlichen Maßnahmen überregional abgeschätzt werden in Abhängigkeit verschiedener Ordnungskriterien wie z.B. des Bodentyps (s. Abbildung 2) oder der Agrarlandschaften (s. Abbildung 3)

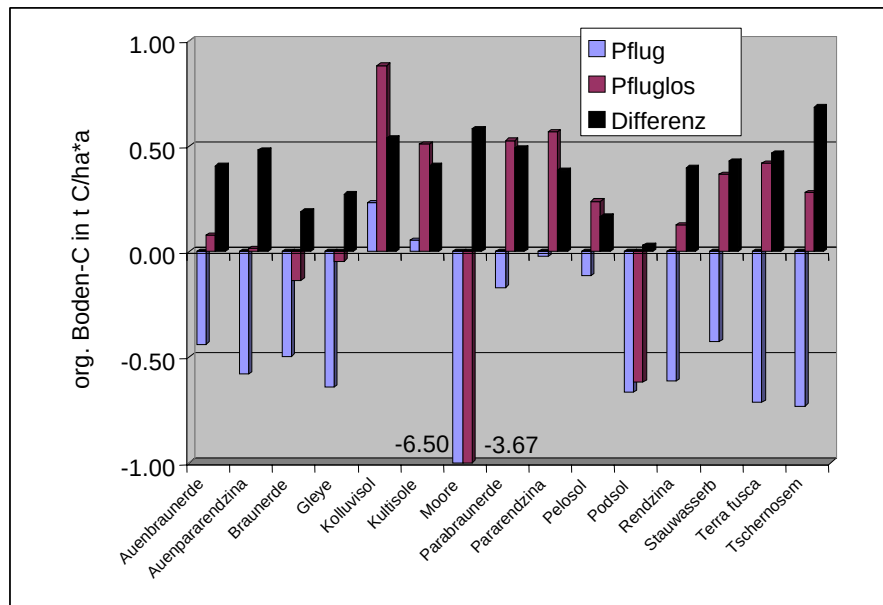


Abbildung 2: Mittlere jährliche Boden-C Veränderung in Abhängigkeit verschiedener Bodentypen in Südwestdeutschlands nach 30-jähriger Simulation (n. Gaiser et al. 2007)

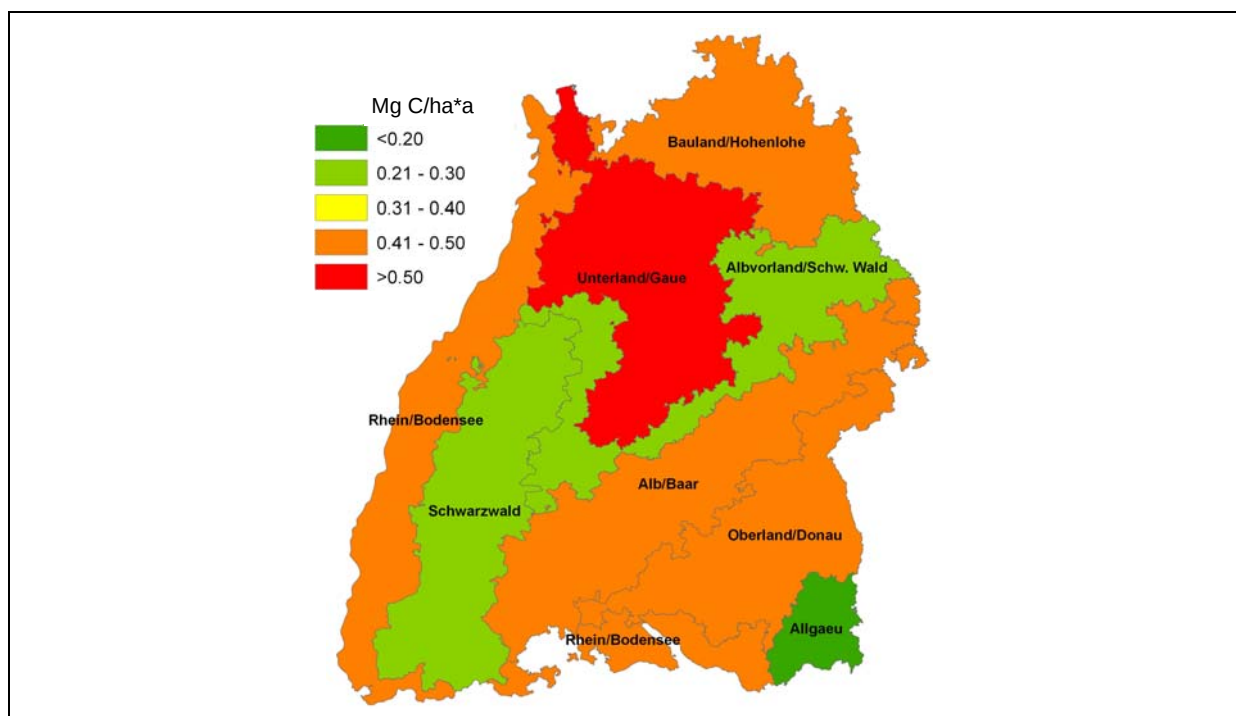


Abbildung 3: Mittlere jährliche Boden-C Veränderung in den Agrarlandschaften SW-Deutschlands durch pfluglose Bodenbearbeitung nach 30 jähriger Simulation (n. Gaiser et al. 2007)

Zusammenfassend stellen sich die ökologisch-regionalen Simulationsergebnisse wie folgt dar:

- Unter dem Landnutzungsmuster des Jahres 2003 könnten in SW-Deutschland die CO₂-Emissionen aus der Ackerfläche durch Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung um 314 tsd. t C pro Jahr reduziert werden
- Auf Böden mit hohem Humusgehalt ist das CO₂-Minderungspotential durch Umstellung der Bodenbearbeitung am höchsten
- Wegen des hohen Anteils an Ernterückständen haben Wintergetreide und Raps das höchste C-Fixierungspotential

2.3 Ökonomisch-regionale Ebene mit ökologischer Gesamtbilanz

Die ökonomisch/ökologische Betrachtung auf regionaler Ebene liefert eine umfassende Abschätzung des CO₂-Senkenpotenzials der Landwirtschaft und erstellt Treibhausgassalden, vergleicht also verursachte und vermiedene Treibhausgasemissionen auf der Basis von CO₂-Äquivalenten unter Berücksichtigung von CO₂, N₂O und CH₄. Die modellierten Szenarien sind die reduzierte Bodenbearbeitung und der Zwischenfruchtanbau mit den Auswirkungen auf die Nettotreibhausgasemissionen, die regionale Einkommensentwicklung und einer Kosten-Nutzenanalyse.

Die Ergebnisse zur Veränderung der Treibhausgasemissionen durch Humus-C Anreicherung im Boden durch unterschiedliche Szenarien sind in Abbildung 4 dargestellt, eine Kosten-Nutzen Gegenüberstellung in Tabelle 2.

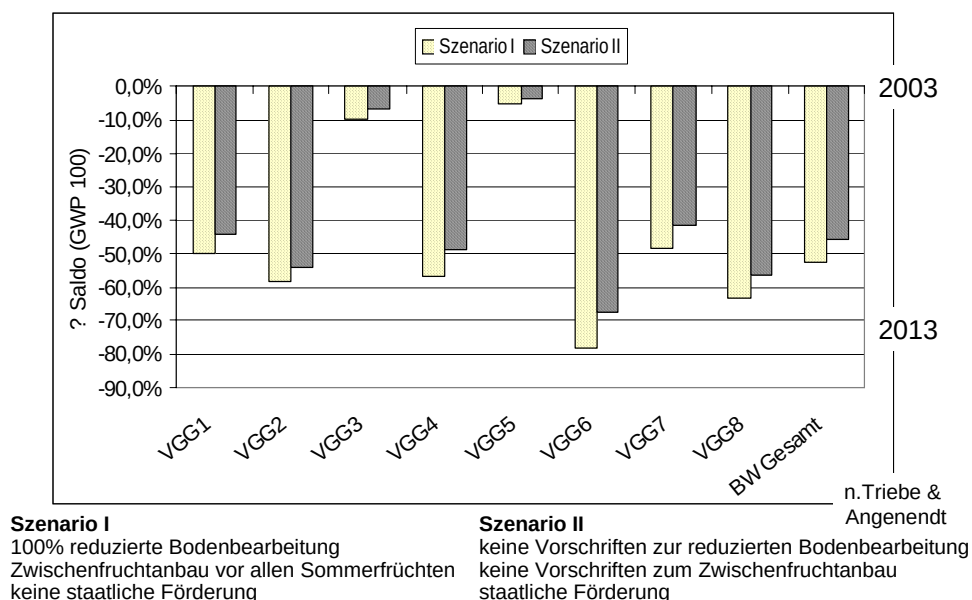


Abbildung 4: Veränderte Treibhausgasemissionen durch Humus-C Anreicherung durch unterschiedliche Umsetzungsszenarien in den Agrarlandschaften SW-Deutschlands (VGG1 = Unterland / Gäue, VGG2 = Rhein / Bodensee, VGG3 = Schwarzwald, VGG4 = Alb / Baar, VGG5 = Allgäu, VGG6 = Oberland / Donau, VGG7 = Albvorland / Schwäbischer Wald, VGG8 = Bauland / Hohenlohe)

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen durch die Humus-C Anreicherung bei unterschiedlichen Umsetzungsszenarien in SW-Deutschland (n. Triebe&Angenendt 2007)

vorgeschriebener Pflugverzicht vorgeschriebene Zwischenfrucht finanzielle Förderung (MEKA)		Szenario I	Szenario II
		ja ja nein	nein nein ja
Ackerfläche	tsd. ha	839	839
davon red. BB	tsd. ha	773	726
davon Zwischenfrüchte	tsd. ha	172	204
Förderung red. Bodenbearb.	EUR/ha	0	60
Förderung Zwischenfrucht	EUR/ha	0	70
Rückgang Emissionen	kg CO₂-Äq./ha	ca. 1190	ca. 950
Änderung des Deckungsbeitrages	EUR/ha	-13	+42
Fördermittel*	EUR/ha	0	-40
Differenz	EUR/ha EUR/t CO ₂ -Äq.	-13 ca. -9	+2 ca. +2

Zusammenfassend stellen sich die ökonomisch/ökologisch-regionalen Modellierungsergebnisse wie folgt dar:

- durch ausnahmslos reduzierte Bodenbearbeitung und consequenten Zwischenfruchtanbau ohne Förderung durch ein Agrarumweltprogramm wie z.B. MEKA in Baden-Württemberg:
 - geringe Einkommensverluste (-1 %),
 - Reduktion der Treibhausgasemissionen um ca. 40 %,
- durch gezielte Förderung der Maßnahmen mit einem Agrarumweltprogramm wie z.B. MEKA in Baden-Württemberg:
 - Einkommenserhöhung (+3 %),
 - Reduktion der Treibhausgasemissionen um ca. 35 %.

3 Fazit

Das Potenzial zur Anreicherung von Humus-C in Böden durch landwirtschaftliche Maßnahmen ist stark abhängig von den Standortfaktoren und unterliegt deshalb großen Schwankungen. Neben dem standortabhängigen Klimaschutz bieten die dargestellten Maßnahmen wie pfluglose Bodenbearbeitung, Anbau von Zwischenfrüchten oder Umwandlung zu Grünland aber weitere Vorteile beim Ressourcenschutz:

- Bodenschutz durch verminderte Erosion,
- Hochwasserschutz durch bessere Wasseraufnahme,
- Grundwasserschutz durch geringere Nitratauswaschung,
- Energieschutz durch geringeren Energieeinsatz,
- Biodiversität durch mehr Bodenleben = mehr Fruchtbarkeit.

Wichtige Nachteile der C-Speicherung in Böden sind allerdings z.B.:

- Die zeitliche Begrenzung der C-Speicherleistung auf 10-50 Jahre,
- Die labile C-Speicherung im Boden, denn jeder Pflugeinsatz zerstört wieder die erreichte Humusakkumulation,
- Die negativen Wechselwirkungen der Maßnahmen, z.B. mit anderen Treibhausgasen wie N₂O.

4 Ausblick

Bei Umsetzung landwirtschaftlicher Maßnahmen zur C-Speicherung in Böden sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Die C-Vermeidung durch Humusanreicherung verlangsamt den Klimawandel und reduziert deshalb den Anpassungsdruck.
- Die C-Speicherung ist keine Dauerlösung sondern lediglich Zeitgewinn, um Klimaschutzziele rascher zu erreichen.
- Die C-Vorräte in den Böden zu schützen ist häufig effektiver als labile C-Speicher aufzubauen.
- Die fortlaufenden C-Verluste durch intensivierte Ackernutzung oder Moorentwässerung müssen gestoppt werden.

Unbewertet sind zur Zeit noch die Folgen einer ausgeweiteten Energiepflanzenproduktion:

- Risiken in anderen Umweltbereichen (z.B. durch verstärkte Bodenerosion oder Nitratauswaschung).
- Schaffung alternativer Einnahmequellen für die Landwirtschaft.
- Veränderung des Berufsfeldes vom Landwirt zum Energiewirt bzw. Rohstofflieferant.

5 Ergebnisquellen

Angenendt, E, N. Billen, T. Gaiser, S. Triebe K. Stahr und J. Zeddies (2007): Bewertung von Strategien zur Vermeidung von CO₂-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Nutzung in Baden-Württemberg. – Endbericht zum BWPlus-Vorhaben BWK 24001, 165 S., verfügbar unter: <http://www.bwplus.fzk.de/berichte/SBer/BWK24001SBer.pdf>

Billen, N. und E. Angenendt (2007): Klimaschutz durch Landnutzung. – Garten und Landschaft, 8/2007, 16-19

Chen, H., S. Marhan, N. Billen, und K. Stahr (2008): Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Württemberg, southwest Germany. – J.Plant Nutr.Soil Sci. (accepted)

Ein Großteil der vorgestellten Erkenntnisse wurde mit Finanzmitteln des Umweltministeriums Baden-Württemberg erarbeitet (Projekträger: BWPLUS, Förderkennzeichen BWK 24001). Wir danken für die Mitarbeit von T. Gaiser, S. Triebe, H. Chen, B. Deller, C. Röder, K. Adam-Schumm, H. Bakara und M. Abdel-Razek sowie der Projektleitung durch die Professoren K. Stahr und J. Zeddies.

Treibhausgasfreisetzung organischer Böden

Dr. Heinrich Höper¹

Einleitung

Organische Böden nehmen zwar nur einen relativ kleinen Flächenanteil ein, speichern jedoch große Mengen an Kohlenstoff. So bedecken niedersächsische Moore zwar nur knapp 10 % der Landesfläche, speichern aber 50 % der Kohlenstoffvorräte der Böden des Landes. Darüber hinaus ist der gespeicherte Kohlenstoff besonders labil. Er ist aufgrund von Wassersättigung über Jahrtausende konserviert worden. Für die Kultivierung dieser Böden, werden die Standorte entwässert und der Kohlenstoff wird der Oxidation ausgesetzt. Die Treibhausgasfreisetzung ist deutlich höher und anhaltender aus organischen Böden als aus mineralischen Böden, so dass den organischen Böden bei der Betrachtung der Auswirkung der Bodennutzung auf die globalen Klimaveränderungen eine besondere Beachtung zukommen muss.

Emissionsfaktoren

Anhand einer Literatursauswertung wurden von Höper (2007) Emissionsfaktoren für genutzte und ungenutzte Hoch- und Niedermoore des gemäßigten Klimaraums ermittelt.

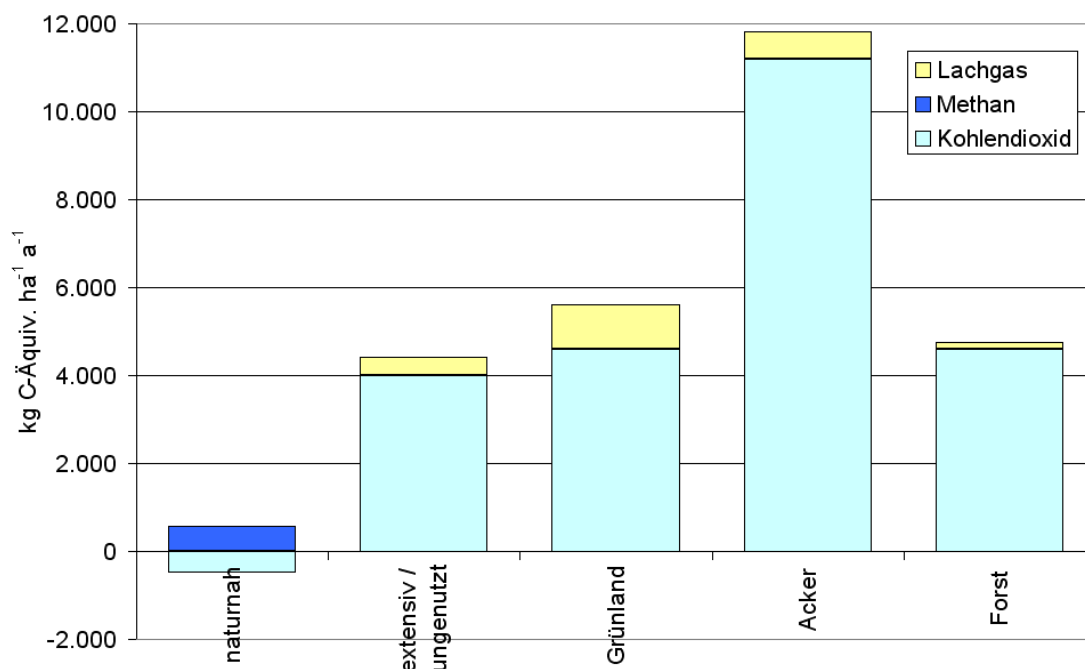


Abbildung 1: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid, Methan und Lachgas als CO₂-C-Äquivalente für unterschiedlich genutzte Niedermoore (Höper, 2007)

Naturnahe Niedermoore weisen etwa eine ausgeglichene Klimabilanz auf (Abbildung 1). Einer geringen CO₂-Aufnahme durch das wachsende Moor steht die Methanfreisetzung entgegen. Bei einer Entwässerung ohne Bodenbearbeitung werden unter Grünland und Forst jährliche Emissionen zwischen 4.000 und 5.500 kg CO₂-C-Äquivalenten pro ha erreicht. Ein Teil der Klimawirksamkeit ist auf die

¹ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Referat L3.4 Boden- und Grundwassermonitoring, Friedrich-Missler-Straße 46-50, 28211 Bremen, E-Mail: heinrich.hoeper@lbeg.niedersachsen.de

Freisetzung von Lachgas (N_2O) aus den eutrophen, vor allem stickstoffreichen, Niedermooren zurückzuführen. Unter Ackernutzung sind die höchsten Emissionen von knapp 12 t $\text{CO}_2\text{-C}$ -Äquivalenten pro ha und Jahr zu erwarten.

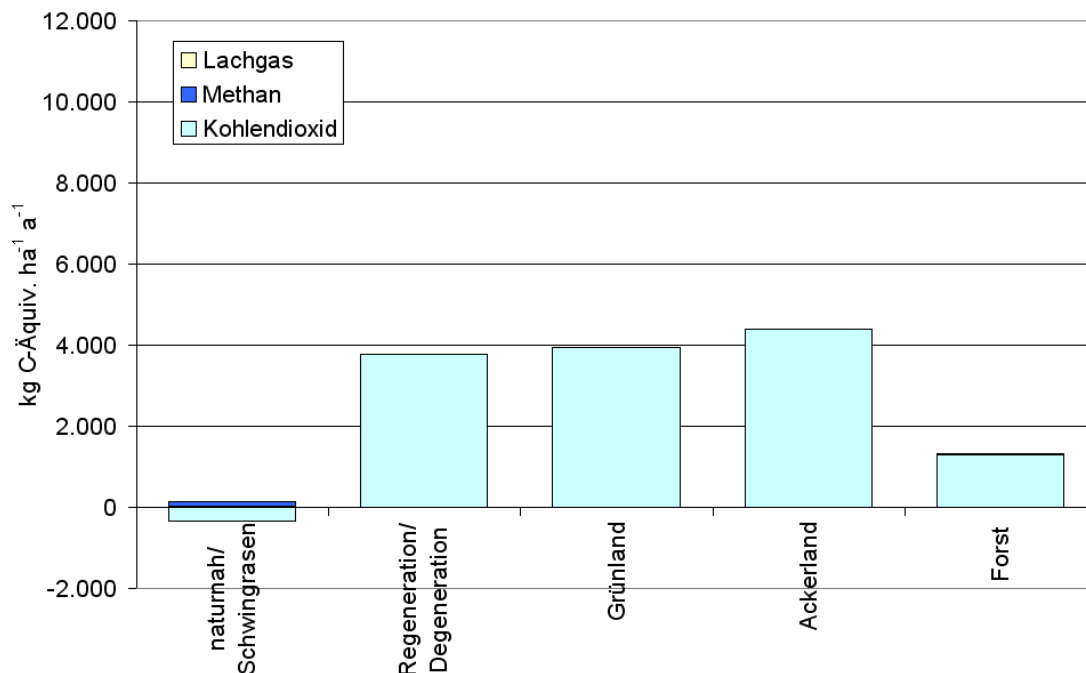


Abbildung 2: Emissionsfaktoren für Kohlendioxid, Methan und Lachgas als $\text{CO}_2\text{-C}$ -Äquivalente für unterschiedlich genutzte Hochmoore (Höper, 2007)

Aus Hochmooren sind aufgrund geringerer Nährstoffgehalte und saurer Bedingungen geringere Emissionen als aus Niedermooren zu beobachten (Abbildung 2). Naturnahe Hochmoore nehmen netto in geringem Umfang klimarelevante Gase auf. Bei Entwässerung treten jährlich Emissionen um 4.000 kg $\text{CO}_2\text{-C}$ -Äquivalenten pro ha auf, die Ackernutzung erhöht diese Emissionen nur unwesentlich, ist andererseits aber auch eine Nutzungsform, die auf Hochmooren nur recht selten vorkommt. Auf bewirtschafteten Forststandorten sind geringere Emissionen zu finden, da es durch die hohe Interzeption, v.a. bei Nadelwald, zu einer starken Austrocknung kommt, die wiederum die Torfmineralisation hemmt. Lachgas wird aus den genutzten Hochmooren aufgrund der generellen Nährstoffarmut der Torfe und der guten Durchlüftung nicht nennenswert freigesetzt.

Anteil der Treibhausgasemissionen aus Mooren an den Gesamtemissionen

Nach Hochrechnungen werden aus den 13.647 km² deutschen Mooren bei der aktuellen Nutzung knapp 8 Millionen t $\text{CO}_2\text{-C}$ -Äquivalente pro Jahr freigesetzt (Höper, 2007; Tabelle 1). Das entspricht 2,8 % der Gesamtemissionen Deutschlands an Treibhausgasen, die vorwiegend bei Verbrennungsprozessen entstehen (Erläuterung siehe Tabelle 1), oder der mittleren Emission von 2,3 Millionen Bundesbürgern. 85% der Emissionen aus deutschen Mooren stammen aus der land- und forstwirtschaftlichen Moornutzung (Höper, 2007)

Tabelle 1: Treibhausgasfreisetzung aus deutschen Mooren (incl. der Torfnutzung bei Hochmooren) nach Moortyp (n. Höper, 2007).

	Treibhausgas-Emissionen		entspricht der Gesamtemission
	1000 t C-Äquiv. a ⁻¹	%	von ... Einwohnern
Hochmoore	1.489	0,5	
Niedermoore	6.304	2,3	
Moore insgesamt	7.793	2,8	2.319.000
Deutschland ¹	277.007	100,0	82.438.000

¹ Gesamtemission der Gase CO₂ (vorwiegend aus stationären und mobilen Verbrennungsprozessen, ohne Landnutzungsänderung und Forst, 86,9 % der Gesamtemission), CH₄ (aus Tierhaltung, Brennstoffverteilung und Deponieentgasung, 5 % der Gesamtemission), N₂O (aus Landwirtschaft, Industrieprozessen und Verkehr, 6,3 % der Gesamtemission) und der fluorierten Kohlenwasserstoffe (1,4 % der Gesamtemission), Basisjahr 2004. Entspricht 3,36 t C-Äquivalente a⁻¹ pro Einwohner

Rate und Dauer der Emission: Moorböden im Vergleich zu Mineralböden

Hydromorphe Böden können nach Entwässerung und Grünlandumbruch vorübergehend hohe Raten der Kohlenstofffreisetzung aufweisen (Abbildung 3). Kohlenstoffverluste von 150 bis 170 t pro ha wurden nach Grünlandumbruch von Sand-Gleyen und Marschböden beobachtet. Bei Lössböden kann es nach Grünlandumbruch ebenfalls zu einer Kohlenstoffentbindung kommen, die allerdings geringer ausfällt als bei den hydromorphen Böden. Nach etwa 10 bis 20 Jahren kommen die C-Verluste auf Mineralböden zum Erliegen, da sich ein neues Humusgleichgewicht eingestellt hat.

Bei nicht hydromorphen Ackerböden hält sich die Möglichkeit der Beeinflussung der Humusgehalte in engen Grenzen. Körschens (1997) hat die Humusgehalte von Böden aus verschiedenen langjährigen Dauerversuchen ausgewertet. Er kommt zu dem Ergebnis, dass zwischen langjährig (> 50 Jahre) intensiv mit Stallmist gedüngten Varianten und langjährig ungedüngten Varianten der C-Gehalt der Böden maximal eine Differenz von 0,66 %-Punkten, im Median von 0,32 %-Punkten aufwies. Daraus lässt sich ableiten, dass eine vollständige Vernachlässigung der Humuswirtschaft eine Abnahme der Bodenkohlenstoffvorräte um maximal 28 t pro ha, bzw. im Median ca. 13 t pro ha, über 10 Jahre verteilt, zur Folge hätte. Die von Höper (2007) ermittelten Kohlenstofffreisetzungsraten für landwirtschaftlich genutzte Moore können dagegen über viele Jahrzehnte anhalten, letztendlich, bis der gesamte Torfkörper mineralisiert worden ist.

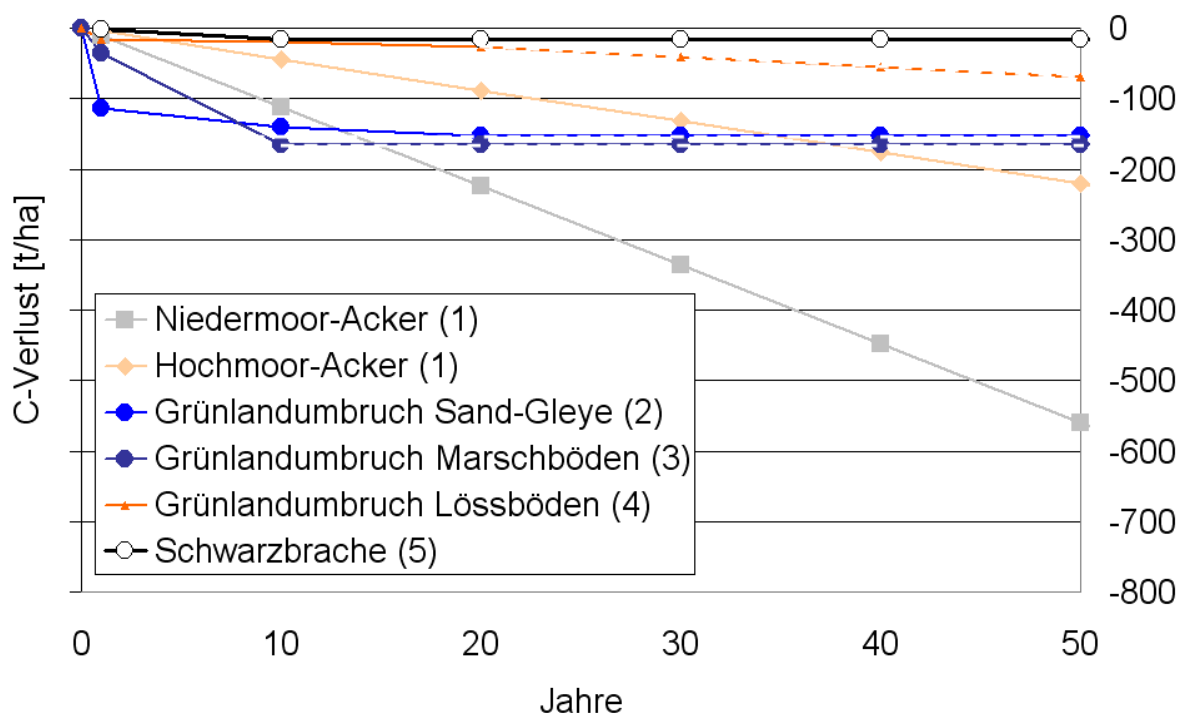


Abbildung 3: Kumulierte Kohlenstoffverluste unterschiedlich genutzter Nieder- und Hochmoore, nach Grünlandumbruch und Entwässerung von Gley-, Marsch- und Lössböden sowie maximaler Kohlenstoff-Verlust bei Umwandlung von Ackernutzung mit Stallmistzufuhr in Schwarzbrache („Schwarzbrache“). (1) Höper (2007); (2) Strebel et al. (1988), (3) Burghardt (1982); (4) Richter et al. (1988). (2)-(4): gestrichelte Linie als Extrapolation der beobachteten Werte vom Autor eingefügt, (5) maximale Differenz zwischen Stallmist- und Nullvariante in Dauerfeldversuchen 0,66 %-Punkte; Körschens (1997).

Es ergibt sich die in Tabelle 2 zusammengefasste Klassifizierung der Kombinationen aus Boden und Nutzung im Hinblick auf die potenziellen Kohlenstoffverluste.

Tabelle 2: Klassifizierung der Risiken für den Verlust an organischer Substanz in Abhängigkeit des Bodens und der aktuellen Nutzung

Boden	Nutz- ung ¹	Potenzielle Gefährdung	Verlust- rate t C ha ⁻¹ a ⁻¹	Dauer Jahre	pot. C- Verlust t ha ⁻¹	Stufe
Mineralböden	A	Vernachlässi- gung der Hu- muswirtschaft	< 1	< 10	- 13 (-28)	1
nicht hydromorphe Mineralböden	G	Umbruch	1 - 3	< 10	13 - 30	2
hydromorphe Mineralböden ²	G	Entwässerung, Umbruch	5 - 7	< 20	100-170	3
Hochmoor	A, G	anhaltende Torf- mineralisation	3 – 7	30-100	400-500	4
Niedermoor	G					
Niedermoor	A	anhaltende Torf- mineralisation	8 - 15	30-100	>700	5

¹ A = Acker, G = Grünland; ² im Wesentlichen Auenböden, Marschen und Gleye,

Handlungsbedarf

Vor allem im Hinblick auf eine Moor schonenden Bewirtschaftung gibt es Handlungsbedarf. Die Ackernutzung von Mooren sollte weitgehend unterbleiben. Geprüft werden sollte, ob durch einen Verzicht auf Bodenbearbeitung, z.B. bei Direktsaat, eine deutliche Reduzierung der Torfmineralisation erreicht werden kann. Wichtig ist auch, die Wasserständen in Mooren so hoch wie möglich zu halten. Mit Niederdruck-Breitreifen wäre eine Befahrung bei höheren Wasserständen möglich. Eine Reduzierung der Torfmineralisation könnte eine längere Nutzung der Moorstandorte gewährleisten. Dies gilt vor allem dann, wenn aufgrund der Vorflutbedingungen eine spätere Vertiefung der Vorflut und eine weitere Entwässerung der Moore nicht mehr möglich sind. Des Weiteren geht es darum, alternative Nutzungsverfahren für Hoch- und Niedermoor zu entwickeln und zu fördern. Bei diesen Verfahren sollte der Torfkörper auf Dauer zumindest konserviert werden. Geeignete Verfahren wären der Anbau nachwachsender Rohstoffe wie Torfmoose, Schilf und Erlen.

Schlussfolgerungen

Im Hinblick auf die Freisetzung von Treibhausgasen müssen die organischen Böden als „hot spots“ in der Landschaft angesehen werden. Auch bei der Entwässerung und ackerbaulichen Nutzung hydromorpher Böden wie Gleyen, Marschen und Auenböden werden zeitweise erhebliche Mengen an Treibhausgasen, v.a. an Kohlendioxid, emittiert. Die Geschwindigkeit der Kohlenstofffreisetzung nach Entwässerung ist in der Regel um Größenordnungen höher als die der Kohlenstofffestlegung in ungestörten bzw. nicht entwässerten Böden. So akkumuliert ein wachsendes Moor pro Jahr weniger als 1 mm Torf, verliert aber nach Entwässerung etwa 10 bis 20 mm durch Torfoxidation. Ähnlich verhält es sich mit den Kohlenstoffvorräten in hydromorphen Böden. Dem Erhalt bestehender Kohlenstoffvorräte in organischen und hydromorphen Böden ist aus Sicht des Klima- und Bodenschutzes besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Literatur

- Burghardt, W. (1982). Entwicklung der Rohdichte, C- und N-Gehalte von Bodenaggregaten einer Knickbrackmarsch nach Grünlandumbruch. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 34, 199-204.
- Höper, H. (2007). Freisetzung klimarelevanter Gase aus deutschen Mooren. Telma 37, 85-116.
- Körschens, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. Arch. Acker- Pfl. Boden. 41, 435-463.
- Richter, G.M., Hoffmann, A. und Richter, J. (1988). N-Mineralisation nach Krumenvertiefung und Grünlandumbruch in lehmigen Ackerböden. VDLUFA-Schriftenreihe 28, 43-52.
- Strebel, O., Böttcher, J., Eberle, M. und Aldag, R. (1988). Quantitative und qualitative Veränderungen im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151, 341-347.

Wirkungen eines verstärkten Biomasseanbaus und damit verbundene Landnutzungsänderungen auf Böden

Keya Choudhury

Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V.

Nach den veränderten Rahmenbedingungen durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)¹, das Biokraftstoffquotengesetz² und die Biokraftstoffstrategie der Bundesregierung sowie vor dem Hintergrund der energiepolitischen Ziele des Biomasseaktionsplans von März 2007 auf europäischer Ebene, wird ein enormer Ausbau der Biomasseproduktion in Deutschland mit dem Ziel einer klimafreundlichen Energieerzeugung und -nutzung erwartet.

Der Verwendung von Biomasse als erneuerbarem Energieträger wird vielfach ausgeglichene CO₂-Bilanz zugeschrieben, da bei der energetischen Nutzung nur die Menge an organischem Kohlenstoff freigesetzt wird, die zuvor aus der Atmosphäre gebunden wurde. Doch selbst bei positiver Klimabilanz kann die Energiebilanz oder eine ganzheitliche Umweltbilanz negativ ausfallen. Da für diese Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegen wirken sollen, bisher keine Standards zum Schutz der Umwelt einschließlich der Ressource Boden verbindlich definiert wurden, können unter Umständen nachteilige Umweltauswirkungen auftreten. So ist die Erzeugung von Energiepflanzen, die mit hohem Energieaufwand einher geht oder zu Lasten der Bodenfunktionen geschieht, einer näheren Prüfung hinsichtlich einer gesamtökologischen Wirkung zu unterziehen (BESTE, 2007).

Auf die Notwendigkeit und die Optionen einer nachhaltigen Ausgestaltung des Biomasseausbaus in Deutschland zum Schutz der Bodenfunktionen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

Im Kontext dieser Studie bezeichnet Biomasse die Gesamtheit flüssiger und fester organischer Stoffe und deren Umwandlungsprodukte, die als Energieträger für die Gewinnung von Strom, Wärme oder Kraftstoff genutzt werden können (vgl. § 2 Abs. 1 EEG). Als erneuerbarer Energieträger können Rohstoffe aus der land- oder forstwirtschaftlichen Produktion (Anbaubiomasse) oder Abfallstoffe (Abfallbiomasse) dienen.

1 Entwicklung des Biomasseanbaus in Deutschland

Um den Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch zu erhöhen, wurden in Deutschland entsprechende finanzielle Anreize geschaffen.

Diese umfassen zum einen flächenbezogene Maßnahmen (Energiepflanzenprämie von 45 EUR/ha), zum anderen den so genannten NaWaRo-Bonus im Rahmen des EEG. Diese Subventionen haben zu einem bedeutenden Anstieg der Anbaufläche für nachwachsende

¹ Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 40 ausgegeben zu Bonn am 31. Juli 2004.

² Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundesimmissionsschutzgesetzes und Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG) vom 18. Dezember 2006. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil I Nr. 62, ausgegeben zu Bonn am 21. Dezember 2006.

Rohstoffe in Deutschland geführt (SCHOLWIN et al., 2007). Diese ist seit 1993 von 290.000 ha um mehr als das Vierfache gestiegen (Abbildung 1). Im Jahr 2006 wurden 1.561.000 Hektar nachwachsende Rohstoffe angebaut. Davon wurden 805.000 Hektar auf Basisflächen bestellt, 360 000 Hektar wurden mit Energiepflanzenprämie (45 €/ha) angebaut. Der Anbau im Rahmen der Flächenstilllegung betrug 396 000 Hektar (Hartmann 2007). Auf vier Prozent der Ackerfläche in Deutschland wurde 2006 Biomasse zur Stromerzeugung angebaut. Dabei überwiegen konventionelle landwirtschaftliche Kulturen und Anbausysteme (z.B. Mais) während innovative Anbausysteme (z.B. Mischkulturen) bisher nicht in nennenswertem Umfang zur Anwendung kamen (SCHOLWIN et al., 2007).

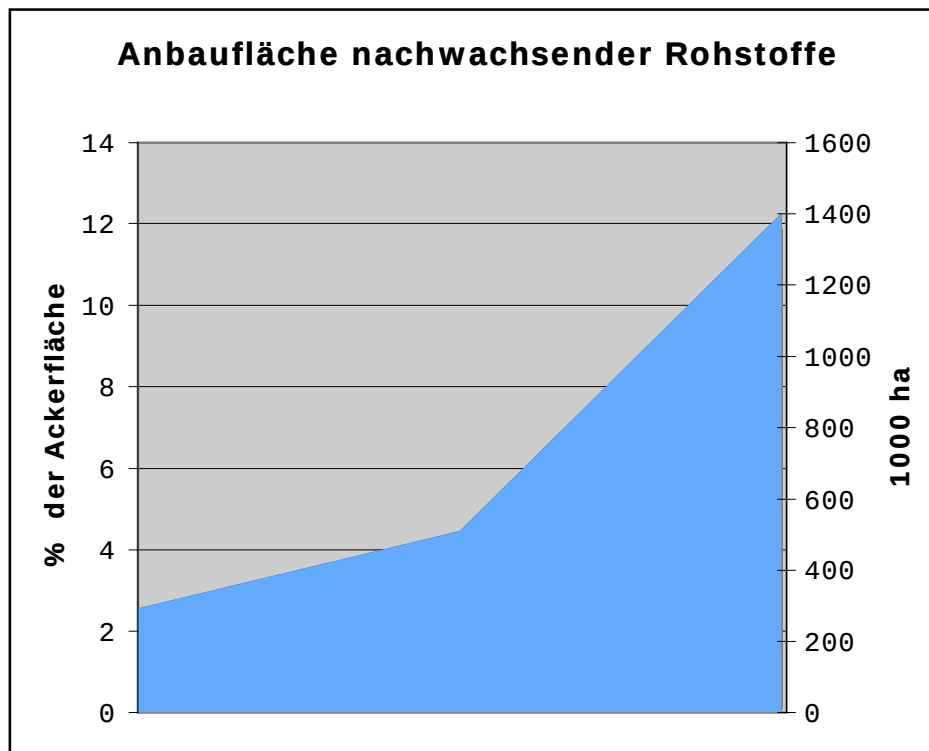


Abbildung 1: Entwicklung der Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.

Welche externen Faktoren bestimmen die Auswahl der Energiepflanzen?

Hinsichtlich der Wahl der Kulturen für den Biomasseanbau und der Ausgestaltung der Anbauverfahren gibt es derzeit keine einheitlichen Entscheidungshilfen für den Biomasseanbau in Deutschland (LÜBBEKE et al., 2005).

Die Wahl der Kulturpflanzen wird im Wesentlichen von der späteren Nutzung und Form des Energieträgers bestimmt. Während zur Produktion von Biodiesel beispielsweise nur Ölsaaten herangezogen werden können, bietet sich zur Gewinnung von Biogas eine breite Palette an Kulturpflanzen an (u.a. Zweiffruchtkultur).

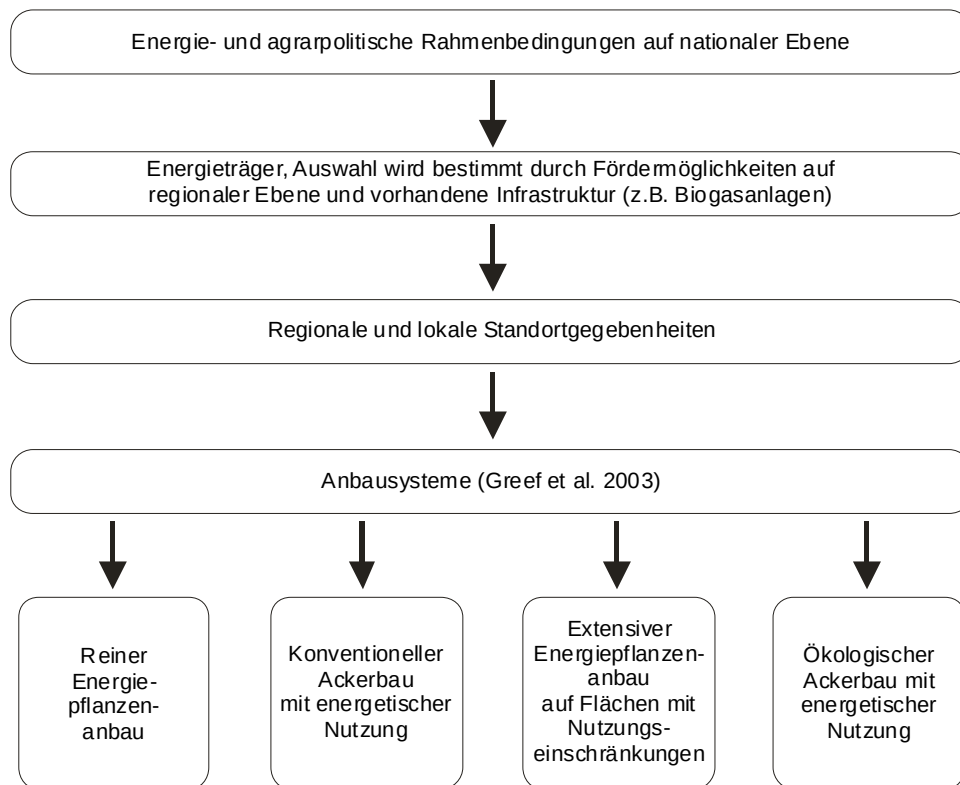


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Energieträgern, Rahmenbedingungen und Anbausystemen.

2 Trends, Auswirkungen und Lösungen

Welche Energiepflanzen werden gegenwärtig großflächig angebaut, wo liegen die Trends für die Zukunft und was bedeutet das für die Ressource Boden? Diesen Fragen wird in der vom UBA beauftragten Studie „Anpassungsstrategien bei Bodennutzungssystemen an den Klimawandel“ (FKZ: 206 71 202) detailliert für die Energiepflanzen Mais, Raps, Zuckerrüben, Getreide, Kartoffel und Miscanthus nachgegangen. Am Beispiel der Energiepflanze Mais werden die Trends im Hinblick auf die Landnutzung, die zu erwartenden Auswirkungen auf den Boden sowie die Lösungsansätze zum nachhaltigen und bodenschützenden Anbau von Mais in den folgenden Abschnitten skizziert.

Die derzeit im Einsatz landwirtschaftlichen Kulturen, die als Energieträger dienen, werden hinsichtlich ihrer Verwendung unterschieden in Festbrennstoffe, Biogas und Biokraftstoffe. Mais kommt derzeit in erster Linie als Energieträger für die Gewinnung von Biogas zum Einsatz, eignet sich aber grundsätzlich auch als Festbrennstoff oder zur Gewinnung von Bioethanol.

2.1 Trend im Maisanbau

Im Jahr 2006 betrug die Anbaufläche für Mais, der als Bioenergieträger angebaut wurde, 162.072 ha. Dies entspricht 9.3% der gesamten Maisanbaufläche in Deutschland. Durch die günstigen gesetzlichen Rahmenbedingungen ist damit zu rechnen, dass der großflächige Anbau von Mais weiterhin steigt. Für 2007 wird eine Anbauausweitung von ca. 27% prognostiziert. Dies entspricht ca. 43.000 ha (DMK, 2007). Beim konventionellen Anbau reiner Monokulturen besteht daher besonderer Druck auf den Boden und seine Funktionen. Nach positiver Einschätzung wird diese Entwicklung jedoch eher eine vorübergehende Erscheinung sein, bis die Produzenten von Biomasse die Potenziale alternativer Kulturen und Anbauver-

fahren erschlossen haben (FACHVERBAND BIOGAS, 2006). Mais steht aktuell als Energiepflanze im Vordergrund, da in Deutschland umfangreiche Anbauerfahrungen vorliegen und diese Kultur dem Landwirt eine gewisse Planungssicherheit bietet. Aus Sicht des Biomasseproduzenten ist der Biomasseertrag je Hektar von entscheidender Bedeutung (LÜBBEKE et al., 2005).

2.2 Auswirkungen des Anbaus von Energiemais auf den Boden

Derzeit werden ca. 80 Prozent der Nawaro-Flächen mit Mais bestellt, der Ertrag fließt in die Biogasproduktion (GRASS, 2007). Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, wurden für den Anbau von Nawaro-Mais zunehmend Stilllegungsflächen umgewandelt. Nachdem die Kommission Ende 2007 die Stilllegung vorübergehend ausgesetzt hat, bleibt die weitere Entwicklung hinsichtlich der Inkulturnahme von Stilllegungsflächen, z.B. für den Anbau von Getreide abzuwarten.

Tabelle 1: Anbaufläche von Energiemais in Deutschland (zusammengestellt nach DMK, 2007)

Jahr	2005	2006
Anbau von Mais auf Stilllegungsflächen/ha		
Silomais	21.405	33.588
CCM/LKS	1.731	1.968
Körnermais	1.668	3.357
Anbau von Mais auf Nicht-Stilllegungsflächen/ha		
Silomais	45.603	105.622
CCM/LKS	1.182	3.175
Körnermais	339	1.943
Gesamt	71.928	149.653

Neben der Ausweitung der Anbaufläche für Energiemais stellen, ungeachtet seiner späterer Verwendung, die Erosion, die Gefahr von Grundwasserbelastungen durch Nähr- und Schadstoffeinträge sowie die Minderung der Artenvielfalt durch großflächige Monokulturen dar.

Bodenerosion stellt im Maisanbau eine Gefahr für den Boden dar, da er zum einen in weiten Reihen angebaut wird und zum anderen im jungen Stadium nur langsam wächst, so dass die Bodenoberfläche lange Zeit unbedeckt bleibt (KALTSCHMITT & HARTMANN, 2001). Insbesondere auf Flächen in Hanglagen kommt es bei konventionellem Anbau zu verstärkter Wassererosion sowie Auswaschung bzw. Abschwemmung von Nährstoffen.

Mais benötigt hohe Stickstoffdüngergaben (ca. 160-200 kg Stickstoff/ ha a). Andererseits verfügen insbesondere junge Maispflanzen über ein ungünstiges Stickstoffaneignungsvermögen, wodurch mit erhöhten Stickstoffverlusten zu rechnen ist (KALTSCHMITT & HARTMANN, 2001).

Angesichts der Zunahme der Anbaufläche von Energiemais von 70.000 ha in 2005 auf knapp 150.000 ha in 2006 (Tabelle 1) wird ein bedeutender Rückgang der Artenvielfalt, insbesondere ein Absterben der Kleinlebewesen in Boden und Gewässern befürchtet (DVL & NABU, 2006).

2.3 Lösungsansätze zum nachhaltigen und bodenschützenden Anbau von Mais

Bei nachhaltigen und bodenschützenden Konzepten von Biomasse zur Produktion von Biogas steht der Anbau einzelner Pflanzenarten oder Sorten nicht im Vordergrund. Voraussetzung für eine hohe Produktivität bei gleichzeitiger Ertragsstabilität stellt vielmehr eine Standort angepasste Fruchtfolge mit mehreren Pflanzenarten und Sorten dar. Dadurch lassen sich zum einen negative ökologische Folgen, wie z.B. die Verödung der Landschaft durch Monokulturen, vermeiden, zum anderen können ökonomische Risiken für den Landwirt, die durch jährliche Ertragsschwankungen infolge von Witterungseinflüssen und Krankheiten auftreten, gemindert werden (SCHEFFER, 2003).

Ein häufig praktiziertes Fruchtfolgesystem mit Mais für die Energiepflanzennutzung setzt sich wie folgt zusammen (LFL, 2006):

- Fruchtfolgeglied: Winterraps, Winterroggen, Wintergerste als Ganzpflanzensilage, Welsches Weidelgras
- Fruchtfolgeglied: Mais (spätreif, massebetont)
- Fruchtfolgeglied: Winterweizen als Ganzpflanzensilage.

Da für die Verwertung nachwachsender Rohstoffe in der Biogasanlage nicht die ausgereifte Pflanze geerntet wird, bietet sich das Zweikulturen-Nutzungssystem³ als vielversprechende Alternative an, um hohe Erträge an silierfähigen Ganzpflanzen zu erzielen. Dabei müssen die standortabhängigen klimatischen Verhältnisse bei der Entscheidung berücksichtigt werden, ob die Zweitkultur eine Zwischen- oder auch eine Hauptkultur ist. Beide Varianten eines Zweikultur-Nutzungskonzepts gelten als produktiv für die Biogasproduktion (SCHEFFER, 2003).

Der Einfluss der Vorfrucht auf den Maisertrag ist standortspezifisch sehr unterschiedlich, wobei neben dem Erntetermin auch die zur Verfügung stehende Wassermenge eine Rolle spielen kann (EDER, 2004). Es sollte daher auch unter ungünstigeren Witterungsbedingungen ein dem Standort entsprechender stabiler Gesamtertrag zustande kommen. Für die Wahl geeigneter Fruchtfolgen stehen eine Vielfalt an Pflanzenarten als Erst- bzw. Zweitkultur zur Verfügung (SCHEFFER, 2003).

Tabelle 2: Übersicht geeigneter Energiepflanzenarten zum Anbau als Erst- bzw. Zweitkultur (SCHEFFER, 2003)

Erstkulturen	Zweikulturen
Weizen	Mais
Roggen	Sonnenblumen
Triticale	Zuckerhirse
Winterhafer	Sudangras
Raps	Hanf
Rübsen	Senf
Weidelgras u.a.	Phacelia
Wintererbsen	Ölrettich
Inkarnatklees	Wicken
Winterwicken	Erbsen

In Anbauversuchen wurde bestätigt, dass Mischungen aus mehreren Pflanzenarten oder verschiedenen Sorten u.U. zu höheren Biomasseerträgen führen als bei Reinsaaten (KARPEN-

³ Das Zweikulturen-Nutzungssystem besteht im kombinierten Anbau von einer Winter- und einer Sommerkultur im Laufe eines Jahres und der Ernte vor der Vollreife (SCHEFFER, 2003).

STEIN-MACHAN, 2005). Beispielsweise führte der Ertrag aus dem Misanbau der Energiepflanze Mais in Kombination mit Sonnenblumen zu einem höheren Gasertrag als eine reine Monovergärung.

Um der Bodenerosion entgegen zu wirken, bietet sich beispielsweise der Zwischenfruchtanbau mit nachfolgender Mulchsaat an (LFL, 2004).

In stark erosionsgefährdeten Hanglagen, sollte Mulchsaat ohne Saatbettbereitung (Direkt-
saat) zum Einsatz kommen. Positive Ergebnisse können auch durch die Aussaat quer zum Hang erzielt werden.

Der Zwischenfruchtanbau ist ein geeignetes Anbauverfahren, um Stickstoffverluste entgegenzuwirken. BÖHM et al. (1999) konnten nachweisen, dass die Nitratkonzentrationen der Sickerwässer beim Anbau mit Zwischenfrucht niedriger liegen als beim Anbau ohne Zwischenfrucht.

In Versuchen hat sich ebenfalls der Einsatz von Erosionsschutzstreifen (Grasstreifen oder Getreidestreifen), hinsichtlich der Erosionsverminderung bewährt.

Grundsätzlich sollte darüber nachgedacht werden, Mais als Hauptquelle für Biomasse durch andere geeignete Kulturarten abzulösen. In einem Verbundprojekt des BMELV, der FNR und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wird derzeit nach alternativen Lösungen zur Maisproduktion gesucht, die ebenfalls für die Biogasproduktion geeignet sind. Die Versuchsergebnisse gleicher Fruchtfolgen an fünf verschiedenen Standorten liefern nach dem ersten Jahr noch keine gesicherten Ergebnisse, weisen jedoch standortabhängige Entwicklungen auf. Deutlich wird bereits, dass Mais an einigen Standorten durchaus durch andere konkurrenzfähige Kulturarten ersetzt werden kann (GÖDEKE et al., 2006).

3 Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Bodenfunktionen

Die Bodenfunktionen (AD-HOC-AG BODEN, 2003) können durch den Anbau von Energiepflanzen erheblich beeinträchtigt werden.

Nach Schätzungen des Instituts für Energetik und Umwelt (IE, 2007) liegen die möglichen Klimagas-minderungen in Verbindung mit der landwirtschaftlichen Produktion von Energiepflanzen bei fast 15 Mio. t im Jahr 2010. Die genaue Höhe der Klimagas-minderungen wird sowohl durch die Art des Biomasse-Ausgangsproduktes als auch durch den Nutzungspfad, z.B. ausschließliche Wärmeproduktion oder Strom- und Wärmeproduktion (KWK) beeinflusst (IE, 2007). Derzeit werden ca. 3,1 Prozent des Primärenergieverbrauchs in Deutschland aus Biomasse gedeckt, mittelfristig werden hohe Zuwachsraten erwartet.

Der Ausbau von Biomasse bedingt einen Anstieg der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe (DLG UND WWF, 2005). Dies birgt gleichermaßen Chancen und Risiken für die Ressourcen Boden, Grundwasser und Biodiversität. Um eine nachhaltige Produktion von Biomasse aus bodenschutzfachlicher Sicht zu gewährleisten, sind die Bodenfunktionen zu schützen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Tabelle 3: Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch den Anbau von Energiepflanzen

Bodenfunktion	Funktionsbeeinträchtigung durch den Anbau von Energiepflanzen	Schädliche Bodenveränderungen durch den Anbau von Energiepflanzen
1 Lebensraumfunktion		
1.1 Lebensgrundlage für Menschen	Ständige Aberntung und vollständige Abfuhr organischen Materials	Humusverlust
1.2 Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen und Bodenorganismen (Naturnähe)	Änderung der Landnutzung	Verdichtungsgefahr Veränderung der Lebensräume, Verlust der Naturnähe
1.3a Standortpotenzial für Pflanzengesellschaften	Eingangsparameter zur Bemessung der Bodenfunktion nicht anthropogen bedingt, daher keine Beeinträchtigung der Bodenfunktion	
1.3b Natürliche Bodenfruchtbarkeit	Geringe Bodenbedeckung beim Anbau bestimmter Kulturarten	Verlust der natürlichen Bodenfruchtbarkeit
1.4 Lebensraum für Bodenorganismen	Änderung der Landnutzung	Verlust der Biodiversität im Boden
2 Bestandteil des Naturhaushalts	Änderung der Landnutzung bzw. des Vegetationstyps	Veränderung des Abflussregulationspotentials und der Sickerwasserrate
3 Abbau-, Ausgleichs-, und Aufbaumedium	Humusschädigende Bewirtschaftungsmethoden	Humusverlust, vermindertes Säurepufferungsvermögen, Schadstoffmobilisierung
4 Archiv der Natur- und Kulturgeschichte	Nicht standortangepasster Anbau	Verdichtung
5 Rohstofflagerstätte	Nicht relevant	
6 Nichtstoffliche Gefährdungen von Bodenfunktionen	Nicht standortangepasster Anbau	Humusverlust (beeinflusst K-Faktor), Bodenerosion durch Wind und Wasser, Bodenschadverdichtung

4 Anbaubezogene Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfunktionen

Durch geeignete anbaubezogene Maßnahmen können die Bodenfunktionen beim Anbau von Energiepflanzen erhalten werden. Diese umfassen:

- Standortangepasste Anbausysteme
- Anwendung erprobter Bewirtschaftungspraktiken
- Anbau mehrjähriger Kulturen
- Anbau nach guter fachlicher Praxis
- Förderung des Kulturarten- und Sortenspektrums

Damit durch den Anbau von Energiepflanzen möglichst geringe Umweltbelastungen auftreten, ist es erforderlich, für unterschiedliche Klimaregionen und Standorte angepasste und nachhaltige Anbaukonzepte zu entwickeln. Hierfür sollten regionale Forschungs- und Beratungseinrichtungen ihre Erfahrungen und Forschungsergebnisse bündeln und für die Praxis zugänglich machen.

Im Rahmen der landwirtschaftlichen Erzeugung von Nahrungs- und Futterpflanzen wurden bereits umfangreiche bodenschützende Bewirtschaftungsformen entwickelt und weiterhin diskutiert und erprobt. Folgende Maßnahmen mindern das Risiko von Bodenerosion, Schadverdichtung und Humusverlust:

- Zwischenfruchtanbau und Erosionsschutz^{4, 5, 6}
- Konservierende Bodenbearbeitung⁷
- Fruchtfolge⁸

REINHARDT & SCHEURLIN (2004) bestätigen in ihren Untersuchungen neutrale, im Hinblick auf Schadverdichtungen sogar positive Effekte mehrjähriger Energiepflanzen verglichen mit Dauerbrache. Abhängig vom Standort und der späteren Nutzung sollten die einzelnen Betriebe den Einsatz mehrjähriger gegenüber einjährigen Kulturen abwägen.

Der Anbau von Nahrungs- Futter- und Energiepflanzen in Deutschland erfolgt nach der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft. Unterschiedliche Standards für Energie- bzw. Nahrungs-/Futtermittelpflanzen sollten zukünftig nicht eingeführt werden (WWF UND DLG 2005)

Um die weitere Ausdehnung an Monokulturen mit Raps, Mais oder Weizen zu mindern müssen alternative konkurrenzfähige Anbausysteme, z.B. Mischkulturen oder Zweifruchtanbau, entwickelt werden (DLG und WWF, 2005); MEYER-MARQUART & FELDWISCH, 2006).

5 Strategische Konzepte zum Umgang mit den Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf Boden und Klima

Für den nachhaltigen Anbau von Biomasse, insbesondere zum Schutz des Bodens und des Klimas, sind nicht nur die Entwicklung geeigneter Anbausysteme und Bewirtschaftungsmaßnahmen von Bedeutung sondern auch die Schaffung entsprechender politischer Rahmenbedingungen zu deren Förderung und die Verankerung von Anforderungen in politischen Prozessen und Programmen auf der Ebene der Bundesländer und des Bundes sowie auf europäischer Ebene.

Um der Gefahr der Erosion im Maisanbau vorzubeugen, haben die Bundesländer in ihren Programmen zur ländlichen Entwicklung Förderungen an verschiedene Umweltanforderungen gekoppelt, die dem Schutz des Bodens, z.B. vor Erosion, zu Gute kommen.

Die Landesregierung Schleswig-Holstein begegnet dem Problem der Erosion beim Anbau von Energiepflanzen – ebenso wie beim Anbau von Nahrungsmittelpflanzen – und fördert pflanzenbauliche Maßnahmen zum Schutz vor Bodenerosion mit Mitteln aus der Modulation. Als Erosionsschutzmaßnahmen werden Mulch-/Direktsaat- oder -pflanzverfahren oder Winterbegrünung vorgeschlagen. Im Rahmen der Modulation werden in Schleswig-Holstein rund 30.000 Hektar Mulchsaat und rund 8.000 Hektar Winterbegrünung gefördert (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2006).

Für Teilnehmer der "Förderung von Maßnahmen zur Einführung und Beibehaltung extensiver Erzeugungspraktiken aus Gründen des Umweltschutzes und der Erhaltung der natürlichen Lebensräume (Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung – FUL)"⁹ ist die Einhaltung der vorliegenden Grundsätze des Landes Rheinland-Pfalz zwingend vorgeschrieben.

⁴ Zwischenfruchtanbau und Mulchsaat als Erosionsschutz. 3. Kulturlandschaftstag am 1.4.2004 in Landshut-Schönbrunn des Institutes für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz. Schriftenreihe 2/2004.

⁵ Merkblatt Mulchsaat für alle Kulturen
http://www.lfl-neu.bayern.de/publikationen/daten/merkblaetter_url_1_48.pdf

⁶ FRIELINGHAUS et al., 2002

⁷ FAL, 2003

⁸ FiBL, 2007

⁹ Gemäß der Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau und des Ministeriums für Umwelt in der jeweils geltenden Fassung, Programmteil IX: "Einführung und Beibehaltung von Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben".

Die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) Baden-Württemberg zur Umsetzung von düngemittel-, bodenschutz- und wasserrechtlichen Bestimmungen sieht besondere Anforderungen für den Maisanbau in TWS vor. Diese Anforderungen zielen in erster Linie auf den Grundwasserschutz ab, fördern aber gleichzeitig den Schutz des Bodens¹⁰.

Sowohl das Bundes-Bodenschutzgesetz als auch das Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz (zur Umsetzung von Cross-Compliance) enthalten Maßnahmen zum Erhalt der organischen Substanz im Boden. Nach derzeitigem Stand sind weder weitere Maßnahmen zum Erhalt des Humus' noch eine Weiterentwicklung der Cross-Compliance-Anforderungen für die Humusbilanzierung auf europäischer Ebene seitens der Bundesregierung geplant (BUNDESREGIERUNG, 2006).

Der "Nationale Strategieplan der Bundesrepublik Deutschland für die Entwicklung ländlicher Räume 2007 – 2013" analysiert die wirtschaftliche, strukturelle, ökologische und soziale Situation ländlicher Räume und ihre Entwicklungspotenziale in Deutschland. Er enthält ein strategisches Gesamtkonzept sowie Prioritäten für jeden Schwerpunkt einschließlich einer Quantifizierung der Hauptziele und Indikatoren für die Begleitung und Bewertung. Darüber hinaus wird die Kohärenz der Fördermaßnahmen mit anderen Politiken auf nationaler und europäischer Ebene sichergestellt sowie die regionale Verteilung der auf Deutschland entfallenden EU-Mittel dargestellt. In den Entwicklungsprogrammen legen die Regionen (Bundesländer) entsprechend ihrer spezifischen Ausgangslage und in Übereinstimmung mit der Nationalen Strategie die konkreten Fördermaßnahmen und deren Dotierung fest. Eine genauere Betrachtung des nationalen Strategieplans sowie der Länderprogramme im Hinblick auf klimarelevante Maßnahmen erlaubt die Ableitung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zum bodenschützenden Anbau von Biomasse bzw. zur Integration eines nachhaltigen Biomasseanbaus in das Gesamtkonzept der ländlichen Entwicklung.

Im Jahr 2003 haben sich die europäischen Agrarminister in Luxemburg auf einen weiteren Reformschritt der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU geeinigt: Die so genannten "Luxemburger Beschlüsse"¹¹ enthalten neue Elemente der GAP für die Förderperiode 2007 – 2013, u.a.:

- **Cross Compliance** (Kopplung der Gewährung von Direktzahlungen an die Einhaltung von Mindestvorschriften in verschiedenen Umweltbereichen sowie anderen Bereichen, z.B. Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit sowie Tiergesundheit).
- **Obligatorische Modulation** (Kürzung der Direktzahlungen zur Förderung der ländlichen Entwicklung und damit Erweiterung der "2. Säule")
- **Erweiterung der 2. Säule** (Fördermittel für den ländlichen Raum)
- **Beihilfe für Energiepflanzen**

Mit diesem Reformschritt wurde ein entscheidender Paradigmenwechsel in der europäischen Landwirtschaft vollzogen. Eine der zentralen Änderungen besteht in der Entkopplung der Direktzahlungen von der Produktion (Aufhebung der Bindung der Prämie an die Art oder Zahl der Tiere oder die angebaute Kultur). Damit wird dem Schutz der Umwelt, u.a. der Resource Boden, zunehmend Rechnung getragen.

¹⁰ http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1042304_11/index1104853887133.html

¹¹ Luxemburger Beschlüsse vom 26.06.2003 zur Reform der GAP, ergänzt durch Beschlüsse vom 22.04.2004.

6 Flankierende Maßnahmen

Entwicklung geeigneter Standards

Neben den grundsätzlichen, oben genannten Anforderungen bedarf es bei einem Ausbau von Biomasse der Entwicklung und Anwendung geeigneter Standards zum Schutz der Umwelt, u.a. zum Schutz des Bodens. Ein entsprechender Forderungskatalog wurde bereits auf internationaler Ebene im Rahmen der Studie *Sustainability Standards for Bioenergy* (FRITSCHÉ et al., 2006) erarbeitet. Die Ergebnisse dieser Studie wurden bereits in die laufende Arbeit des in den Roundtable Bioenergie, der an der Entwicklung von Standards für die nachhaltige Produktion und Nutzung von Bioenergie arbeitet, eingebracht¹². Die einzelnen Forderungen und Maßnahmenkataloge, die für verschiedene Umweltbereiche formuliert wurden, sind unterschiedlich weit präzisiert. Daher stellen die Ergebnisse der vorliegenden Studie eine Ergänzung der vorhandenen Arbeiten im Bereich Nachhaltigkeitsstandards für Bioenergie speziell für die Verhältnisse in Deutschland, dar.

Speziell für Biokraftstoffe hat REINHARDT (2005) die Entwicklung eines Gütesiegels für die Erzeugung von Bioethanol, welches z.B. vergleichbar mit dem Gütesiegel der Forstwirtschaft sein könnte, angeregt.

Als ein mögliches Instrument für Mindeststandards beim Biomasseanbau wurde in der die gute fachliche Praxis identifiziert, die bisher unter anderem Regeln für die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung aufstellt (ÖKO-INSTITUT, DEUTSCHE UMWELTHILFE, UNABHÄNGIGES INSTITUT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007). Als zukünftige Anforderungen der guten fachlichen Praxis sollten Vorgaben für den Anbau der Pflanzenkulturen aufgenommen werden. Diese betreffen z.B. Vorgaben für Kulturanteile in Fruchtfolgen, Vorgaben für die Mindestanzahl von Kulturarten auf Ackerflächen¹³.

Zusätzlich zur Entwicklung von Standards im Energiepflanzenanbau sollten jedoch auch Regelungen entwickelt werden, die negative Veränderungen der Landnutzung auf der Grundlage von *digital mapping* dokumentieren und sanktionieren (FRITSCHÉ et al., 2006).

Beratung und Kooperationen

Kooperationen von Naturschutz und Landwirtschaft sind bereits im Gewässerschutz, insbesondere in Trinkwasserschutzgebieten, erprobt und geeignete Instrumente, bestimmte Schutzziele umzusetzen (CHOUDHURY et al., 2007) und die Auswaschung von Nährstoffen wie z.B. Nitrat in Grund- und Oberflächengewässer zu reduzieren. Wesentliches Element einer im Hinblick auf den Umweltschutz effizienten Kooperation ist die Beratung der Landwirte. Vor dem Hintergrund dieser positiven Erfahrung sollten auch Beratungsansätze auf ein betriebsangepasstes, Boden schonendes Management im Energiepflanzenanbau abzielen, um Treibhausgasemissionen, bedingt durch den Ausbau von Biomasse und die damit verbundenen Bewirtschaftungsmaßnahmen, zu minimieren (BESTE, 2006).

Eine umfassende Beratung von Landwirten ist kostenintensiv, daher müssen Beratungen zur Förderung eines Umwelt und Boden schonenden Energiepflanzenanbaus in Förderprogrammen des Bundes und der Länder berücksichtigt werden.

¹² Der Roundtable Bioenergie wurde im Februar 2006 vom WWF ins Leben gerufen und verfolgt das Ziel, Aspekte zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Produktion und Nutzung von Bioenergie voranzubringen. Die folgenden Akteure arbeiten im Roundtable Bioenergie mit: Gerald Knauf, Forum Umwelt und Entwicklung; Dr. Kilian Delbrück, Ellen von Zitzewitz, Bundesministerium für Naturschutz und Reaktorsicherheit; Herman Graf Hatzfeldt, FSC Deutschland; Almut Jering, Umweltbundesamt; Anne Miehe, Umweltbundesamt; Kathrin Ammermann, Bundesamt für Naturschutz; Jürgen Hess Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

¹³ Öko-Institut, Deutsche Umwelthilfe, Unabhängiges Institut für Umweltfragen 2007: Umweltgesetzbuch. Anspruchsvolle Umweltstandards, modernes Umweltrecht – für ein progressives Umweltgesetzbuch. Positionspapier.

Forschung

Forschungsansätze an der Schnittstelle zwischen Klimawandel und Bodennutzung sollten auf Bundesebene koordiniert werden. Dies betrifft zum einen die Aktivitäten der verschiedenen Ressorts (BMBF, BMU, BMELV) als auch die Koordination zwischen Verwaltung, Politik und Wissenschaft.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat in seinem Rahmenprogramm "Forschung für die Nachhaltigkeit" einen Förderschwerpunkt "Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen", darunter die Teilbereiche "Minderung der Treibhausgasemissionen" und "Anpassung an Klimatrends" eingerichtet¹⁴.

Das laufende Projekt "Nachwachsende Rohstoffe - Qualifizierung lokaler Akteure des Umwelt- und Naturschutzes", wird durch das Umweltbundesamt und Mitteln des Bundesumweltministeriums finanziert.

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. betreut das Förderprogramm nachwachsende Rohstoffe des BMELV.

Zukünftig sollten bei allen Fragestellungen zur Erzeugung von Energiepflanzen und deren Umweltwirkung insbesondere die Anforderungen des Bodenschutzes berücksichtigt werden. Weiterhin sollten aktuelle Ergebnisse aus Forschungsvorhaben zum Bodenschutz Eingang in die laufende Forschung zum Klimawandel finden. Dieser Austausch könnte durch entsprechende Strukturen, beispielsweise eine Arbeitsgruppe "Bodenschutz und Klimawandel", erleichtert werden.

¹⁴ Deutscher Bundestag 2006: Antwort der Bundesregierung auf eine Anfrage der Grünen: Einführung der Humusreproduktion und der Humusbilanzierung in das Dünge- und Bodenschutzrecht , Drucksache 16 / 2411 vom 17.8.2006.

Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe

– Ein Positionspapier der

„Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt“

Peter Dominik, UBA II 2.7

Die Bundesregierung hat in ihrem integrierten Energie- und Klimaprogramm beschlossen, bis 2020 die Emissionen von Treibhausgasen gegenüber dem Jahr 1990 um 40% zu reduzieren, bezogen auf das Jahr 2007 müssen also die Emissionen in 13 Jahren um 25% gesenkt werden. Da die bisherige Reduktion gegenüber 1990 um 19% insbesondere auf den gewaltigen Änderungen der Wirtschaftsweise in den neuen Bundesländern beruht, sind für diese zukünftige Reduktion besondere Anstrengungen erforderlich.

Neben anderen erneuerbaren Energien (EE) können nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) als Energieträger zur Minderung der Treibhausgasemissionen beitragen, weil sie das bei ihrer Verbrennung freigesetzte CO₂ während ihres Wachstums der Atmosphäre entzogen haben. Bei der Klimabilanz muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass der Anbau und die Verwertung von NaWaRo mit der Freisetzung zusätzlicher Treibhausgase verbunden sein kann.

Um die beschlossenen Klimaziele zu erreichen, strebt die Bundesregierung daher auch eine erhebliche Ausweitung von NaWaRo als Energieträger an (siehe Tabelle 1). Dazu müsste die Anbaufläche für NaWaRo zur energetischen Nutzung von 2007 etwa 1,8 Mio ha (1,15 für Raps (Biodiesel), 0,4 für Biogas und 0,25 für Bioethanol) auf rund 10 Mio ha, das sind 86% der Ackerfläche Deutschlands, ausgeweitet werden.

Die Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt nimmt diese Entwicklung zum Anlass, die Wirkungen des Anbaus von NaWaRo zu bewerten und Empfehlungen auszusprechen. Diese Empfehlungen sind insbesondere auf den Schutz der natürlichen Bodenfunktionen ausgerichtet und betrachten nur den Anbau in Deutschland. Der in Tabelle 1 skizzierte Flächenbedarf der Ziele der Bundesregierung zeigt aber auch:

- Auf der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands kann nur ein relativ bescheidener Anteil des deutschen Energiebedarfs erzeugt werden.
- Zur Erfüllung der Ziele der Bundesregierung müssen daher entweder erhebliche Biomasse-Mengen importiert werden und/oder der Energiebedarf muss verringert bzw. die Nutzungseffizienz erheblich gesteigert werden.

Die Kommission Bodenschutz bekennt sich zum Vorrang des Menschenrechts auf Nahrung vor dem Recht auf Nutzung von Energie und spricht sich für die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards auch in den exportierenden Ländern aus. Außerdem sollten nur diejenigen Kulturen mit den positivsten Klima/Energiebilanzen gefördert werden.

Tab. 1: Ziele der Bundesregierung für den Ausbau der Bioenergie bis 2020 und dafür benötigte Anbauflächen

Nutzung	Ausbauziel	Benötigte Anbaufläche	Annahmen der Berechnung ¹
Biokraftstoffe	17% energetisch (Ø CO ₂ -Ausstoß von Neuwagen soll von 162 auf 130 g/km sinken)	3,8 Mio ha Raps (Ersatz f. 17% Diesel)	gleiche Fahrleistung wie heute
		2,4 Mio ha Getreide (Ersatz für 17% Ottokraftstoff)	
Gasversorgung	10% des Gases im Erdgasnetz aus Biogasanlagen (bis 2030)	1,6 Mio ha Energiemais	6% des „Erdgases“ könnten durch Biogas-Verwertung der Gülle in D erzeugt werden. 1,6 Mio ha Energiemais würden die restlichen 4% liefern.
Wärmeerzeugung	EE von derzeit 6% auf 14% erhöhen	2,4 Mio ha schnell wachsende Baumarten	wenn die gesamte Steigerung mit Bioenergie erreicht werden soll. Tatsächlich soll auch Sonnenenergie einen Teil der Steigerung beitragen.
Summe	-----	10,2 Mio ha (87% der dt. Ackerfläche)	-----

¹ Es wurden aktuelle NaWaRo-Kulturen und -Flächenerträge angenommen. Eine Abnahme des zukünftigen Energieverbrauchs wurde nur bei den Kraftstoffen eingerechnet, weil nur hier Ziele vorgegeben sind. Eine Steigerung der Flächenerträge oder der Energieeffizienz würde daher die benötigte Anbaufläche entsprechend vermindern.

Leitlinie für die Empfehlungen der KBU ist, dass der Anbau von NaWaRo die Umweltkompartimente Boden, Wasser, Luft und Klima sowie Folgekulturen nicht zusätzlich (gegenüber der derzeitigen Nutzung) belastet (Verschlechterungsverbot).

Um die Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungen abzumildern, fordert die KBU, dass der Flächenverbrauch auf 30 ha/d reduziert wird und Siedlungsbrachen für den Anbau von NaWaRo nutzbar gemacht werden. Hierzu sollte ein länderübergreifendes Brachflächenkataster erstellt werden, woraus Potenziale für den Anbau von NaWaRo abgeleitet werden können. Belastete Standorte könnten längerfristig mittels Phytoremediation verbessert werden, wenn die Reststoffe aufgereinigt oder entsorgt werden. Schutzgebiete sollten daraufhin geprüft werden, ob sie durch einen Nährstoffentzug mit der Pflanzenbiomasse dem Schutzziel schneller angenähert werden könnten. Die Gebietsverordnung sollte dann so geändert werden, dass Erntegut energetisch verwertet werden darf.

1) Anbauintensität der NaWaRo-Kulturen

Der SRU (2004) und die Bundesregierung (2002) sehen die Belastung der Umwelt durch die Landwirtschaft schon derzeit als hoch an. Die KBU fordert daher, dass diese Belastungen durch einen vermehrten Anbau von NaWaRo nicht weiter zunehmen dürfen. Die Belastungen, die vom landwirtschaftlichen Anbau ausgehen, hängen nicht direkt von der angebauten Kultur, sondern von den Einzelmaßnahmen des Landwirts zu ihrem Anbau ab. Da aber jede Kultur bestimmte Ansprüche an Nährstoffversorgung,

Saatbett sowie Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsdruck stellt, haben sich typische Anbausysteme entwickelt, die zu typischen Risiken einer Kultur führen. In einigen Studien wurde eine relative Bewertung vorgenommen, welche Gefahren vom Anbau der verschiedenen möglichen NaWaRo-Kulturen für die Erosion, Bodenschadverdichtung, den Nährstoffaustrag in andere Umweltkompartimente, den Austrag von Pflanzenschutzmitteln und die Biodiversität ausgehen. Eine Synopsis dieser Studien (Tabelle 2) zeigt, dass im Mittel von Hack- bzw. Reihenfrüchten die größten Gefahren, von Getreide mittlere und von mehrjährigen Kulturen die geringsten Gefahren ausgehen. Wenn also durch verstärkten Anbau von NaWaRo die Belastungen durch die Landwirtschaft nicht weiter zunehmen sollen, dann sollten Kulturen gewählt werden, die kein höheres Risikopotenzial aufweisen, als die verdrängten Kulturen, also diejenigen landwirtschaftlichen Kulturen, deren Flächenanteil abnimmt.

Tabelle 2: Schätzung der Gefährdungen durch unterschiedliche Kulturen nachwachsender Rohstoffe Synopsis aus mehreren Studien (Reinhardt und Scheurlen, 2004; Wiesenthal et al., 2006, Schütz et al., 2006 sowie Schlegel et al., 2005). relative Werte*

Gefährdungen	1) Erosion	2) Schad- verdichtungen	3) Eutrophierung von Gewässern und Nachbarbio- topen	4) Belastung mit Pflanzenschutz- mitteln	5) Verlust an Ar- tenvielfalt bzw. Lebensräumen
Mais	4	3	4	4	4
Zuckerrüben	4	4	3	3	3
Kartoffeln	4	4	3	3	3
Raps	2 (..3)	2	3	4	2..3
Sonnenblumen	3	2	2..3	2..3	2
Getreide	1 (..2)	1	2	2	2..3
Ackergras	1	1..2	2	2	2..3
Wiese	1	1	1	1	1
Miscanthus	1	2	1	1	1, anfänglich 3
Kurzumtriebs- plantagen	1	2	1	1	1, anfänglich 3

Bis ins Jahr 2007 ging durch NaWaRo-Anbau insbesondere der Flächenanteil der Rotations- oder Dauerbrachen zurück, für die Flächenstillegungsprämie gezahlt wurde. Diese Flächen sind wie Ackergras oder Wiese zu bewerten. Daher ist die bisher durch den NaWaRo-Anbau erfolgte Flächenzunahme von Raps, Mais und Getreide aus Umweltsicht kritisch zu betrachten. Vor einer weiteren Ausweitung des NaWaRo-Anbaus sollte nach weniger problematischen Alternativkulturen gesucht werden.

2) Humusverlust durch NaWaRo?

Die organische Substanz von Böden (Humus) ist für viele Bodenfunktionen von großer Bedeutung, außerdem speichert sie erhebliche Mengen an Kohlenstoff. Der Gehalt an organischer Substanz hängt von den Standortbedingungen (Bodenart, Temperatur, Niederschläge, Grund- oder Stauwasser) sowie von Art und Menge der regelmäßigen Zufuhr von organischer Substanz und der Bodenbearbeitung ab.

Im Gegensatz zu einjährigen Kulturen verbleibt bei mehrjährigen nach Ende der Vegetationszeit das Laub meist auf der Fläche und es findet keine Bodenbearbeitung statt. Dadurch wird mehr Humus gebildet und die Bodenfauna nimmt an Menge und Vielfalt zu.

Humusbilanzierungsmethoden geben einen Anhaltspunkt, ob der Humusgehalt eines Bodens in Abhängigkeit von den angebauten Kulturen zu- oder abnimmt. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse von drei verschiedenen Bilanzierungs-Methoden für derzeit übliche NaWaRo-Kulturen bei mittleren Erträge dargestellt. Verschiedene Methoden ergeben verschiedene Zahlen, aber es ist unstrittig, dass Reihenkulturen (allen voran Zuckerrüben und Kartoffeln) humuszehrend wirken, Getreide in etwa ausgeglichene Humusbilanzen ergibt, und Ackergras (oder Wiese) humusmehrend ist.

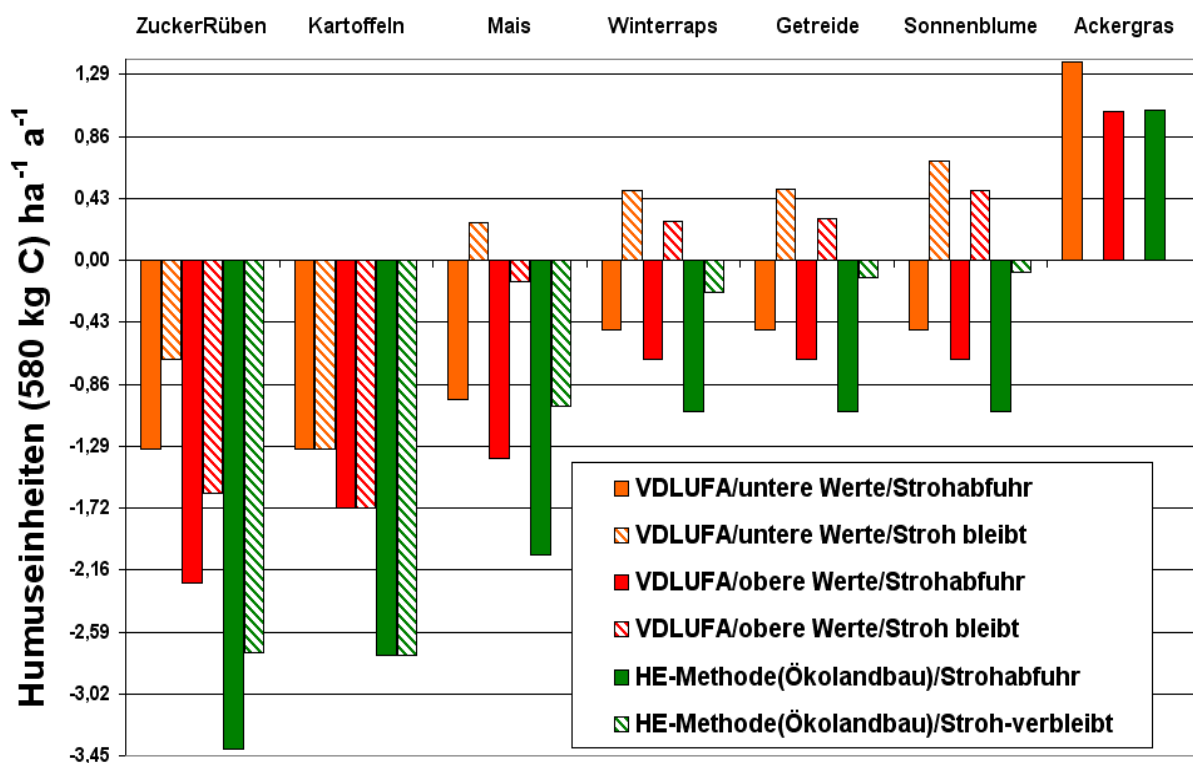


Abbildung 1: Humusbilanzen verschiedener als NaWaRo möglichen Kulturen. Strohabfuhr verschlechtert die Humusbilanz deutlich. Drei verschiedene Methoden, nach Cross Compliance ist die Methode VDLUFA-untere-Werte vorgeschrieben.

Ob das Stroh auf dem Acker verbleibt, oder entfernt wird, ergibt bei allen Kulturen und Bilanzierungs-Methoden einen deutlichen Unterschied im Ergebnis. Bei einigen Kulturen entscheidet hängt es davon ab, ob die Humusbilanz positiv oder negativ ausfällt.

Für Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus gibt es bisher keine Werte in den Bilanzierungsmethoden, aber erste experimentelle Ergebnisse (Strähle et al., 2007; Kahle et al., 2001 und 2005) zeigen, dass sie noch stärker humusmehrend sind, als Ackergras.

Gerade bei NaWaRo-Nutzung könnte aber der Druck entstehen, die gesamte oberirdische Biomasse vom Feld zu entfernen, weil der Landwirt möglichst viel Energie ernten will. Daher ist zu befürchten, dass NaWaRo-Anbau zu abnehmenden Humusgehalten führen könnte. So ist Energiemais wie Silomais zu einzuschätzen und hat damit eindeutig eine negative Humusbilanz. Andererseits wird mit den Gärresten aus der Biogasanlage auch wieder organische Substanz zurückgeführt. Die Humuswirkung solcher Gärreste ist aber bisher gänzlich unbekannt und muss noch in Langzeitversuchen experimentell ermittelt werden. Die ersten solchen Versuche sind 2007 eingerichtet worden. Dennoch sollten – wie oben für andere Risiken geschildert auch um Humusverlust vorzubeugen - bei zunehmendem Anbau von NaWaRo verstärkt mehrjährige Kulturen zum Einsatz kommen.

3) Nähr- und Schadstoffe in Resten der energetischen Nutzung

Je nach Verwertungslinie enthalten die Reststoffe der energetischen Nutzung von NaWaRo nahezu alle Nährstoffe der geernteten Biomasse (bei direkter Verbrennung gehen Stickstoff und Schwefel verloren). Daher ist es prinzipiell sinnvoll diese Reststoffe zurück auf die Anbaufläche zu führen, um Nährstoffkreisläufe zu schließen und Ressourcen zu schonen. Von den Aschen der direkten Verbrennung sollte aber nur die Rostasche (=Feuerraum- oder Grobasche) zurückgebracht werden, da die feineren Fraktionen höhere Schadstoffgehalte (Schwermetalle, PAK und PCDD/F) aber geringere Nährstoffgehalte haben. In die Waldböden Deutschlands wird regelmäßig über die Luft mehr Kupfer, Zink und Blei eingetragen, als durch die Holzentnahme und durch Versickerung entfernt wird, daher kommt es zu einer schleichenden Akkumulierung dieser Elemente. Um dieser Anreicherung entgegen zu wirken, sollten daher die schwermetallreicheren Fraktionen nicht auf die Fläche zurückgebracht werden, selbst wenn alle Aschen zusammen nur die Schwermetalle der geernteten Biomasse enthalten sollten.

Bisher gibt es kaum Biogasanlagen, die ausschließlich NaWaRo (meist Mais- oder Getreideganzpflanzensilage) vergären, sondern nur solche, die zusätzlich Gülle vergären. Bei gezielt angebauten NaWaRo handelt es sich um wenig belastete Substrate, demzufolge sind Gärreste aus Co-Vermentation bezüglich der Schwermetallgehalte günstiger einzustufen, als solche aus reiner Gülle. Schweinegülle enthält aus Futterzusätzen meist soviel Zink und Kupfer, dass selbst die Gärreste aus Co-Vergärung mit NaWaRo zu einer Anreicherung im Boden führen würden, weil durch Ernte der Pflanzen und Auswaschung weniger ausgetragen wird. Hier besteht Regelungsbedarf für die Schweinegülle bzw. die Fütterung der Tiere.

Abgesehen vom Nitrat-Stickstoff und Teilen des Schwefels enthalten die Gärreste beim Austritt aus der Biogasanlage alle Nährstoffe der Substrate. Der pH-Wert von Gär-

resten ist gegenüber Gülle erhöht und 60-70% des Stickstoffs liegen in Ammoniumform vor. Damit besteht bei der Lagerung und bei der Ausbringung eine besondere Gefahr der Ammoniakausgasung. Die Ammoniakausgasung aus Ställen und Wirtschaftsdüngern der Landwirtschaft ist aber schon heute die wichtigste deutsche Quelle für N-Einträge in der Luft darstellt, daher sollte einer zunehmenden Ausgasung unbedingt entgegengewirkt werden. Allerdings betrifft dieses Problem ebenso Gülle und Gärreste aus Biogasanlagen ohne NaWaRo-Co-Vergärung. Dazu muss die Forschung an Anlagensteuerung und Ausbringtontechnik intensiviert werden.

Gärreste aus Biogasanlagen mit und ohne NaWaRo-Co-Vergärung unterscheiden sich nicht in ihren Dünge-Eigenschaften. Deshalb sollten zukünftig nicht nur die N-Frachten aus den tierischen Exkrementen an die Obergrenze von 170 kg Stickstoff je ha und Jahr aus Wirtschaftsdüngern angerechnet werden, sondern auch die N-Frachten aus den NaWaRo. Hier muss die Düngeverordnung angepasst werden.

Insgesamt sollten in Zukunft verstärkt NaWaRo-Kulturen eingesetzt bzw. gezüchtet werden, die weniger Stickstoffdüngung benötigen, da mit der Düngung von Stickstoff in der Regel die Ausgasung von N_2O (das um den Faktor 300 klimaschädlicher ist als CO_2) aus dem Boden ansteigt, wodurch die Klimabilanz stark belastet wird.

Literatur

- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung.
- Kahle, P., Beuch, S., Boelke, B., Leinweber, P. and Schulten, H-R. (2001): Cropping of Miscanthus in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European Journal of Agronomy* 15: 171-184.
- Kahle, P., Baum, C. and Boelcke, B. (2005): Effect of afforestation on soil properties and mycorrhizal formation. *Pedosphere* 15: 754-760.
- Reinhardt, G. und Scheurlen, K. (2004): Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz.
- Schlegel, S., Kraemer, R. A. und Schaffrin, D. (2005): Bodenschutz und nachwachsende Rohstoffe, Gutachten für die Kommission Bodenschutz des Umweltbundesamtes. Ecologic, Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik, Berlin.
- Schütz, H., Bringezu, S., von Geibler, J., Biengen, K., Kristof, K., Borlebach, P., Kabasci, S. und Michels, C. (2006): Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategien unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen. F+E-Vorhaben, Zwischenbericht vom 14.10.06. Wuppertal Institut.
- SRU (2004): Umweltgutachten 2004 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Nomos-Verlag, Baden-Baden.
- Strähle, M., Dominik, P., Scholz, V., Römisch, U. and Kaupenjohann, M. (2007): Soil carbon sequestration due to the forestation of arable land with short rotation willows and poplars. In: Tagungsband des International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems. Poitiers, France, July 16-19.
- Wiesenthal, T., Mourelatou, A., Petersen, J. E. and Taylor, P. (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7/2006. Copenhagen.

Gemeinsames Positionspapier der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Wasser und Bodenschutz

Aspekte des Boden- und Gewässerschutzes bei der Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen für die Bioenergie

- E n t w u r f - Stand 02.10.2007 -

Vorgestellt von
Irene Dahlmann
Niedersächsisches Umweltministerium

Sachstand

Zum Schutz des Klimas hat sich Deutschland verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen zu senken und den Anteil erneuerbarer Energien deutlich zu erhöhen. Um diese Ziele zu erreichen, ist neben den wichtigsten Maßnahmen, der Energieeinsparung und der Steigerung der Energieeffizienz, der Ausbau der erneuerbaren Energien und dazu die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Erzeugung von Bioenergie von Bedeutung. Um das Ziel der Europäischen Union, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in der EU bis 2020 auf 20% zu steigern, zu erreichen, müsste der entsprechende Anteil in Deutschland bis 2020 auf 16% erhöht werden (bislang 10%).

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften für Wasser (LAWA) und Bodenschutz (LABO) begrüßen diese Entwicklung. Sie sind davon überzeugt, dass die effiziente energetische Nutzung von Biomasse prinzipiell mehr Chancen als Risiken bietet. Dies steht im Einklang mit dem Beschluss der 65. UMK am 3./4.11. 2005 (TOP 27) in Rostock zum Ausbau der Bioenergienutzung:

„Angesichts der Entwicklungen auf den internationalen Energiemärkten und den immer mehr spürbaren Folgen des Klimawandels hält es die Umweltministerkonferenz für notwendig, den nachhaltigen Ausbau der Nutzung von Biomasse im Energiesektor weiter voranzutreiben. Eine weitere Verbesserung der Rahmenbedingungen für die stoffliche Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen darf dabei nicht vernachlässigt werden.“

Vor diesem Hintergrund ist die Nachhaltigkeit auch im Hinblick auf die Ziele des Gewässer- und Bodenschutzes zu gewährleisten. Daher machen die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften für Wasser und Bodenschutz auf einige Entwicklungen aufmerksam, die Risiken für die Erreichung dieser Ziele darstellen können:

1. Stoffeinträge

- eine Zunahme des Maisanbaus kann regional zu einer Verengung der Fruchtfolge und dem Ersatz von Winterungen führen. Dadurch kann sich das Risiko des Eintrags von Nährstoffen in Böden, Oberflächen- und Grundwasser erhöhen. Positiv dagegen sind die derzeitigen Bestrebungen zur standortangepassten Nutzung von Energiepflanzen (Roggen, Triticale, Hirse, Sonnenblumen etc.) zu beurteilen, wenn sie eine Erweiterung der Fruchtfolgen oder auch eine bessere Nährstoffausnutzung zur Folge haben,
- mit der wachsenden Zahl von Biogasanlagen werden sich auch die Menge der Gärrückstände und die damit aufgebrauchten Nährstoffmengen erhöhen. Dadurch kann sich aufgrund der schwer kalkulierbaren Stickstofffreisetzung insbesondere bei nicht optimalen Ausbringungszeitpunkten oder vorwiegend im näheren Umkreis der Anlagen erfolgreicher Verwertung von Gärrückständen ebenfalls das Risiko der Nährstoffauswaschung erhöhen. Problematisch sind in diesem Zusammenhang u.a. fehlende Mindestvorgaben für die erforderliche Lagerkapazität und die pflanzenbauliche Wirksamkeit der Gärrückstände,
- bei der Lagerung und Verwendung der Biomasse zur Biogaserzeugung können Sickersäfte die Gewässer gefährden,
- angesichts der hohen Ammoniumgehalte und pH-Werte in den Gärrückständen können deutlich höhere Ammoniakverluste während der offenen Lagerung auftreten, mit der Folge, dass die teilweise bereits heute zu hohen atmosphärischen Nährstoffeinträge insbesondere in Waldgebieten weiter ansteigen,
- darüber hinaus kann eine Aufbringung von Gärrückständen, die von schadstoff-, insbesondere schwermetallbelasteten Flächen stammen, zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Boden führen, in besonderem Maße dann, wenn dies konzentriert oder auf bisher unbelasteten Flächen geschieht.
- Insbesondere beim Einsatz organischer Abfälle muss sicher gestellt werden, dass es nicht zu Verunreinigungen von Boden, Grund- und Oberflächenwasser durch Umweltschadstoffe kommt und dass die anfallenden Gärreste ordnungsgemäß und

schadlos verwertet werden. In Zusammenhang mit „PFT“ erkannte Defizite in der BioAbfV müssen im Rahmen der Novellierung der BioAbfV angegangen werden.

2. Flächenkonkurrenz

Der steigende Anteil des Energiepflanzenanbaus konkurriert in der Fläche einerseits mit der Futter- und Nahrungsmittelproduktion und andererseits mit Extensivstandorten, die für den Gewässer- und Bodenschutz von Bedeutung sind. Auch vor dem Hintergrund steigender Pachtpreise wird die Attraktivität, bzw. Wettbewerbsfähigkeit von Agrarumweltmaßnahmen gegenüber dem geförderten Anbau von Biomasse gemindert und der Nutzungsdruck auf diese Extensivstandorte entsprechend erhöht.

3. Bodendegradation

- durch die vermehrte Nutzung von Ganzpflanzen kann es ohne entsprechende Rückführung organischer Substanz mittelfristig mit einem Abbau des Humusvorrats und Rückgang der bodenbiologischen Aktivität kommen. Dies wird sich negativ auf viele Bodenfunktionen und die Bodenfruchtbarkeit auswirken,
- insbesondere die Ausdehnung des Anbaus von (Energie-)Mais ohne Anwendung erosionsmindernder Verfahren wie z.B. Mulchsaat sowie der Umbruch von Grünland in Acker bedeuten auf geeigneten Flächen eine Erhöhung der Erosionsgefahr.

Vorschläge für mögliche Lösungsansätze

Im Sinne einer nachhaltigen Nutzung der wirtschaftlichen Chancen, die die Bioenergieerzeugung für den ländlichen Raum bietet, ist angesichts der bereits vorhandenen hohen diffusen stofflichen Belastung aus landwirtschaftlichen Quellen sicherzustellen, dass der Energiepflanzenanbau und die Verwertung der anfallenden Gärsubstrate im Rahmen der landwirtschaftlichen Düngung umweltschonend erfolgt. Aus der Sicht der Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaften für Wasser und Bodenschutz und unter Berücksichtigung des Erfahrungsberichts 2007 des BMU zum EEG sowie des Sondergutachtens des Sachverständigenrates für Umweltfragen 2007 „Klimaschutz durch Biomasse“ werden dazu folgende Lösungsansätze vorgeschlagen:

1. Umweltgerechte Ausgestaltung der Biogasförderung

Die Gestaltung der Vergütung von Strom aus Biomasse sollte auch auf eine umweltschonende Produktion von Energiepflanzen, wie auch auf eine umweltverträgliche Verwertung der Gärreste ausgestaltet sein. Basis dafür ist das landwirtschaftliche Fachrecht (z.B. Düngung, Fruchtfolge, Pflanzenschutz).

2. Anpassung düngemittel- und wasserrechtlicher Vorschriften

Das Düngemittelgesetz ist bei der demnächst anstehenden Änderung um eine Ermächtigungsgrundlage zur Regelung von Nachweisverpflichtungen für die Verwertung organischer Abfälle im Düngerecht zu erweitern.

Die Vorschriften der Düngeverordnung zur Beschränkung der Aufbringung von Wirtschaftsdünger sowie die Anforderungen an die Lagerkapazität für flüssige Wirtschaftsdünger sollten auf Wirtschaftsdünger tierischer und pflanzlicher Herkunft einheitlich Anwendung finden. Gärsubstrate sollten grundsätzlich vom Anlagenbetreiber regelmäßig auf Nähr- und Schadstoffe untersucht werden müssen. Die Ausnahme von der Deklarationspflicht gemäß § 5 Abs. 2 Düngeverordnung sollte zur Unterstützung der pflanzenbedarfsgerechten Düngung und zum Schutz vor schadstoffbelasteten Dünger gestrichen werden.

Zur Verbesserung der Überwachung von Nährstoffströmen sollten die Anlagenbetreiber zur Dokumentation der Gärrestabgabe verpflichtet werden.

3. Absicherung der erreichten Erfolge der Agrarumweltmaßnahmen

Um die Attraktivität für Agrarumweltmaßnahmen (AUM) auch im Umfeld von Biogasanlagen aufrecht zu erhalten, könnte z.B. eine Umschichtung von Finanzmitteln im Bereich der Agrarförderung (freiwillige Modulation) zugunsten der sogenannten 2. Säule erfolgen.

4. Verstärkung der Forschung

Die Forschung zur Abschätzung der Folgen der vermehrten Biomassenutzung und der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus für die Gewässer und den Humushaushalt der Böden sollte verstärkt werden. Daraus sind Empfehlungen und Richtwerten für den umweltverträglichen Anbau von Energiepflanzen und die Verwertung der Gärrückstände abzuleiten.



Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzungswandel auf die Biodiversität

Ergebnisse des Sachverständigengutachtens

Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität

—

unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz
des Naturschutzes und der Landschaftspflege





Die Gliederung des Sachverständigengutachtens

- Teil I: Klimaprojektionen für Deutschland
- Teil II: Regionale Klimafolgen in drei Regionen Deutschlands (Wasserhaushalt, Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft)
- Teil III: Treibhausgas-Emissionen aus Ökosystemen und Landnutzungen
- Teil IV: Folgerungen für den Naturschutz
- Ziel: Wissensstand eruieren sowie Grundlage für weitere Forschung und Berücksichtigung der THG-Relevanz in Recht, Planung und Verwaltung schaffen



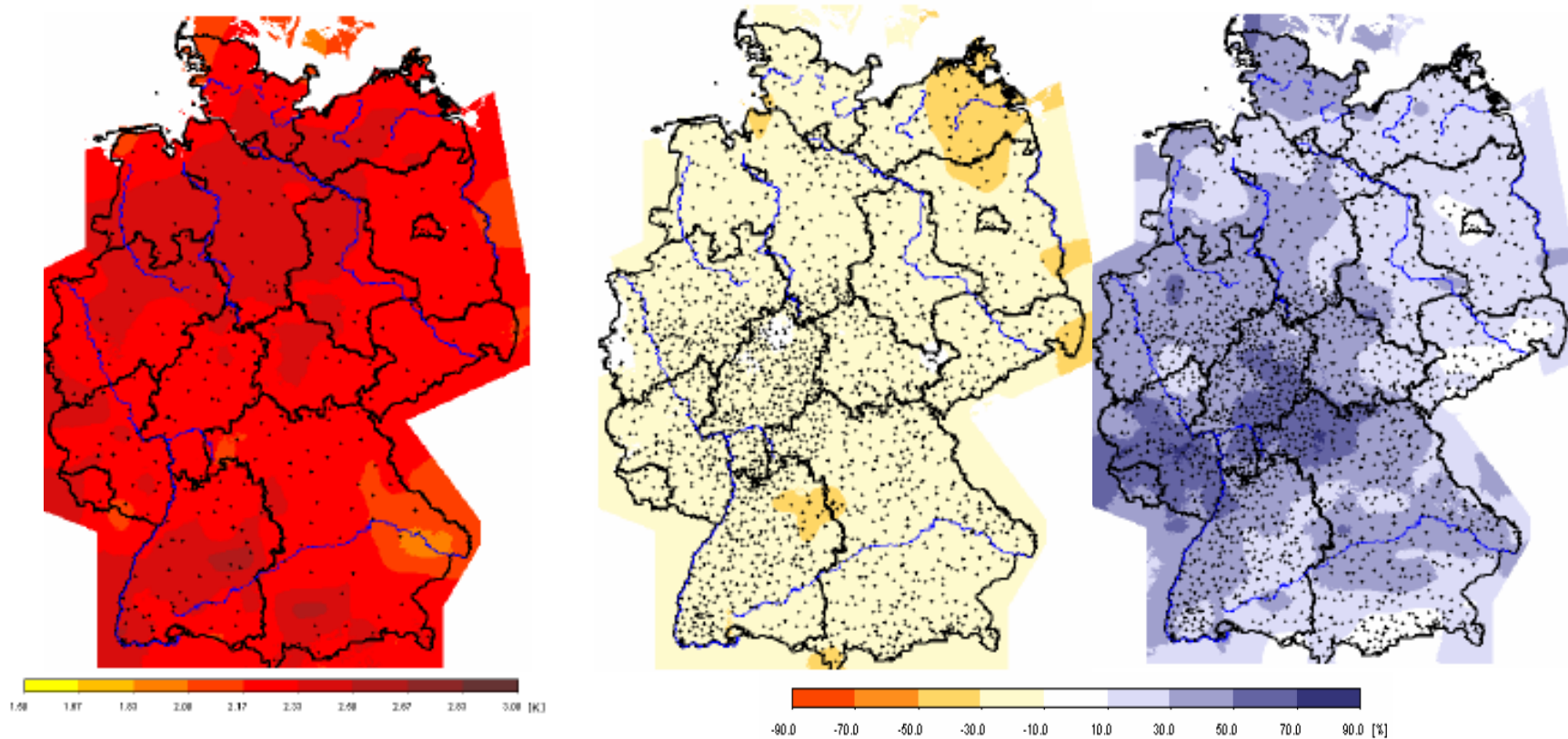


Der heutige Vortrag

- Klimaprojektionen für Deutschland;
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität;
- THG- Emissionen aus Ökosystemen und Landnutzungen;
- die momentane Situation des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe;
- Charakteristika von Energiemais und dessen Einfluss auf die Biodiversität;
- Folgerungen für den Naturschutz.

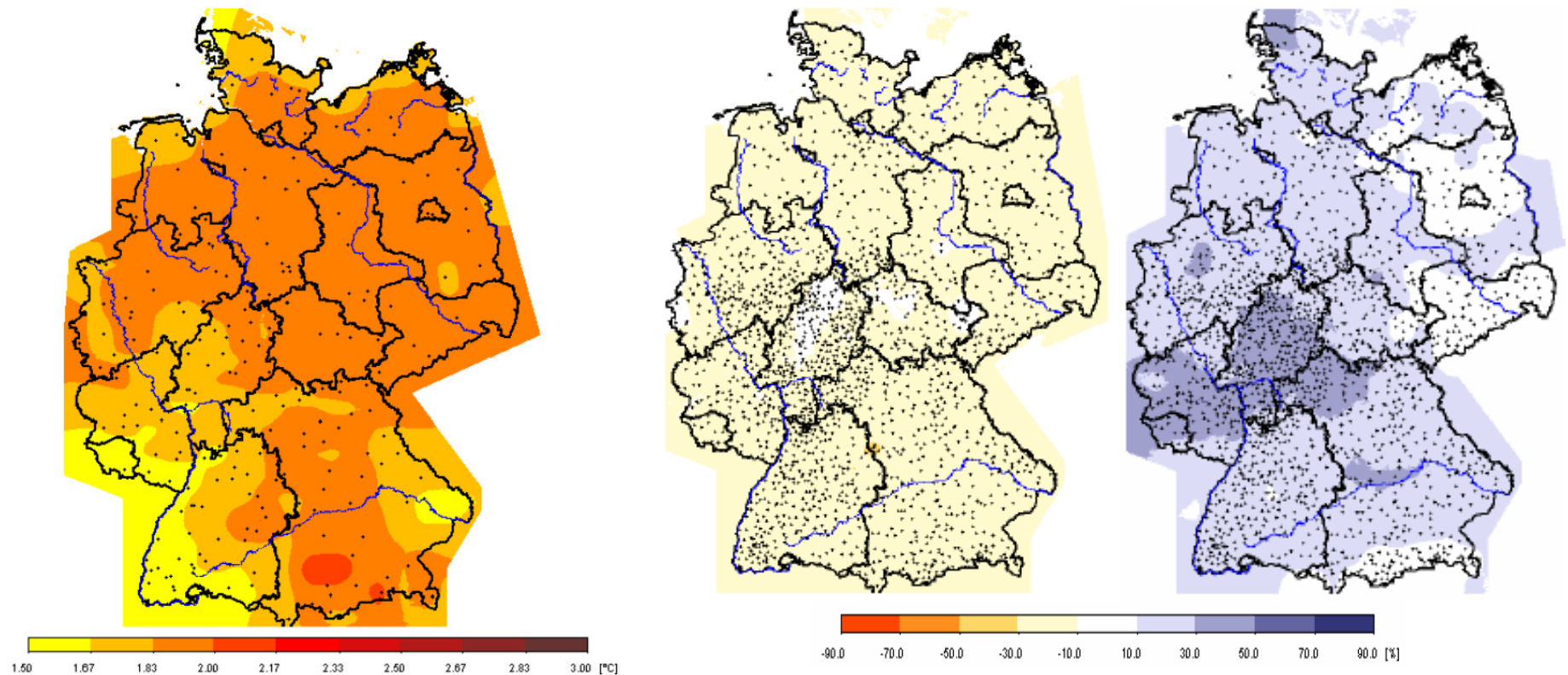


Klimaprojektionen IPCC-SRES A1B



Jahresmitteltemperatur (+2,3°C) & Niederschlagsentwicklung (Sommer, -22,0%, Winter + 30,3%) im Jahr 2071-2100 nach IPCC-SRES A1B (Basis 1961-1990; Spekat, et al. 2007)

Klimaprojektionen IPCC-SRES B1



Jahresmitteltemperatur (+1,8°C) & Niederschlagsentwicklung (Sommer, -17,7%, Winter + 19,0%) im Jahr 2071-2100 nach IPCC-SRES B1 (Basis 1961-1990; Spekat, et al. 2007)



Dipl.-Geogr. Martin Lange

Auswirkungen von Klimawandel und
Landnutzungswandel auf die Biodiversität



Leibniz
Universität Hannover 
Institut für Umweltplanung 
Institute of Environmental Planning

Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität

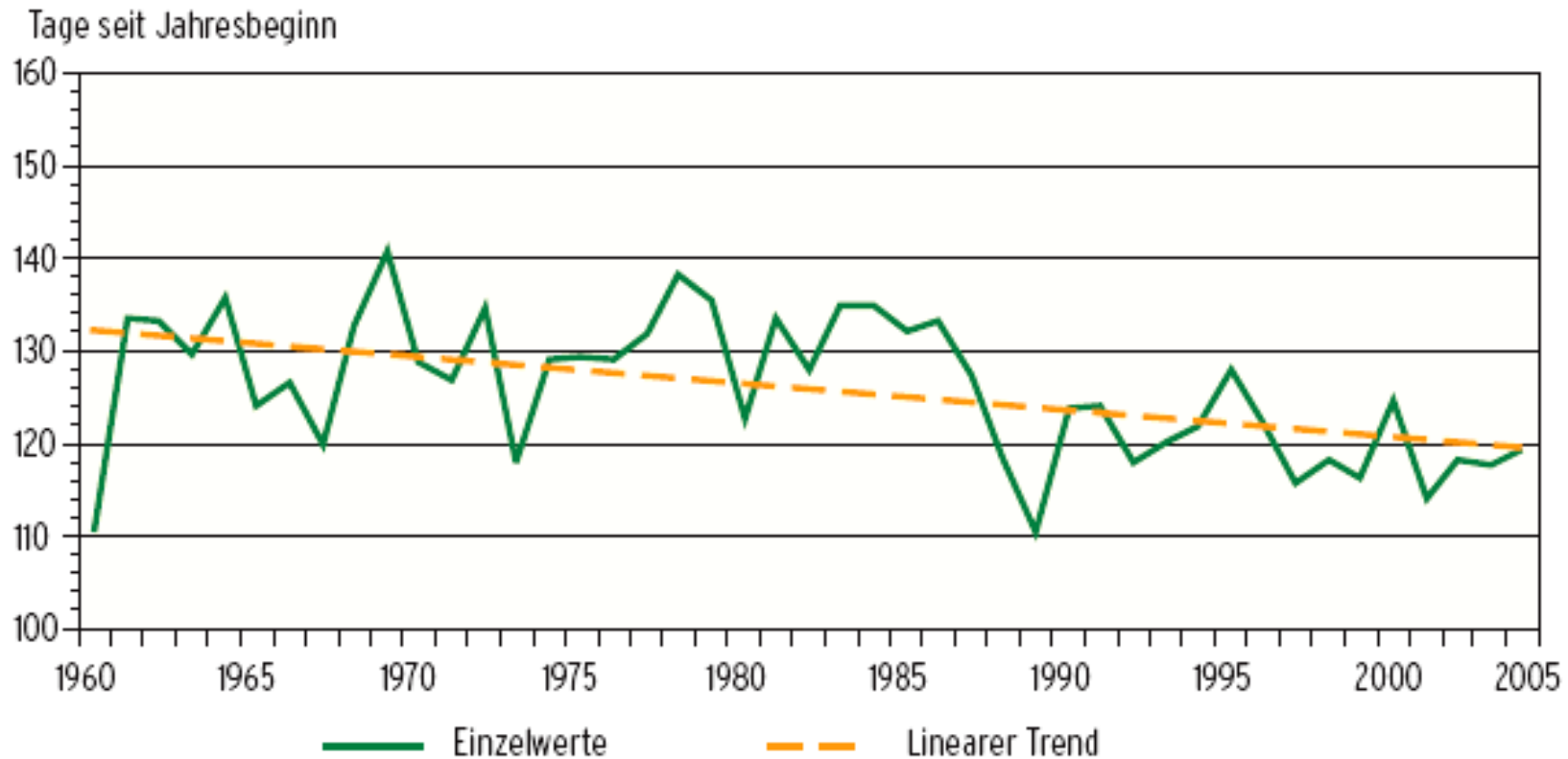
- Direkte Auswirkungen
 - Verschiebungen der Lebenszyklen (Blüh- oder Wanderungszeit);
 - Verschiebungen der Verbreitungsgebiete;
 - Veränderungen der Individuendichte;
 - Verschwinden von Populationen.
- Indirekte Auswirkungen
 - z.B. Rückkoppelungen über die Nahrungskette.



22.01.2008 Dessau| Slide 6

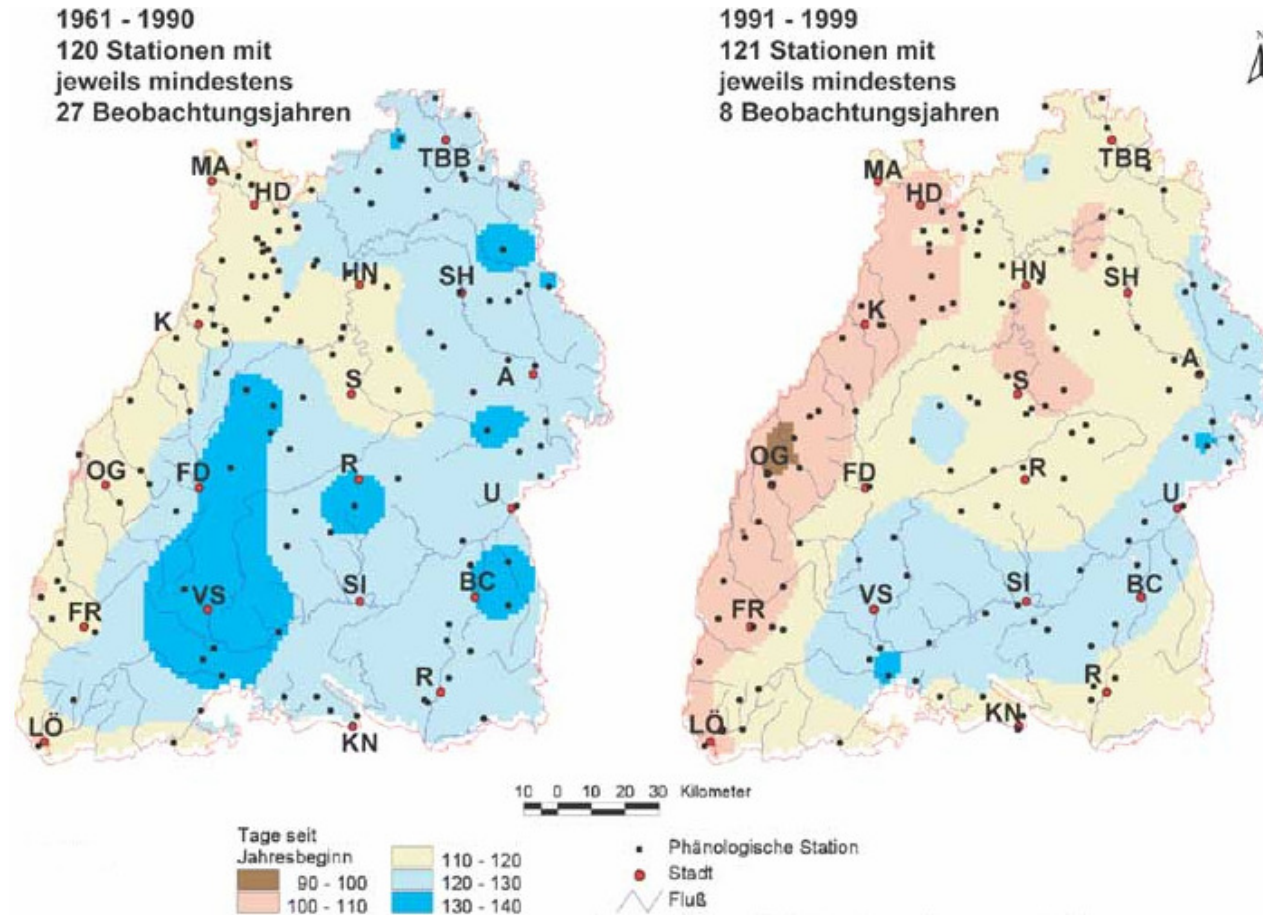


Beginn der Apfelblüte (Gebietsmittel von Deutschland)



Quelle: BMU 2007

Beginn der Apfelblüte in Baden-Württemberg



Quelle: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 2003



Artenverlust in Mitteleuropa aufgrund des Klimawandels

- -10 bis -30 Prozent weniger Arten in Europa;
- -5 bis -30 Prozent weniger Arten in Deutschland.

- Worst-case szenario:
 - bis 2080 werden 25 Prozent (Nordwestdeutschland) bzw. 50 Prozent (Süd- und Ostdeutschland) der Arten verloren sein (UBA 2005).





„Grundsätzlich gilt, je höher die genetische Vielfalt ist, desto eher ist die Anpassungsfähigkeit der Arten an sich verändernde Umweltbedingungen gegeben. Dies hat vor dem Hintergrund des bereits stattfindenden Klimawandels eine entscheidende Bedeutung“ (BMU 2007).





Dipl.-Geogr. Martin Lange

Auswirkungen von Klimawandel und
Landnutzungswandel auf die Biodiversität



Leibniz
Universität Hannover 
Institut für Umweltplanung 
Institute of Environmental Planning

Ökosysteme und Landnutzungen

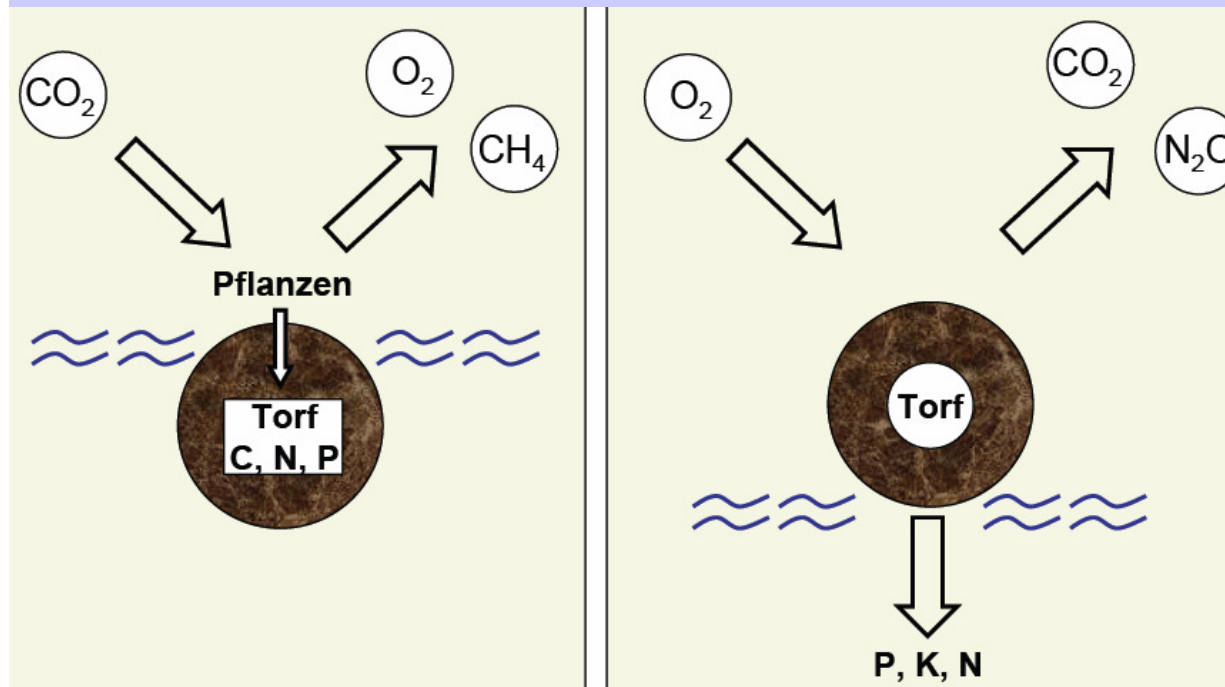
- die durch Landnutzungsänderungen entstehenden CO₂-Emissionen betragen 18 Prozent der globalen, jährlichen Treibhausgasemissionen;
- Ökosysteme sind sowohl Senke als auch Quelle von THGs;
- Bodenbearbeitung führt zu zunehmenden THG-Emissionen.



22.01.2008 Dessau| Slide 11

Stoffaustausch im wachsenden und entwässerten Moor

Deutschland ist mit einem Anteil von 12 Prozent der europaweit zweitgrößte Emittent von Treibhausgasen aus Mooren, obwohl hier nur 3,2 Prozent der europäischen Moore zu finden sind (Christensen & Friborg 2004).



Quelle: Joosten 2007

Gesamtemissionen aus der Landwirtschaft 2004

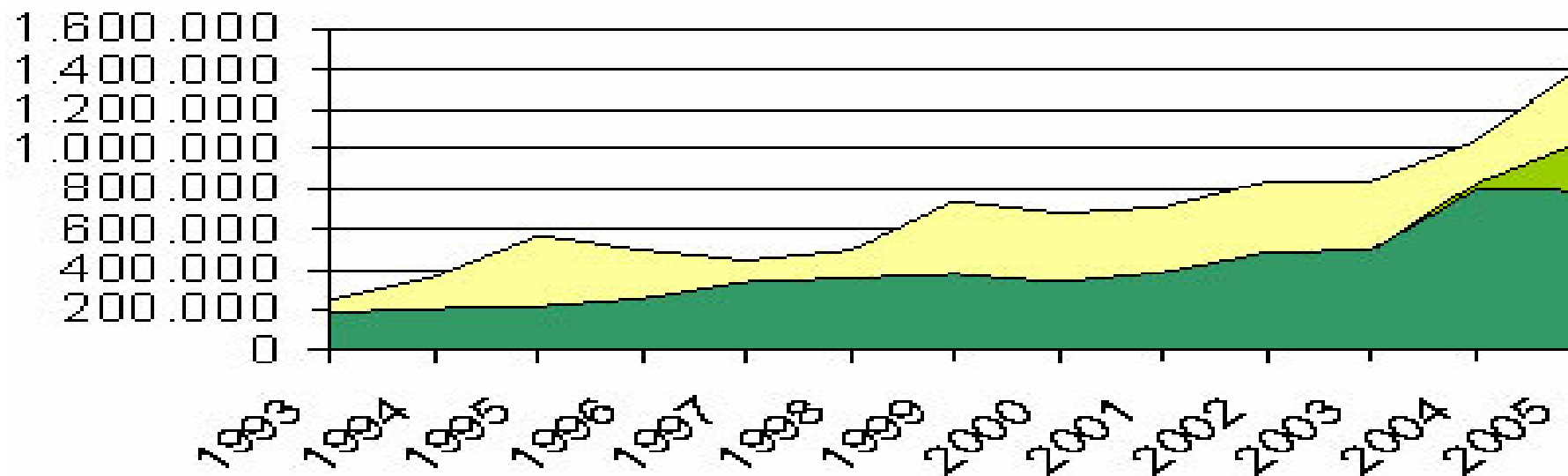
THG	Emissionsmenge [Gg]	THG-Potenzial [Gg CO₂- Äquivalen]	Anteil [%]
Lachgas (N ₂ O)	133	39.457	61,4
Methan (CH ₄)	1.102	25.338	49,3
Kohlendioxid (CO ₂)	48.219	48.219	5,4

Quelle: verändert nach Wegener et al. 2006



Entwicklung der Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe (in Hektar) unterteilt nach:

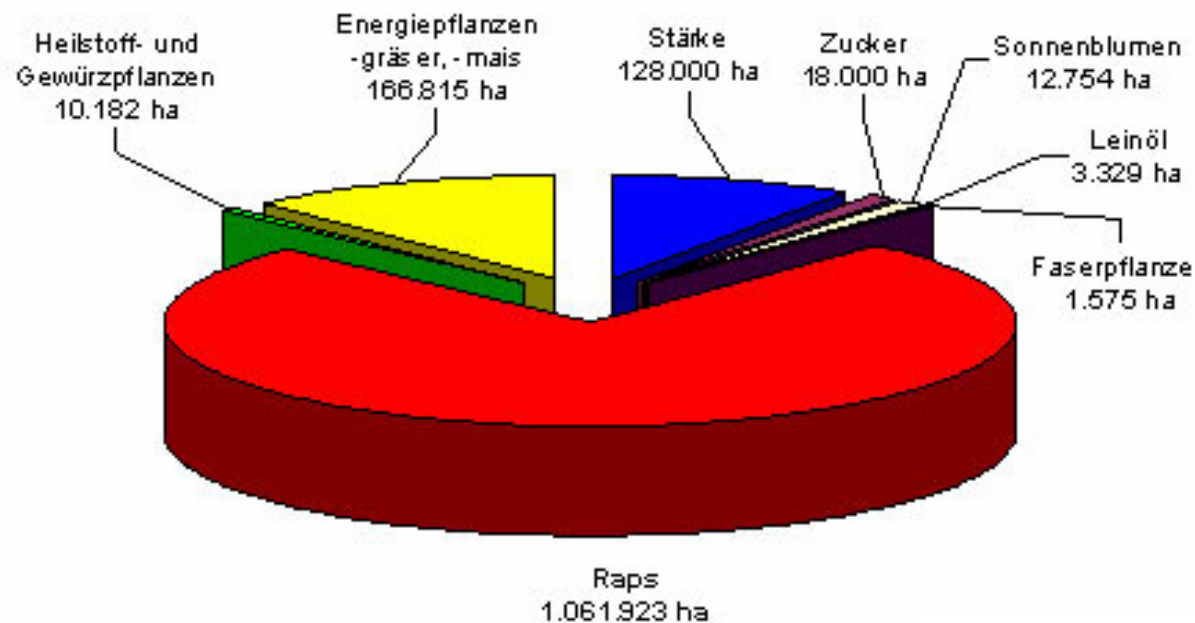
-  Anbau auf Stilllegungsflächen
-  Anbau auf nicht stillgelegten Flächen
-  Anbau mit Energiepflanzenprämie



Quelle: www.bmelv.de

Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2005

2005: 1.402.578 ha = 12 % der dt. Ackerfläche



Quelle: FNR 2005



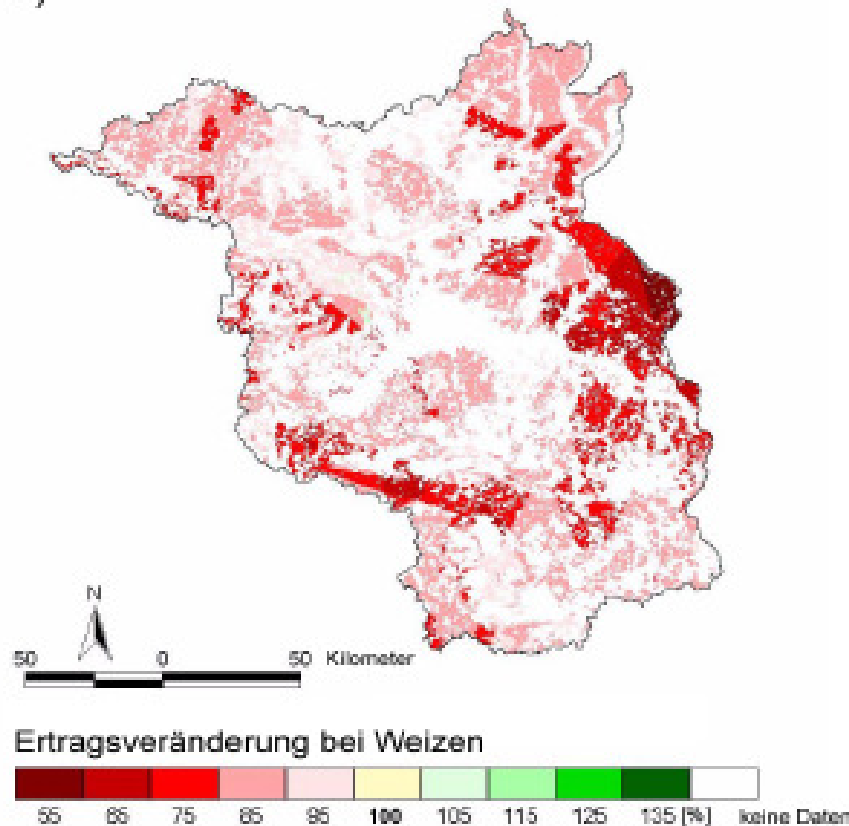
Zunahme der Maisanbaufläche für Biogas

- Anbaufläche von Energiemais hat sich in Deutschland vergrößert:
2005: 70.000 ha
2006: 162.000 ha
2007: Schätzungen zwischen 260.000 und 372.000 ha (Thoss 2007 bzw. Baumann 2007)
- Bei unveränderten Förderbedingungen ist mit einer Energiemaisfläche von 1,8 Mio. ha in Deutschland zu rechnen (Baumann 2007)
- Folgen von Maisanbau können sein: Erosion, Artenschwund, Wassermangel (u.a. Baumann 2007; Felke & Langenbruch 2005)

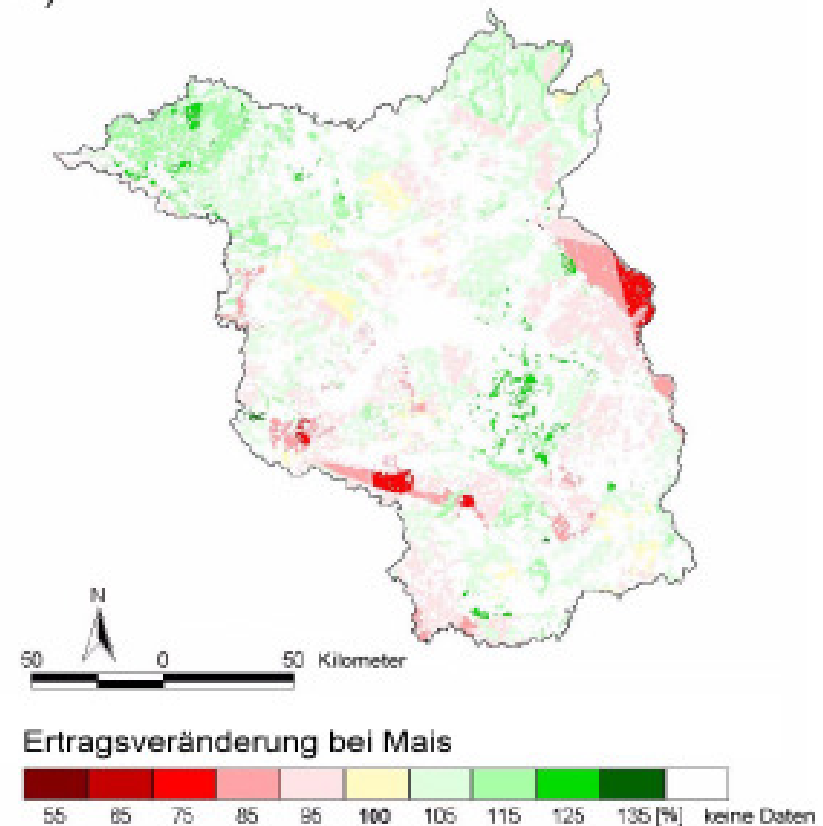


Relative Änderungen der durchschnittlichen potenziellen Erträge von Weizen und Mais in der Periode 2040-2050 gegenüber der Referenzperiode 1980-1990

a)



b)



Quelle: Gerstengarbe et al. 2003



Negative Auswirkungen des Anbaus von Mais

Treibhausgas-Emissionen:

- Im Vergleich zu anderen Kulturen geringer Kohlenstoffspeicher
- Flächengewinnung durch Grünlandumbruch

Biodiversität:

- Monokulturen, ohne Fruchtwechselfolge
- Gen-Mais (Bt-Mais)





Zusammenfassung Energiemais

- Steigende Erträge vom Mais bei/trotz Klimawandel – jedoch kann eine zusätzliche Bewässerung nötig werden;
- Zunehmende Flächeninanspruchnahme;
- Monokulturen und deren schädlicher Einfluss auf die Biodiversität;
- Treibhausgasbilanzen müssen erstellt werden.





Schlussfolgerungen für den Naturschutz

- Life-Cycle-Assessment für Maisproduktion;
- Einfluss auf den Wasserhaushalt unter Berücksichtigung des Klimawandels;
- Anpassungsfähigkeit der Arten erhöhen, Biodiversität stärken;
- Grünlandumbruch vermeiden;
- Moore „sinnvoll“ nutzen.





Der Argumentationspfaden „Treibhausgasbilanz“ kann neue, interessante Perspektiven für den Naturschutz erschließen!





Dipl.-Geogr. Martin Lange
Auswirkungen von Klimawandel und
Landnutzungswandel auf die Biodiversität



Leibniz
Universität Hannover 
Institut für Umweltplanung 
Institute of Environmental Planning

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Geogr. Martin Lange
lange@umwelt.uni-hannover.de

Institut für Umweltplanung
Universität Hannover
Herrenhäuser Straße 2
30419 Hannover
Tel.: (0511) 762 – 19219



22.01.2008 Dessau| Slide 22

Literatur

- Baumann, A. (2007): Biomasse und Biodiversität! Risiken und Chancen der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. (<http://baden-wuerttemberg.nabu.de/imperia/md/content/badenwuerttemberg/vortraege/34.pdf>)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. 180 S.
- Christensen, T.R., Friberg, T. (Hrsg.)(2004): EU Peatlands: Current Carbon Stocks and Trace Gas Fluxes. CarboEurope
- Felke, M., Langenbruch, G.-A. (2005): Auswirkungen des Pollens von transgenem Bt-Mais auf ausgewählte Schmetterlingslarven. BfN-Skript 157
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F., Werner, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung in Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam Institute for Climate Impact Research. Potsdam, PIK-Report 83. 77 Seiten
- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.)(2003): Umweltdaten 2003 Baden Württemberg. Stuttgart; <http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt2/umweltdaten2003/start.html>
- Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F.(2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138. Publikationen des Umweltbundesamtes.
- Thoss, Ch. (2007): Bioenergie und Biodiversität. Vortrag auf dem 2. Hessischen Naturschutzforum. <http://www.na-hessen.de/downloads/dvk2007thossbioenergiebiodiversitaet.pdf>
- UBA (Hrsg.) (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht 201 41 253
- UBA (2006a): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier. April 2006, aktualisiert im September 2006. Gefunden auf: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Klimaaenderungsworkshop.pdf>; Zugriff am 25.07.07
- Wegener, J., Lücke, W., Heinzemann, J. (2006): Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Agricultural Engineering Research 12, S. 103-114.

UBA-Workshop Dessau, 22./23.01.2008

Forum IV: Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien zum Thema
„Böden im Klimawandel“

Folgen der Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen im Bereich Boden
gemäß „Klimabericht Rheinland-Pfalz“

Dr. Josef Backes
Referent für Vorsorgenden Bodenschutz
Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Str. 1
55116 Mainz
E-Mail: Josef.Backes@mufv.rlp.de

Kurzfassung der Präsentation „Folgen der Klimaveränderungen und
Anpassungsoptionen im Bereich Boden gemäß „Klimabericht Rheinland-Pfalz“

In der Programmankündigung zum Forum IV: Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien zum Thema „Böden im Klimawandel“ wurde kein Titel für den Vortrag angeführt, um möglichst das in Vorbereitung befindliche Programm „KlimLand-RP = Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz“ darstellen zu können. Letztlich wurde das interdisziplinär und ressortübergreifend konzipierte Programm KlimLand-RP (www.klimlandrp.de) erst Anfang April 2008 durch Frau Umweltministerin Conrad offiziell vorgestellt. In KlimLand-RP werden die möglichen Auswirkungen des Klimawandels für die wesentlichen Umweltmedien und Nutzungen regionalspezifisch analysiert und bewertet um die daraus abzuleitenden Handlungserfordernisse und Maßnahmen aufzuzeigen. KlimLand-RP wird von 2008 bis 2011 in den Modulen Wasser, Boden, Forst, Landwirtschaft und Naturschutz die Auswirkungen regionalisierter Klimaprojektionen bearbeiten. Das Thema Boden nimmt dabei eine wichtige Funktion ein und liefert neben den bestimmenden Klimaprojektionen wichtige Daten für die flächendeckenden Nutzungen der Natur- und Kulturlandschaft. Das Projekt wird in einem Verbund interdisziplinärer wissenschaftlicher Institute unter Einbeziehung des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) durchgeführt. Das Thema Erosion stellt dabei im Modul Boden, wie bereits im Klimabericht RP dargestellt, den Arbeitsschwerpunkt dar. Eine Darstellung war deshalb im UBA-Workshop (vgl. auch beigelegte Powerpoint-Präsentation) noch nicht möglich.

Rheinland-Pfalz hat zu Ende 2007 den „Klimabericht des Landes Rheinland-Pfalz“ herausgegeben. In diesem werden in den Hauptkapiteln (vgl. Folie 4) die für Rheinland-Pfalz identifizierten maßgeblichen Faktoren des Klimawandels Temperaturen, Niederschläge, Extremniederschläge, Grundwasser, Abfluss, Vegetation, Artenzusammensetzung und Erosion sowie anschließend die spezifischen Folgen und Anpassungsoptionen beschrieben. Zum besseren Verständnis für die besondere Einschätzung der Bodenerosionsbetroffenheit für Rheinland-Pfalz wird in mehreren Folien von globalem Maßstab bis zu regional differenzierten Ergebnissen für Rheinland-Pfalz berichtet (Folie 5-7). Für globale Klimaprojektionen werden gemäß IPCC vier Szenarienfamilien mit Annahmen für die Emission von Treibhausgasen und Aerosolen unter Zugrundelegung von sozioökologischen und technologischen Entwicklungen der Gesellschaft genutzt. Bis ca. 2050 unterscheiden sich z.B. für den Parameter Temperaturverlauf die Auswirkungen der Szenarien nur unwesentlich, danach weisen diese eine große Spannweite auf. Um Aussagen für Rheinland-Pfalz - und sogar regionalisierte - treffen zu können, sind regionalisierte Klimamodelle und Klimaprognosen notwendig. Dazu sind die bekannten Klimamodelle mit zusätzlichen regionalen Klimafaktoren weiterzuentwickeln.

Auf Basis von Auswertungen des Klimamodells WETTREG (UBA, 2007) zeigen sich eine regional stark differenzierte Ausprägung der Niederschlagshöhe für Rheinland-Pfalz (vgl. Folie 7) sowie ein deutlicher Trend zu steigenden Winter- und reduzierten Sommerniederschlägen. Zusätzlich weist der KOSTRA-Atlas des DWD eine erhebliche Zunahme der Starkniederschläge auf. Nennenswerter Bodenabtrag findet aber insbesondere bei Starkregenereignissen statt. Infolgedessen wurde die Bodenerosion durch Wasser als ein gravierendes Problemfeld des Klimawandels identifiziert und hervorgehoben im Klimabericht Rheinland-Pfalz thematisiert.

Rheinland-Pfalz verfolgt dabei zwei sich ergänzende Ansätze:

1. Für flächendeckende Aussagen steht mit der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) eine bewährte Methode zur Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung zur Verfügung. Unter Festlegung von „Klimaprojektionen“ soll eine landesweite Ermittlung und Abschätzung der potentiellen Bodenerosion und Identifikation von Schwerpunkträumen erfolgen.

2. Im KLIWA-Verbundprojekt (Klimaveränderungen und Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft; www.kliwa.de) ist gemeinsam von den Ländern Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz eine Detailbetrachtung der Bodenerosion mittels komplexer regionaler Klimamodelle in kleinen Gebieten vorgesehen (vgl. Beitrag Dr. Dreher, BW).

Der Status-Quo zur potentiellen Bodenerosion für landwirtschaftliche Nutzflächen ist seit 2006 in einem Web-Kartenserver frei zugänglich (www.umweltatlas.rlp.de). Die die Erosion bestimmenden Faktoren der ABAG sind der Bodenerodierbarkeits- (K-), Hangneigungs- (S-) und Regenfaktor- (R-)(vgl. Folie 10). Das Arbeitsprogramm für den landesweiten Ansatz zur Bodenerosionsbearbeitung sieht deshalb die nachfolgenden Schritte vor:

- Fertigstellung landesweiter großmaßstäbiger K-Faktoren,
- Prognose regionalisierter R-Faktoren,
- Verfeinerung eines modifizierten LS-Faktors (Hangneigung und Reliefform, vgl. auch Folie 12)
- Identifikation von Erosionsschwerpunkten für die landwirtschaftliche Beratung und Empfehlung von Maßnahmen.

Die Bearbeitung erfolgt im Modul Boden von KlimLand RP durch das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz.

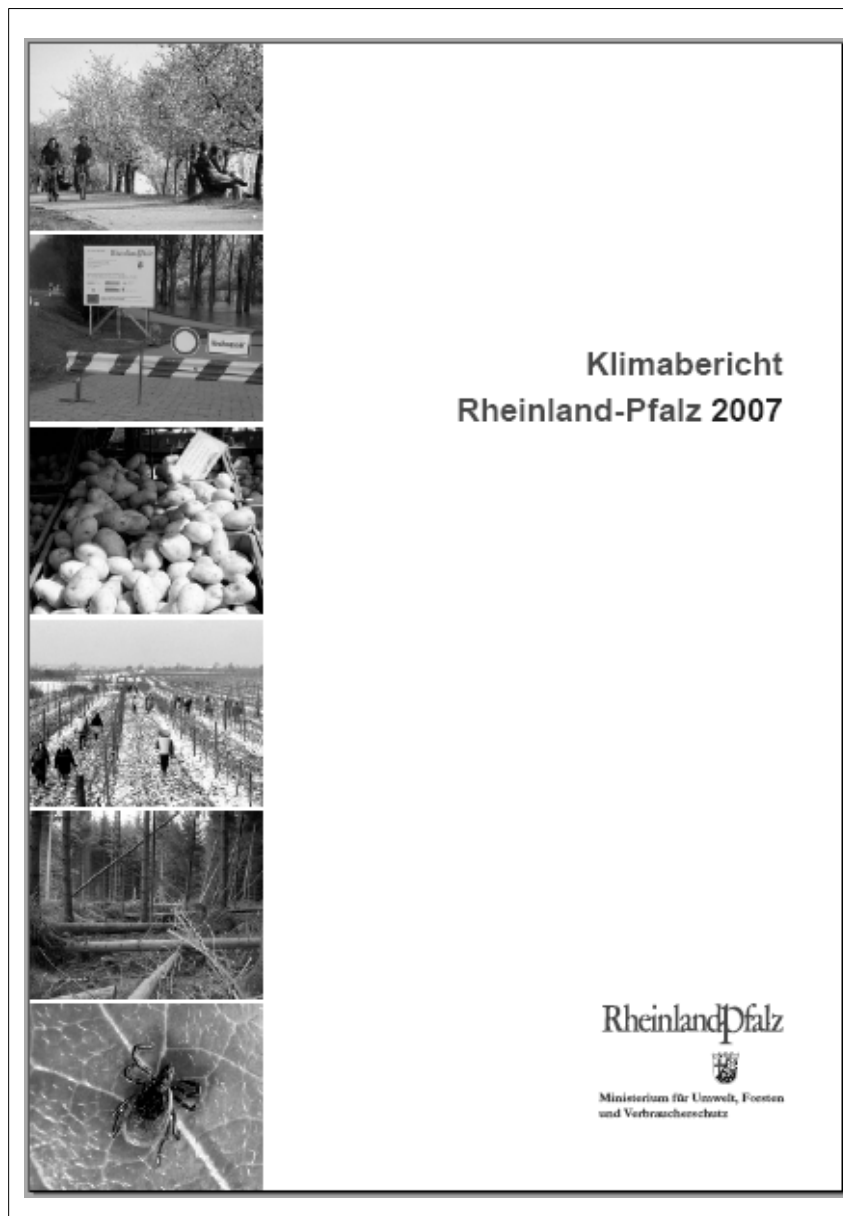
Forum IV: Maßnahmenkonzepte und Anpassungsstrategien zum Thema „Böden im Klimawandel“

Folgen der Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen im Bereich Boden gemäß „Klimabericht Rheinland-Pfalz“

Dr. Josef Backes
Referent für Vorsorgenden Bodenschutz
Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
UBA-Workshop Dessau, 22.01.2008



- Klimabericht Rheinland-Pfalz
 - Inhalte und Gliederung
 - Spezifische Folgen der Klimaveränderung und Anpassungsoptionen ausgewählter Bereiche
 - ⇒ Erosion
- Konkrete Umsetzung
 1. Landesweite Ermittlung der potentiellen Bodenerosion für verschiedene Klimaszenarien
 2. Detailbetrachtung im KLIWA-Verbundprojekt von BY, BW und RP
 - (siehe Beitrag Dr. Dreher, Herr Kohl, BW)



➤ Der Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007 der Landesregierung wurde im Dezember 2007 veröffentlicht

- Die 4 Ziele der Klima- und Energiepolitik sind:
- Klima schützen
 - Energie sichern
 - Energiekosten reduzieren
 - Arbeitsplätze schaffen

➤ als Download unter:
www.mufv.rlp.de

Klimabericht Rheinland-Pfalz - Inhalte und Gliederung

INHALTSVERZEICHNIS

Klimabericht Rheinland-Pfalz

1	Einführung und Berichtszweck	1
2	Ziele und Grundsätze der Klimapolitik	3
2.1	Rheinland-Pfalz	3
2.2	Bundesebene	17
3	Klimawandel und Folgen von Klimaveränderungen	19
3.1	Klimatische Situation in Rheinland-Pfalz	20
3.2	Klimawandel in Rheinland-Pfalz	21
3.2.1	Temperaturen	21
3.2.1.1.	Bioklimatische Belastungssituation in Rheinland-Pfalz	21
3.2.1.2.	Bereits beobachtete Temperaturänderungen	23
3.2.1.3.	Temperaturanstieg bis 2100	27
3.2.2	Niederschläge	32
3.2.2.1.	Niederschlagsverteilung in Rheinland-Pfalz	32
3.2.2.2.	Bereits beobachtete Niederschlagsänderungen	36
3.2.2.3.	Niederschlagsentwicklung bis 2100	41
3.2.3	Extremwetterereignisse	48
3.2.3.1.	Beobachtete Extremereignisse und Eintrittsveränderungen	48
3.2.3.2.	Prognose der Extremwetterentwicklung bis 2100	50
3.2.4	Grundwasser	52
3.2.4.1.	Grundwasserlandschaften und Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz	52
3.2.4.2.	Einfluss des Klimawandels auf das Grundwasser in Rheinland-Pfalz	55
3.2.5	Abfluss	56
3.2.5.1.	Hochwasserabfluss	58
3.2.5.2.	Überschwemmungsgebiete in Rheinland-Pfalz	61
3.2.6	Vegetation	64
3.2.6.1.	Pflanzenphänologie in Rheinland-Pfalz	64
3.2.6.2.	Einfluss des Klimawandels auf Obstgehölze	67
3.2.7	Artenzusammensetzung	67
3.2.7.1.	Beobachtete Populationsänderungen	67
3.2.7.2.	Gefährdungspotential für die Artenvielfalt	67
3.2.8	Erosion	69
3.2.8.1.	Erosionsgefährdung in Rheinland-Pfalz	69
3.2.8.2.	Einfluss des Klimawandels auf die Erosionsgefährdung	70
3.3	Allgemeine Folgen der Klimaveränderungen	71
3.3.1	Betroffene Bereiche (Sektoren) in Rheinland-Pfalz	71
3.3.2	Qualitative Wertung der Vulnerabilitäten der Bereiche (deutschlandweiter, regionaler Vergleich)	72

3.3.3	Umgang mit dem Klimawandel – vorsorgende Planung	74
3.4	Spezifische Folgen der Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen ausgewählter Bereiche	75
3.4.1	Wasserwirtschaft	75
3.4.2	Erosion und Bodenschutz	76
3.4.3	Forstwirtschaft	78
3.4.4	Landwirtschaft	84
3.4.5	Natur- und Artenschutz	89
3.4.6	Gesundheit	93
3.4.7	Raumordnung und Landesplanung	95

4	Zusammenfassung	97
----------	------------------------	-----------

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Literatur

Anhang



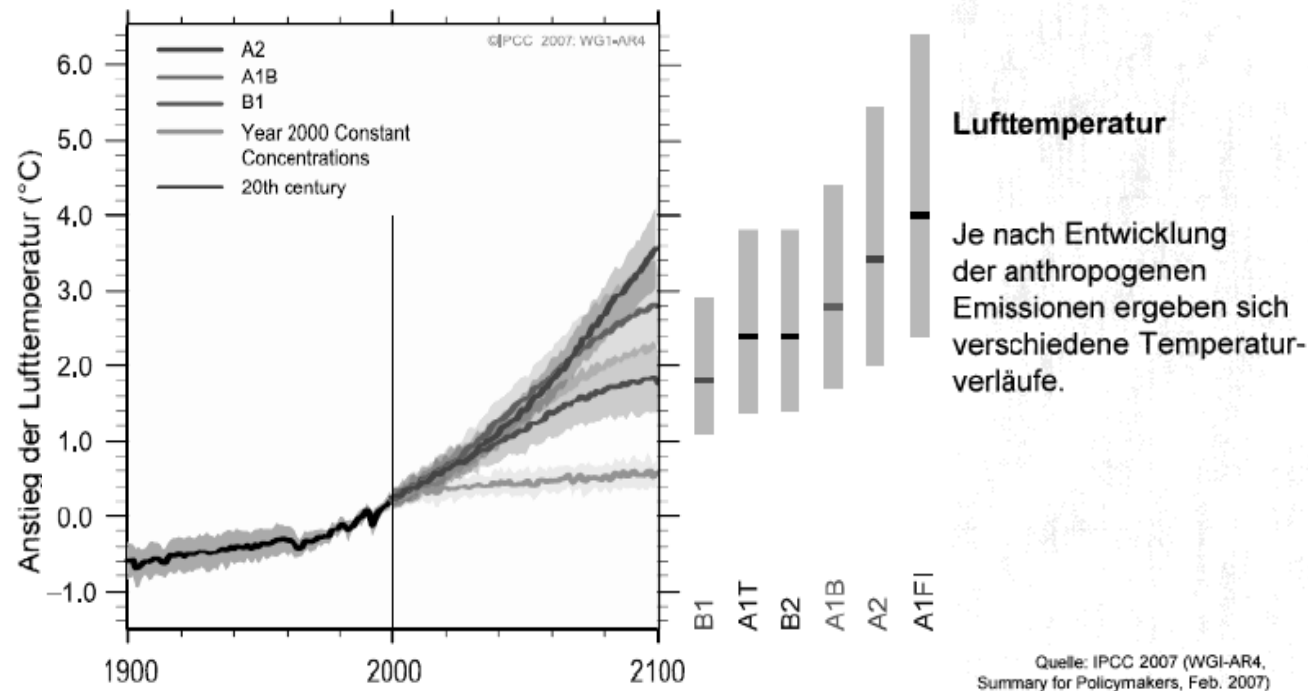
Das Vortragsthema Bodenerosion



Klima- und Emissionsszenarien (global und regional)



Globale Klimaprojektion bis 2100



Abteilung Klimaüberwachung

DWD 1/16/2008

Quelle: Klimatrends in Rheinland-Pfalz, Herr Müller-Westermeier, DWD

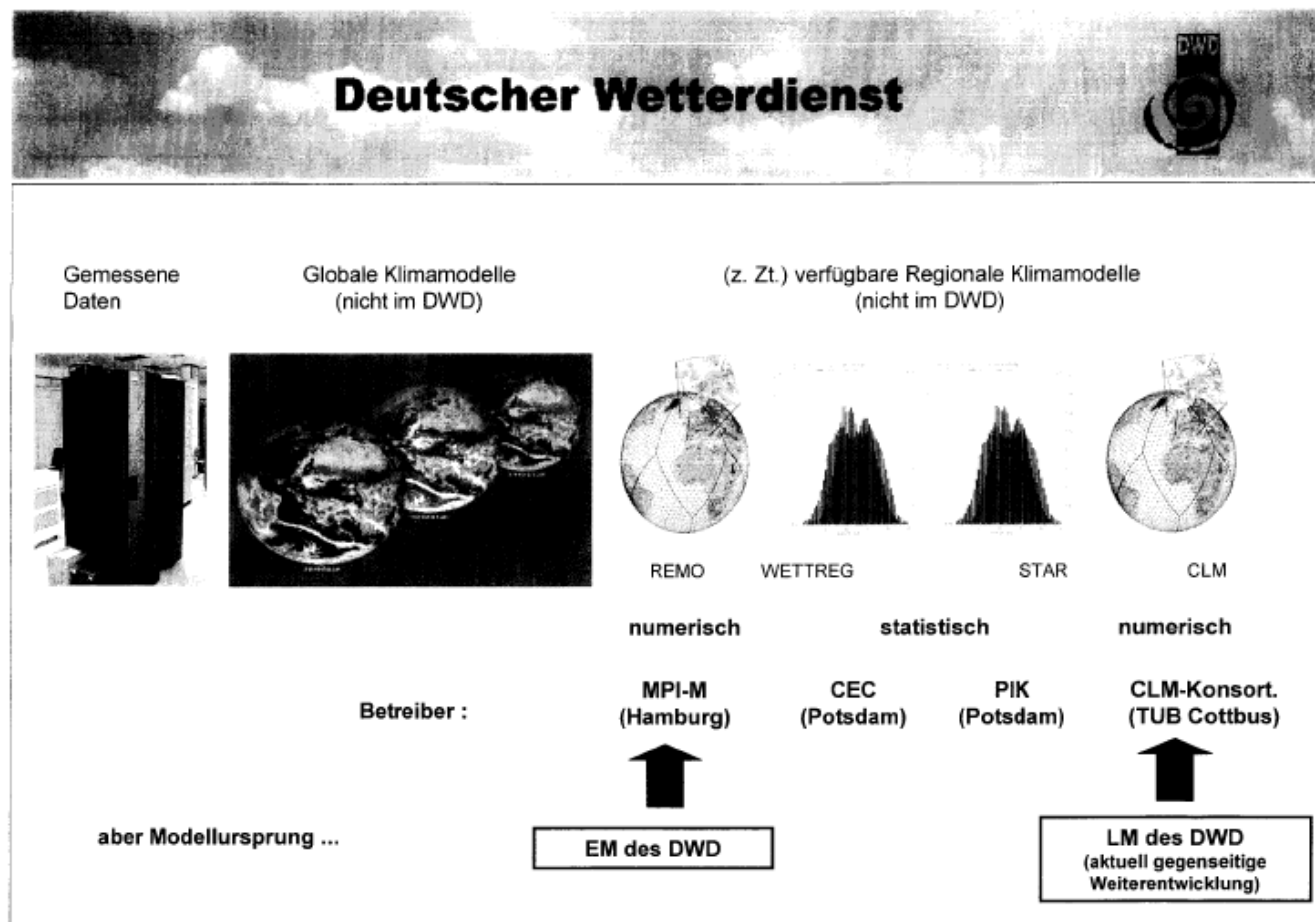
4 Szenarienfamilien mit Annahmen für Emission von Treibhausgasen und Aerosolen auf Basis der sozioökonomischen und technologischen Entwicklung der Gesellschaft.



Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz

Ref. 1075 a Vorsorgender Bodenschutz
Dr. Josef Backes

Klima- und Emissionsszenarien (global und regional)



Abteilung Klimaüberwachung

DWD 1/16/2008

Quelle: Klimatrends in Rheinland-Pfalz, Herr Müller-Westermeier, DWD

Es wird ein Bedarf an regionalen Klimamodellen gesehen. Diese nutzen die Ergebnisse der globalen Klimamodelle und berücksichtigen zusätzlich regionale Klimafaktoren.



Klimabericht Rheinland-Pfalz - Änderungen der Niederschlagsverteilung

3 Klimawandel und Folgen von Klimaveränderungen

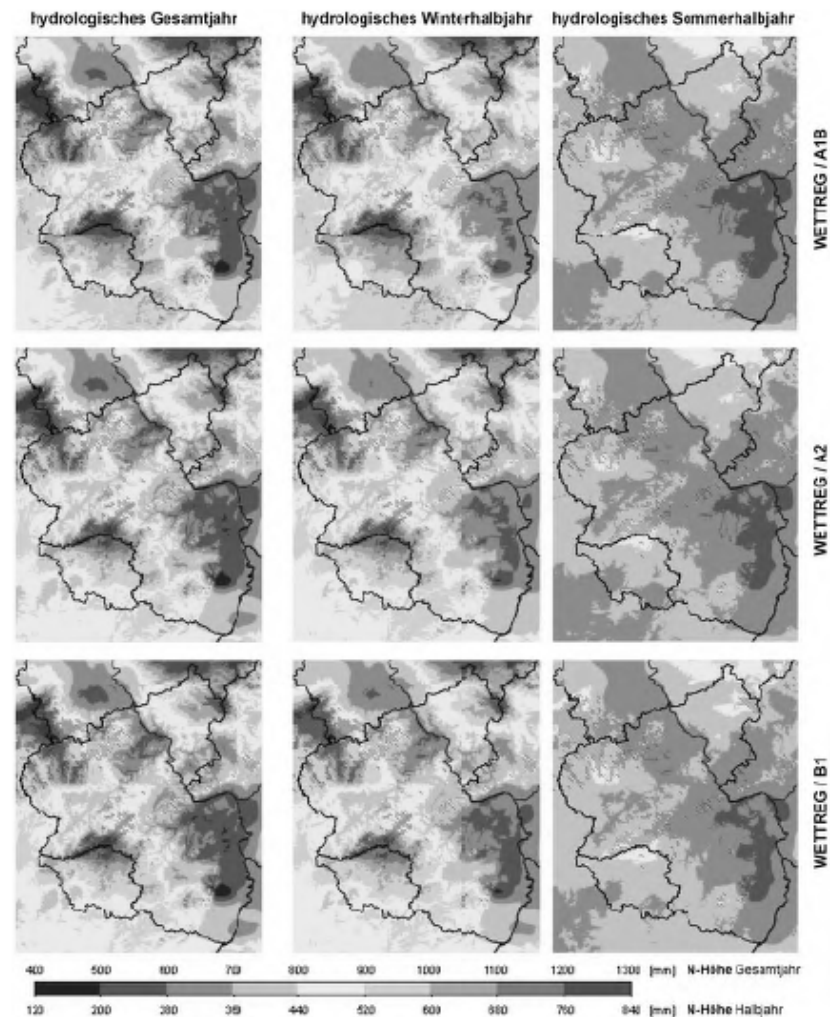


Abb. 3.18: Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Periode 2071-2100 (WETTREG; Mitt.) für A1B, A2 und B1

- Regional differenzierte Ausprägung der Niederschlagshöhe
- deutliche Trends:
 - steigende Winter-
 - reduzierte Sommer-Niederschlagshöhe
- Zunahme der Starkniederschlagshöhe (Kostra-Atlas des DWD)

- Einschätzung:
Nennenswerter Bodenabtrag erfolgt bei
Starkregen-Ereignissen
- Die potentielle Erosionsgefährdung läßt sich durch bodenkundliche Modellberechnungen flächendeckend für ackerbaulich genutzte Flächen ermitteln

- Aktueller Stand:
Frei zugänglich
über
www.Umweltatlas.rlp.de
www.lgb-rlp.de

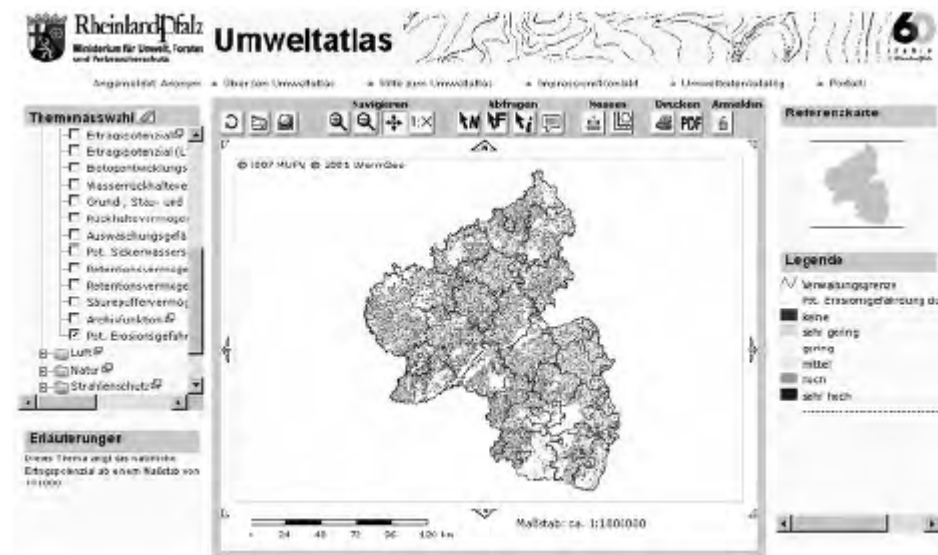


Abb. 3.31: ONLINE-Karte der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser

➤ Zwei parallel verfolgte Ansätze:

1. Landesweite Ermittlung / Abschätzung der potentiellen Bodenerosion für verschiedene „Klimaszenarien“ auf Basis der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) zur Identifizierung von Schwerpunkträumen
2. Detailbetrachtung im KLIWA-Verbundprojekt von BY, BW und RP mit Nutzung komplexer regionaler Klimamodelle in kleinen Gebieten (siehe Beitrag Dr. Dreher, Kohl, BW)

Landesweite Abschätzung der potentiellen Erosion über die „ABAG“

Potentielle Wassererosionsgefährdung = K- * S- * R- Faktor

Faktor	Erläuterung	Datenquelle	Faktorenermittlung
K-Faktor	Bodenerodierbarkeits-faktor	Folie 042 ALK (Klassenzeichen der Bodenschätzung)	Ableitung in Anlehnung an Schwertmann et al. (1990)/ DIN 19708
S-Faktor	Hangneigungsfaktor	Digitales Höhenmodell (<u>noch</u> 20•20 m Raster)	Berechnung nach DIN 19708
R-Faktor	Regenfaktor	Daten des Deutschen Wetterdienstes (1•1 km Raster)	Gemarkungsbezogene R-Faktoren wurden landesweit berechnet

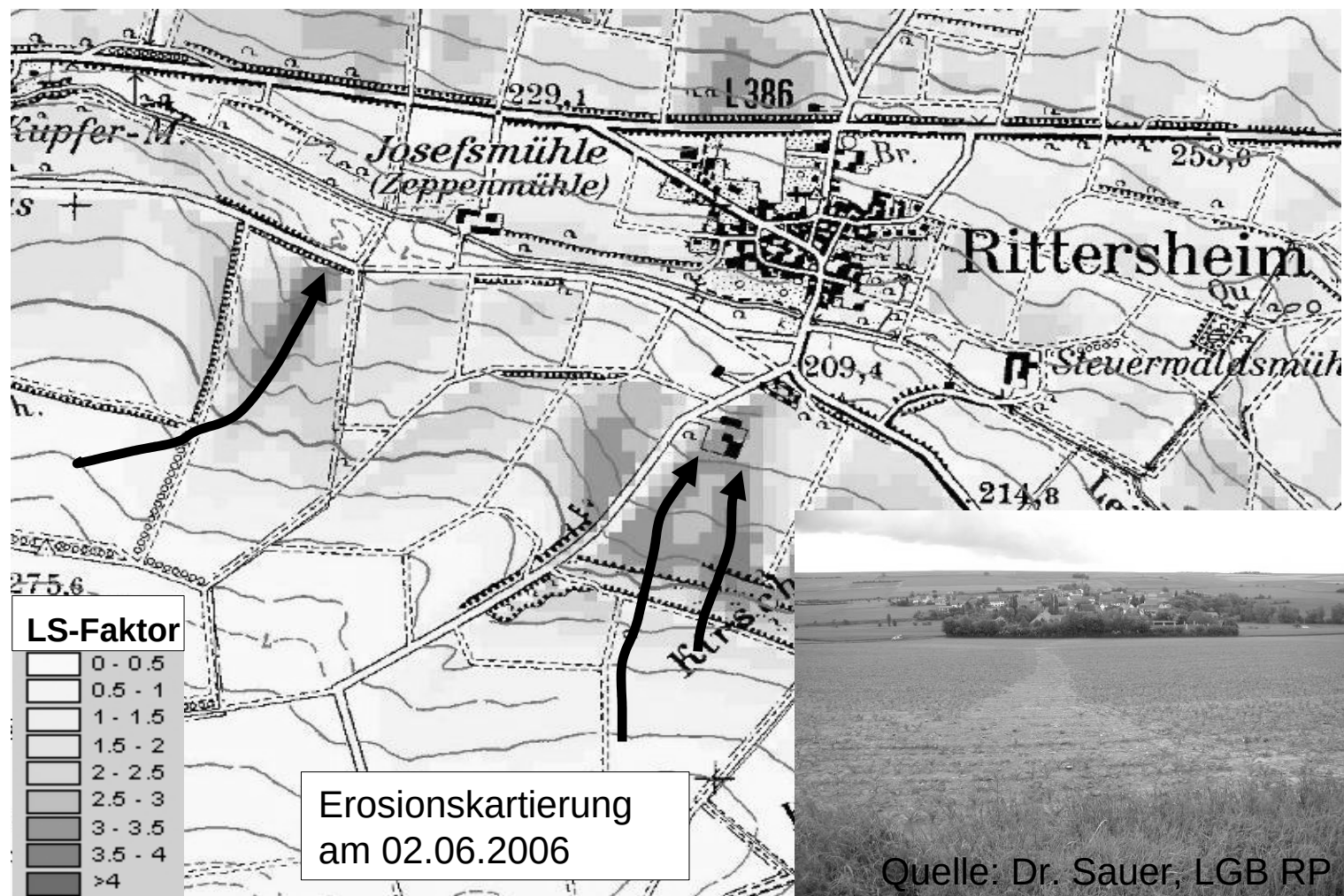
Durch Veränderung des R-Faktors („Szenarien“) lässt sich der Einfluss des Klimawandels auf die potentielle Erosionsgefährdung abschätzen.



Landesweite Abschätzung der potentiellen Erosion über die „ABAG“



Landesweite Abschätzung der potentiellen Erosion über die „ABAG“



Verfeinerung durch Berücksichtigung der tatsächlichen Fließwege
über einen modifizierten LS-Faktor (Hangneigung und Reliefform)



Interaktion und Synergien zwischen der Klimafolgeschätzung und laufenden Programmen und Analysen in Sachsen-Anhalt

Dr. sc. Dieter Feldhaus, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
(feldhaus@t-online.de)

1. Zusammenfassung

Sachsen-Anhalt hat großflächig Anteil am „Mitteldeutschen Trockengebiet“ in dem die Jahresniederschlagssumme unter 500 mm liegt. In Untersuchungen des UBA wird hier eines der vulnerablen Regionen Deutschlands definiert. Erste Prognoseergebnisse zum Wasserhaushalt zeigt deutliche Konsequenzen für die klimatische Wasserbilanz, die Grundwasserneubildung und die Wasserführung in Gewässern.

Ergebnisse, auf deren Grundlage Folgen für die unterschiedlichen betroffener Bereiche der Gesellschaft abgeschätzt werden können, benötigen Datengrundlagen und Prognoseinstrumente. Auf der Grundlage der Prognosen sind Bewertungen durchzuführen und Maßnahmen abzuleiten. Maßnahmen wiederum sind in ihrer Wirkung zu beurteilen, wofür Prognoseinstrumente erforderlich sind. Entsprechend der Komplexität der Aufgabe wurde in Sachsen-Anhalt eine ressortübergreifende Arbeitsgruppe gegründet. Durch diese Herangehensweise ergeben sich günstige Bedingungen Ergebnisse und Datengrundlagen, die für bereits laufende Programme, wie die EU Wasserrahmenrichtlinie und Cross Compliance entwickelt wurden, weiter zu nutzen.

2. Einführung

2.1. Bisherige klimatische Situation

Die Niederungen und vor allem die Lössbörden und Lösshügelländer Sachsen-Anhalts (GLA 1999) befinden sich unter dem Einfluss des Mitteldeutschen Trockengebietes. Dieses Gebiet ist durch Jahresniederschlagssummen um und kleiner 500 mm (DWD Klimareihe 1961 bis 1990, 1km Raster) geprägt. Hier befindet sich entsprechend auch, der mit 433,9 mm jährliche Niederschlagshöhe trockenste Ort Deutschlands (Müller-Westermeier, Czeplak 1998). Die geringen Niederschläge und weitere Klimaparameter führen dazu, dass die Klimatische Wasserbilanz, in weiten Teilen Sachsen-Anhalts negativ ist (Döring, Chudy 2000).

2.2. Tendenzen der Prognosen

Prognosen der Klimaentwicklung bis 2100 haben noch abweichende Aussagen, bestimmte Tendenzen (UBA 2005) können aber für eine Abschätzung der Folgen zu Grunde gelegt werden.

- Die Jahresmitteltemperatur wird um 2 bis 4 °C steigen
- Der mittlere Sommerniederschlag bleibt konstant oder nimmt geringfügig ab
- Der mittlere Winterniederschlag nimmt geringfügig zu oder bleibt gleich
- Der mittlere Jahresniederschlag bleibt konstant oder nimmt in den bereits vorhandenen Trockengebieten deutlich ab (Wrobel 2006, Gerstengrabe 2003)
- Trockenperioden und Extremniederschlagsereignisse nehmen im Sommerhalbjahr zu

3. Prognosen der Wirkung der Klimaänderung

3.1. Rolle des Bodens

Der Boden ist mit seinem Temperatur und Wasserhaushalt ein wichtiger Faktor bei der Klimaentwicklung (UBA 2005). Die Aufheizung des Bodens im Sommer und die

Wärmeabgabe im Winter sowie im Tagesverlauf wirkt ausgleichend (Meißner 2007). Die Verdunstung von Bodenwasser an der Bodenoberfläche und über die Pflanzen beeinflusst den Energiehaushalt der Atmosphäre (Smiatek 2008). Hitzeperioden sind deshalb besonders extrem und andauernd, wenn der Bodenwasservorrat bereits erschöpft ist (s. Abb. 2, Tab 1).

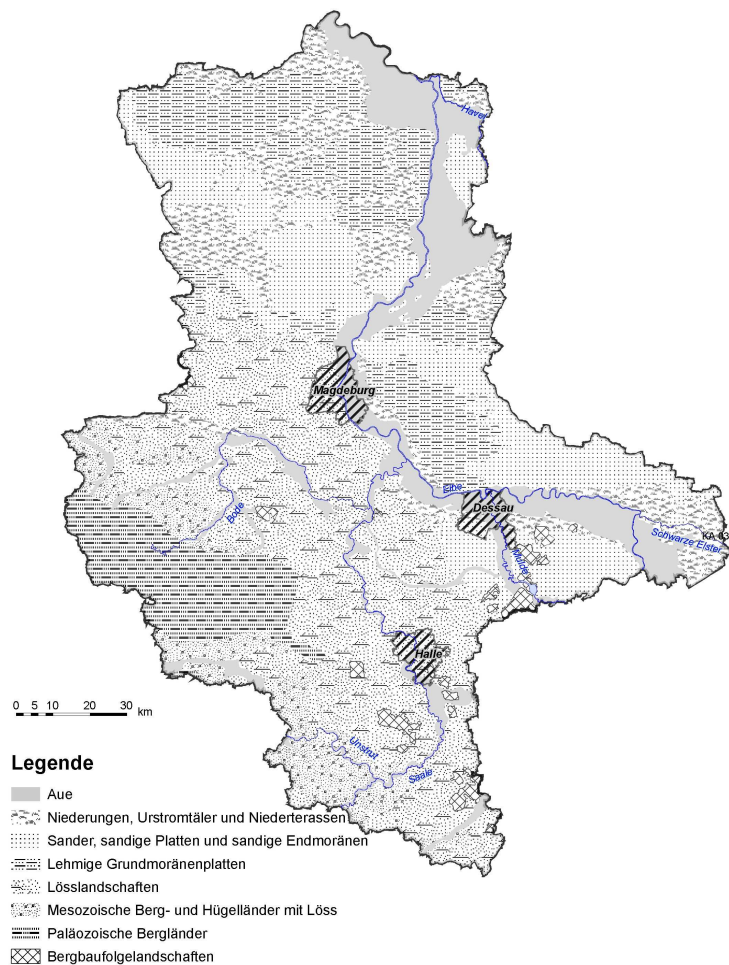


Abb. 2 Die Bodenbildungsbereiche Sachsens-Anhalts (Kainz, Fleischer 2006) zeigen eine bereits stark generalisierte Differenzierung von Bodeneigenschaften (s. a. Tab. 1), die sowohl in der Prognose der Klimadynamik als auch der Klimafolgen zu beachten ist.

Tab 1 Stark generalisierter Zusammenhang zwischen Bodenbildungsbereichen Sachsens-Anhalts und dem Bodenwasserdargebot für die Verdunstung der jeweils dominierenden Böden

Bodenbildungsbereiche	Wasserspeichervermögen
Aue	hoch
Niederungen, Urstromtäler und Niederterassen	hoch
Sander, sandige Platten und sandige Endmoränen	gering
Lehmige Grundmoränenplatten	mittel
Lösslandschaften	hoch
Mesozoische Berg- und Hügelländer mit Löss	mittel
Paläozoische Mittelgebirge und Bergländer	gering
Bergbaufolgelandschaften	Gering örtlich mittel

Über den Boden werden auch die Prozesse bestimmt, die zwischen Klima und Land- sowie Wasserwirtschaft vermitteln (s. Abb. 2). Während die für die Ertragsbildung erforderlichen Nährstoffe für die Kulturpflanzen heute durch Düngung gewährleistet werden, ist der Ertrag auf die Verfügbarkeit von Bodenwasser angewiesen. Die Sommerniederschläge allein sind in Sachsen-Anhalt bereits heute nicht ausreichend, um das aktuelle Ertragsniveau zu gewährleisten. Nur die Summe aus dem im Winterhalbjahr gespeicherten Niederschlag und

der Sommerniederschläge ermöglicht das Ertragsniveau, dass dementsprechend auf Lössböden mit einer hohen Speicherkapazität höher ist. Eine durch höhere Wintertemperaturen längere Vegetationsperiode und höhere Sommertemperaturen erhöhen die Evapotranspiration, was zu Ertragsausfällen führt, wenn der Wasservorrat nicht bis zur Erntereife reicht. Nach einer vollständigen Ausschöpfung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers wird durch die Winterniederschläge auf Lössböden der Bodenwasserspeicher häufig nicht mehr vollständig aufgefüllt. Damit steht für die folgende Vegetationsperiode entsprechend weniger Bodenwasser für die Vegetation zur Verfügung. Eine Situation die nach den Klimaprognosen häufiger wird.

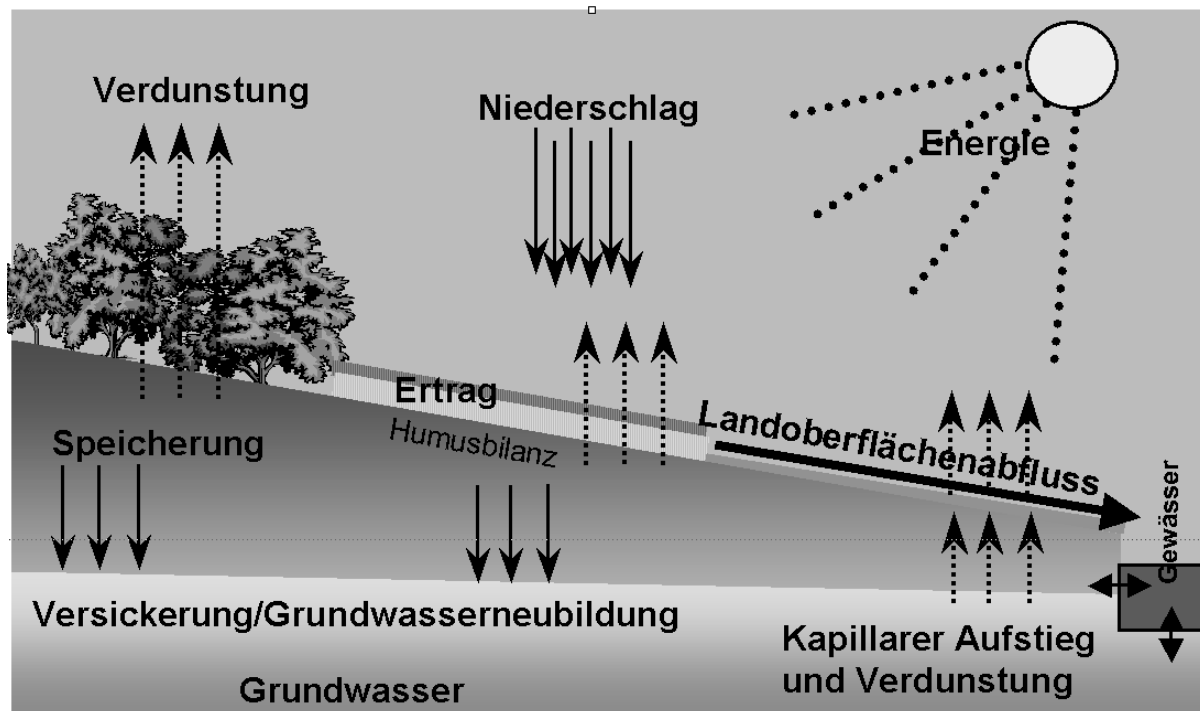


Abb. 2 Schematische Darstellung der Rolle des Bodens bei der Umverteilung und Nutzung von Niederschlagswasser und Sonnenenergie für die landwirtschaftliche Produktion und die Wasserwirtschaft.

Zur Versickerung (Grundwasserneubildung aus der Bodenzone) kommt es nur, wenn Niederschläge in der vegetationsfreien Zeit größer sind als die Wassermenge, die der Bodenspeicher aufnehmen kann. Dies ist bei Sandböden noch relativ regelmäßig der Fall. Bei tief durchwurzelbaren Lössböden mit einem hohen Speichervermögen dagegen finden Grundwasserneubildungsereignisse häufig mit mehrjährigen Unterbrechungen statt (Müller et al. 2001). Mit den prognostizierten Klimaveränderungen, die eine höhere Evapotranspiration verursachen, wird die Grundwasserneubildung aus der Bodenzone hier weiter abnehmen. Bei Zunahme der Winterniederschläge kommt es jedoch bei Böden mit geringerer Speicherkapazität für Niederschlagswasser und/oder geringerer Durchwurzelung zu einer häufigeren und stärkeren Grundwasserneubildung (Kayser 2002, Sauer 2002).

Die Abnahme oder Zunahme der Grundwasserneubildung verändert entsprechend der Bodeneigenschaften und der Nutzung den Gesamtabfluss aus einem Gewässereinzugsgebiet und damit die Wasserführung in den Fließgewässern (UBA 2005).

Bei Externiederschlagsereignissen, deren Zunahme prognostiziert wird, kann es zu Oberflächenabfluss kommen. Damit werden Niederschlagsanteile unmittelbar in die Vorflut verlagert und gehen für die Vegetation und/oder die Grundwasserneubildung verloren. Durch Oberflächenabfluss wird Erosion mit den bekannten Folgewirkungen verursacht.

Geringere Grundwasserneubildung (UBA 2005) hat sinkende Grundwasserstände zur Folge. Bisher vorhandene grundwasserbeeinflusste oder –bestimmte Böden werden häufiger oder dauerhaft trocken fallen. Damit ist eine Zersetzung der hier gespeicherten organischen Substanz (CO₂-Freisetzung) und die nachhaltige Veränderung des Bodens verbunden. Dies bedeutet zugleich den Verlust von Feuchtbiotopen.

Vegetationsfreie ausgetrocknete Böden und hohe Windgeschwindigkeiten werden häufiger zusammen auftreten und die Winderosion entsprechend an Schadpotential gewinnen (Olesen & Bindi, 2002).

3.2. Erste Ergebnisse

Die unter 3.1. genannten Zusammenhänge sind grundsätzlicher Art und zeigen thesenartig mögliche Entwicklungen der Situation in Sachsen-Anhalt auf, die vom Boden beeinflusst werden. Welche Bedeutung diese Entwicklungen in bestimmten Regionen Sachsens-Anhalts haben werden bleibt zu untersuchen. Erste Ergebnisse bestätigen aber eine Reihe von Annahmen.

Für Einzugsgebiete im mittleren und südlichen Lössgebiet ergeben Prognosen des Wasserhaushaltes (Wurbs 2005), dass sich die Grundwasserneubildung verringert und die Wasserführung der Gewässer im Schnitt um 60% verringern könnte (Abb. 2). Im Rahmen des GOWA-Elbe-Projektes (Sommer 2003) wurden in vergleichbaren Regionen Ertragsreduzierungen für die Landwirtschaft und Veränderungen der Grundwasserstände prognostiziert.

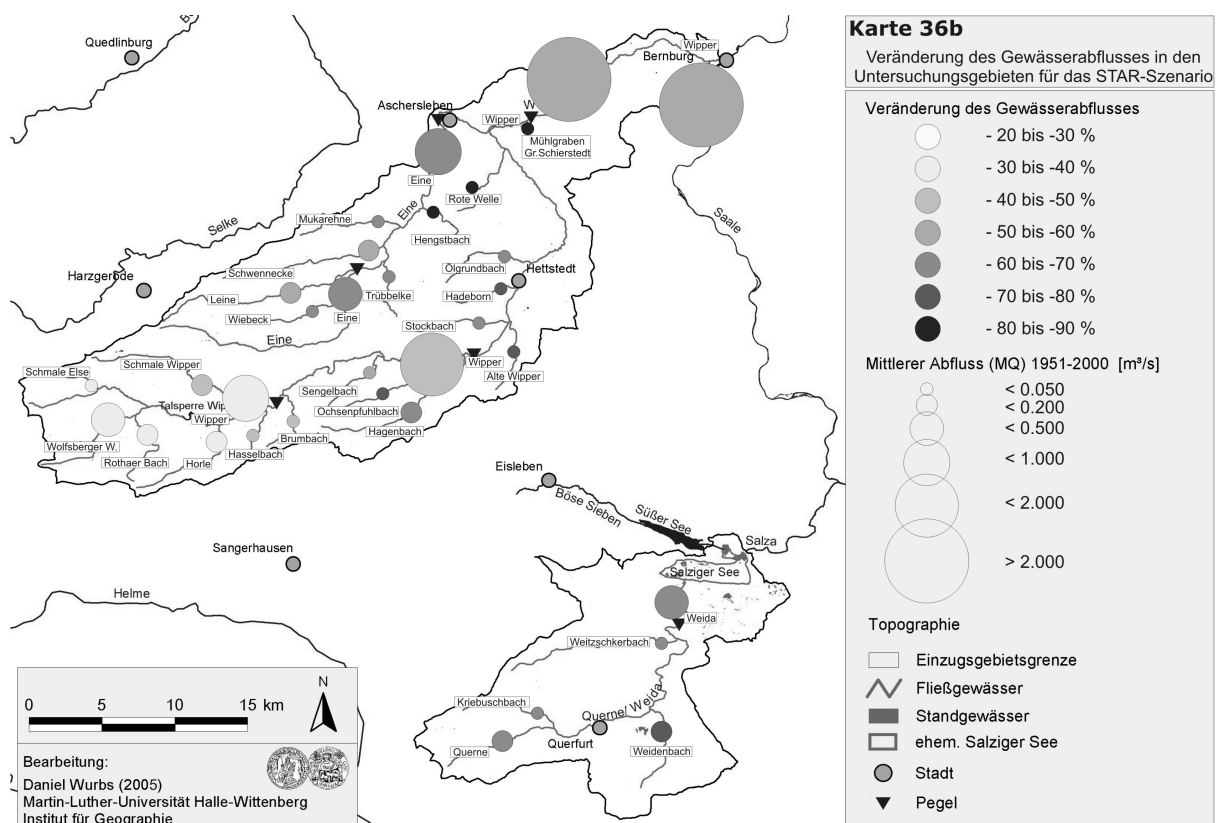


Abb. 2 Prognostizierte Veränderungen des Gewässerabflusses (Vergleichszeiträume 1951-2000 und 2001-2050) in 2 Einzugsgebieten im südlichen Sachsen-Anhalt (Wurbs 2005).

4. Voraussetzungen für weitergehende Betrachtungen

Während normalerweise das Erfordernis einer Maßnahmen zur Anpassung oder Gefahrenabwehr aus Beobachtungen abgeleitet wird, welche die Art und Bedeutung eines

Problems analysieren lassen, müssen Prognosen der Folgen des Klimawandels auf allen Ebenen der erforderlichen Informationen mit Prognosen arbeiten. Dies stellt sowohl an die Qualität und Aussagefähigkeit der Datengrundlagen als auch an die Prognoseinstrumente höchste Anforderungen.

Die Bereitstellung der erforderlichen Datengrundlagen, die Auswahl der Prognoseinstrumente und die Bewertung der Ergebnisse sowie die Auswahl von zweckdienlichen und ökonomisch realisierbaren Maßnahmen erfordert eine intensive und effektive fach- und ressortübergreifende Zusammenarbeit.

4.1. Datengrundlagen für Prognosen

Für die Prognose der Folgen des Klimawandels sind eine Vielzahl von Daten unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Gültigkeit erforderlich. Dabei muss im Wesentlichen mit den Daten gearbeitet werden, die bereits erhoben wurden und digital verfügbar sind. Diese Daten sind ggf. entsprechend der Aufgabe aufzubereiten. Generell sind Flächen und Punktdaten sowie Zeitreihen zu unterscheiden. Durch die Bearbeitung von Fragestellungen mit vergleichbarem Methodenspektrum, z. B. für die EU Wasserrahmenrichtlinie und für EU-Programme in der Landwirtschaft, sind Aufbereitungen und Ergebnisebenen verfügbar, die in Entwicklungsschritten der Klimafolgenprognose genutzt werden können. Der Stand der Verfügbarkeit relevanter Daten ist in Sachsen-Anhalt wie folgt:

- Flächendaten
 - o Bodeninformationen in 1:50.000 (Karte, Parametersätze)
 - o Geologische Karten 1:200.000, teilweise 1:50.000
 - o Hydrogeologische Karten 1:200.000, teilweise 1:50.000
 - o Höhenmodell 40x40 und 10x10-Meter-Raster (Hangneigung, Exposition, ...)
 - o Flächennutzung 1:10.000 (ATKIS, CIR-Luftbilder, Biotoptypenkarte, ...)
 - o Gebietskulissen (regionalisierte Bodenbearbeitungs- und Fruchtfolgeszenarien)
 - o Witterungsdatenraster DWD (1x1-Kilometer-Raster) (Zeitreihen)
 - o Abgrenzung Einzugsgebiete und Oberflächenwasserkörper
 - o Abgrenzung Grundwasserkörper
- Punktdaten
 - o Dauerbeobachtungsflächen (Boden, Bewirtschaftung, Dauerfeldversuche, BZE, Lysimeterstationen...) (Zeitreihen)
 - o Grundwassermonitoring (Zeitreihen)
 - o Grundwasser-Pegelmessnetz (Zeitreihen)
 - o Fließgewässerpegel-Pegelmessnetz (Zeitreihen)
 - o Messreihen der Wetterstationen (DWD und Forschungseinrichtungen) in zentraler Datenbank Sachsen-Anhalt

4.2. Prognoseinstrumente

Für wasserwirtschaftliche Fragen werden auch in Sachsen-Anhalt traditionell Bodenwasserhaushaltsmodelle eingesetzt, die mit den sich verbessernden Datengrundlagen und Modellsystemen zeitlich und räumlich höher auflösende Aussagen ermöglichen (Pfützner, B., Schwarze, R. 2001, Pfützner, B., Klöcking, B. 2007). Wesentliche Voraussetzung und Teil des Aufwandes von Prognosen ist die Überprüfung der Aussagegenauigkeit der Prognoseinstrumente anhand von Messreihen. Werden Prognoseinstrumente verwendet, die an Messreihen überprüft und/oder verifiziert wurden,

können hier wesentliche Synergien erzielt werden. Modellsysteme, die bisher in Sachsen-Anhalt eingesetzt und verifiziert wurden, wurden auch in Brandenburg (Lahmer 2006) und werden in Sachsen auch für die Prognosen verwendet und bieten sich entsprechend auch für Sachsen-Anhalt an.

5. Organisation der Bewertung der Klimafolgen in Sachsen-Anhalt

Vorteilhaft ist, dass im Land Sachsen-Anhalt mit einem durch die Arbeitsgruppe Klimawandel (MLU 2007) ressort- und fachübergreifenden Austausch von Informationen zu den Themenbereichen Klimawandel und Klimafolgen begonnen worden ist und Ergebnisse allen Akteuren unmittelbar zugänglich gemacht werden (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 2008). Eine der nächsten Aufgabe der AG besteht in der Entwicklung eines für die Behörden einheitlich strukturierten und integrierten Ansatzes für die Darstellung des Klimawandels und seiner Folgen in Sachsen-Anhalt. Durch Abstimmungen mit den wissenschaftlichen Einrichtungen, die in Sachsen-Anhalt auf diesem Gebiet forschen, sollen die Informationsflüsse gefördert und die Verfügbarkeit von Ergebnissen für die Arbeitsgruppen und das Land optimiert werden. Bei der Organisation der Bewertung der Klimafolgen werden die besondere Bedeutung des Klimawandels für Sachsen-Anhalt, die Aktivitäten in benachbarten Bundesländern und auf nationaler und internationaler Ebene sowie die effektive Nutzung der materiellen Möglichkeiten des Landes zu beachten sein.

Auch wenn Sachsen-Anhalt voraussichtlich keine eigenen Klimaprognosen entwickeln wird, zeigen aktuelle Probleme mit Lageverzerrungen der Darstellungen von Ergebnissen des REMO-Modells und die bisher unzureichende räumliche Auflösung der Modelle allgemein, dass hier eine Zusammenarbeit mit den Modellentwicklern erfolgen muss, in die von der Seite des Landes höher auflösende Daten und Regionale Erfahrungen eingebracht werden können und müssen.

6. Literatur

BMU - Bundesanstalt für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, (Eds.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Freiburg, Südbadische Mappenfabrik.

Döring, J., Th. Chudy (2000): Klassifizierung hydrometeorologischer Parameter für das Gebiet des Landes Sachsen-Anhalt auf der Basis digital vorliegender 1 x 1 km Netzdaten des DWD.- Bericht des Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (unveröff.)

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

GLA – Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt (1999): Bodenatlas Sachsen-Anhalt.- Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle (Saale)

Kainz, W., Fleischer, C. (2006): Böden in Sachsen-Anhalt.- In: Mitt. Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Bd. 11, S. 33 –53, Halle

Kayser, M. (2002): Aspekte zum Wasserhaushalt von Sandlössen im Mitteldeutschen Trockengebiet.- Techn. Univ. Berlin, Fakultät VII, Diss. http://edocs.tu-berlin.de/diss/2001/kayser_matthis.pdf

Lahmer, W. (2006): Auswirkungen von Klimaänderungen im Land Brandenburg auf Wasserhaushalt, Forst- und Landwirtschaft. UBA-Workshop „Klimaänderungen – Herausforderungen für den Bodenschutz“, Dessau 28./29. Sept. 2005. UBA-Texte 06/06: 31-54. Umweltbundesamt.

LAU - Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2008): Ressort- und fachübergreifende Arbeitsgruppe Klimawandel des Landes Sachsen-Anhalt (AG Klimawandel).- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich03/ag_klimawandel/main.htm

Meißner, R. (2007): Die Einsatzmöglichkeiten von Lysimeteruntersuchungen für die Klimafolgenforschung.- In: Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. SH1, S.60-67, Halle

MLU 2007 Arbeitsgruppe „Klimawandel“ legte ersten Zwischenbericht vor Wernicke: Regionale Klimaauswirkungen werden ab 2008 analysiert.- http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Elementbibliothek/Master-Bibliothek/Landwirtschaft_und_Umwelt/K/Klimaschutz/142_Klimawandel_-_18.12.2007.doc_neu.pdf

Müller, J.; Jorn, P.; Schumann, A. u. Schellin, H. (2001): Evapotranspirations- und Versickerungsverhalten sowie Häufigkeit von Bodendürren im Mitteldeutschen Trockengebiet unter Berücksichtigung von Substrat und Bewuchs. Klimastatusbericht 2001, DWD, Offenbach a.M., S. 258-267
<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/KSB/ksb01/index.htm>

Müller-Westermeier, G., Czeplak, G. (1998): Die Witterung in Deutschland.- Klimastatusbericht DWD 1998,
<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/KSB/ksb98/index.htm>

Olesen, J.E., Bindi, M. (2002): Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy, 16, 239-262.

Pfützner, B., Klöcking, B. (2007): Modellgestützte Ermittlung von Abflusskomponenten für Wasserkörper des Landes Sachsen-Anhalt.- Bericht, Büro für Angewandte Hydrologie Berlin, im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (unveröff.)

Pfützner, B., Schwarze, R. (2001): Bestimmung der Grundwasserneubildung für das Land Sachsen-Anhalt auf Grundlage des Verfahrens Bagrov/Glugla.- Bericht des Büro für Angewandte Hydrologie Berlin im Auftrag des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (unveröff.), Halle

Sauer, S., Haußmann, W., Harrach, T. (2002): Effektive Durchwurzelungstiefe, Sickerwasserbildung und Nitratverlagerung in tiefgründigen Lößböden eines Trockengebietes. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 165 (3), S. 249-374, Wiley-VCH, Weinheim

Smiatek, G (2008): Bodenphysikalische Parameter als Eingangsgrößen in die Klimamodellierung. UBA-Bericht (**Daten für dieses Heft ergänzen**)

Sommer, Th. (2003): Die Wirkung des Globalen Wandels im Unstruteinzugsgebiet. Teilprojekt 3, Unstrut (BMBF Förderprojekt 07 GWK 03)

UBA - Umweltbundesamt (2005): Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme.- UBA-FB 000844, 203 S., Dessau

Wrobel, M. (2006): Climate diagrams for observational and scenario data.- http://www.pik-potsdam.de/institute/organization/scientific-departments/data-computation/sdm/tools/CDG/index_html?set_language=de

Wurbs, D. (2005): Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten.- Diss., Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, FG Geographie, Halle
http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/05/06H007/of_index.htm

KLIWA-Verbundprojekt der Länder
Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz
mit dem DWD

Einfluss regional zunehmender Starkregenereignisse auf die Bodenerosionsgefährdung

Raimund Kohl, LUBW
Dr. Peter Dreher, Umweltministerium B-W



Baden-Württemberg

■■■■ Förderprogramm **KLIWA**,

Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft

Ein Kooperationsvorhaben der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz (2007) mit dem Deutschen Wetterdienst seit dem Jahr 1999

Bisherige Projektziele

- Auswirkungen der regionalen Klimaänderung auf den Wasserhaushalt feststellen
- Ableitung von Konsequenzen und wasserwirtschaftlichen Handlungsempfehlungen

Neu: „Boden“ als weiteres Themenfeld

- „Offene Türen“ bei der Wasserwirtschaft, Boden als zentrale Steuergröße
- Keine Kollision mit der Landwirtschaft (KLIWA)
- Großer Erfahrungs- und Datenbestand für das Thema „Boden“ vorhanden

KLIMAVERÄNDERUNG UND KONSEQUENZEN FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFT - Projektrahmen

Bereich Ö: Öffentlichkeitsarbeit

Bereich A:
Ermittlung bisheriger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushalts

Bereich B:
Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt

Bereich C:
Auswertung ausgewählter klimarelevanter Messgrößen (Klimamonitoring)

Bereich D:
Entwicklung nachhaltiger wasserwirtschaftlicher Vorsorgekonzepte

A 1
Teil Klima/
Meteorologie

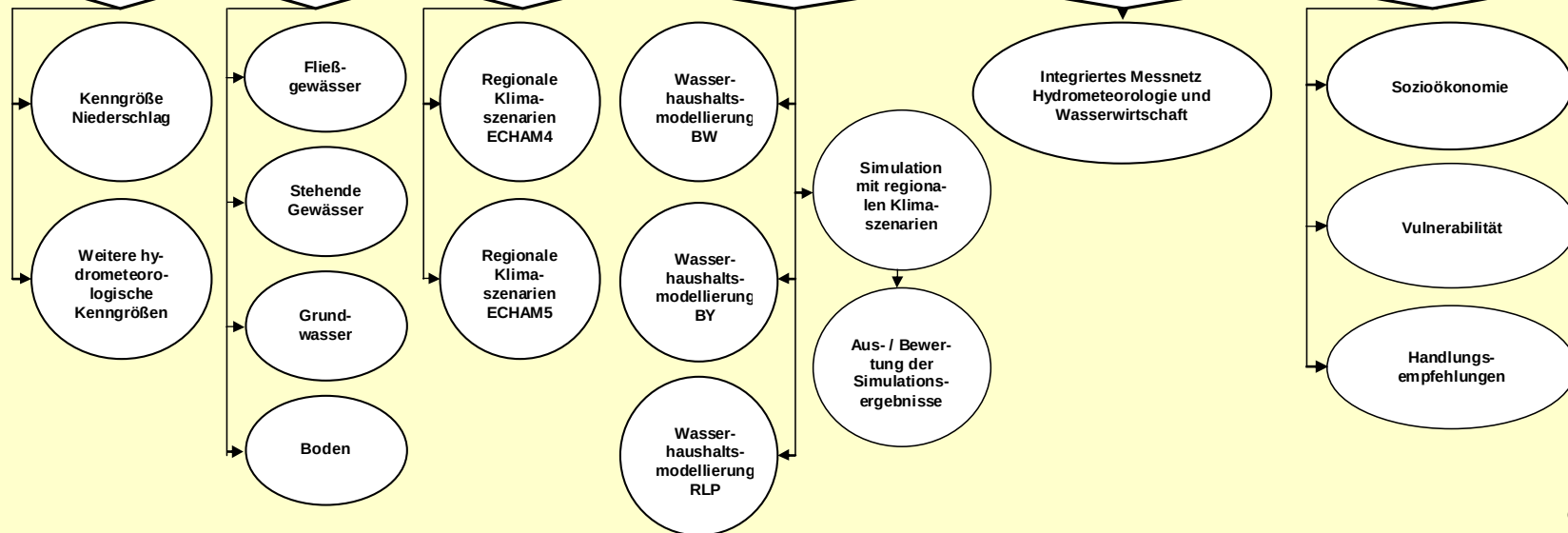
A 2
Teil Wasser/
Boden

B 1
Teil Klima/
Meteorologie

B 2
Teil Wasser/Boden

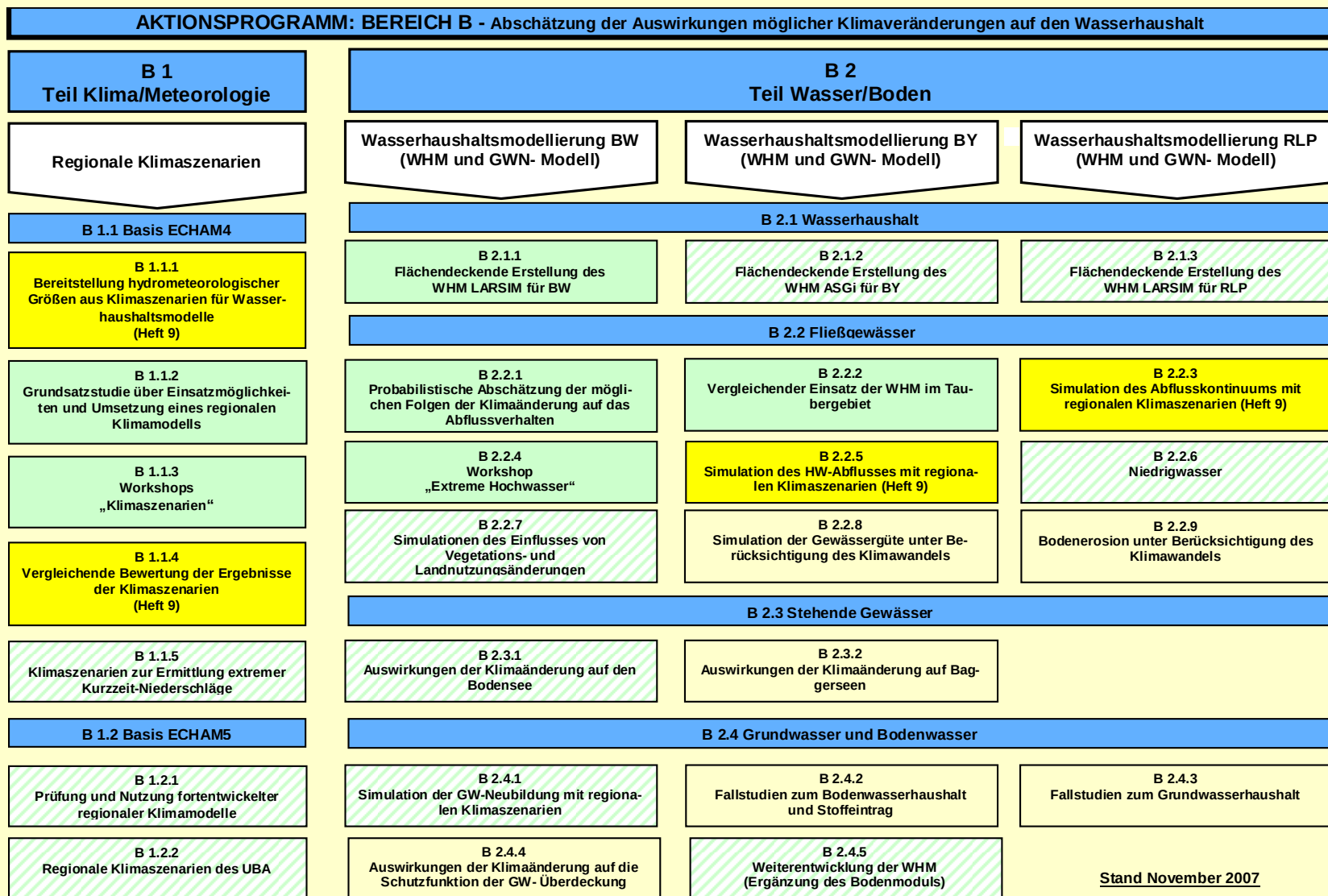
C
Teil Klima/Meteorologie
und Teil Wasser/Boden

D
Teil Klima/Meteorologie
und Teil Wasser/Boden



Anlage 1

Stand November 2007

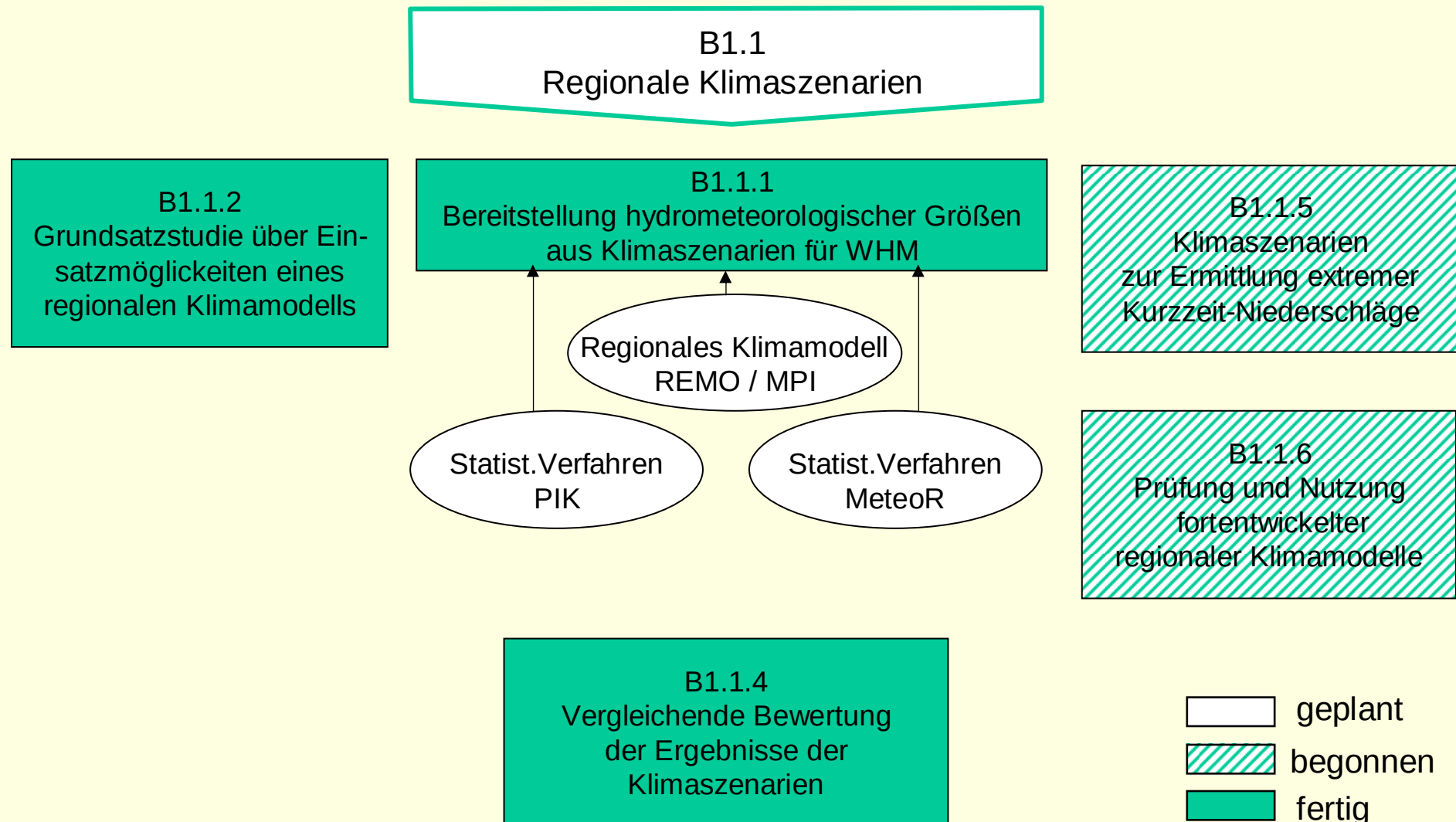


Stand November 2007

Anlage 3

Projektbereich B: Abschätzung künftiger Veränderungen

Teil B1: Klima / Meteorologie

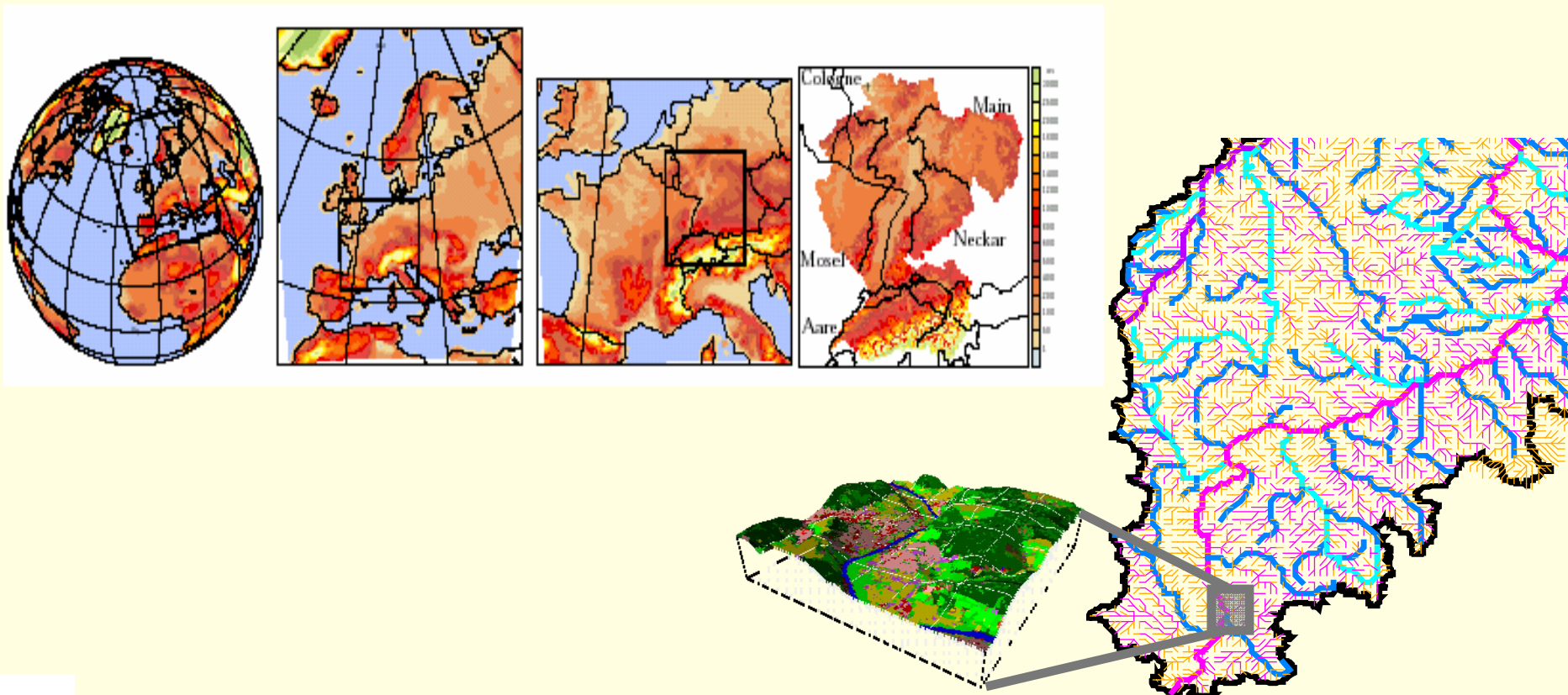


Bereich B: Prognose bis 2050



Auswirkungen auf den Wasserhaushalt mittels Modellkette:

Globales Klimamodell – regionales Klimamodell - Wasserhaushaltsmodell

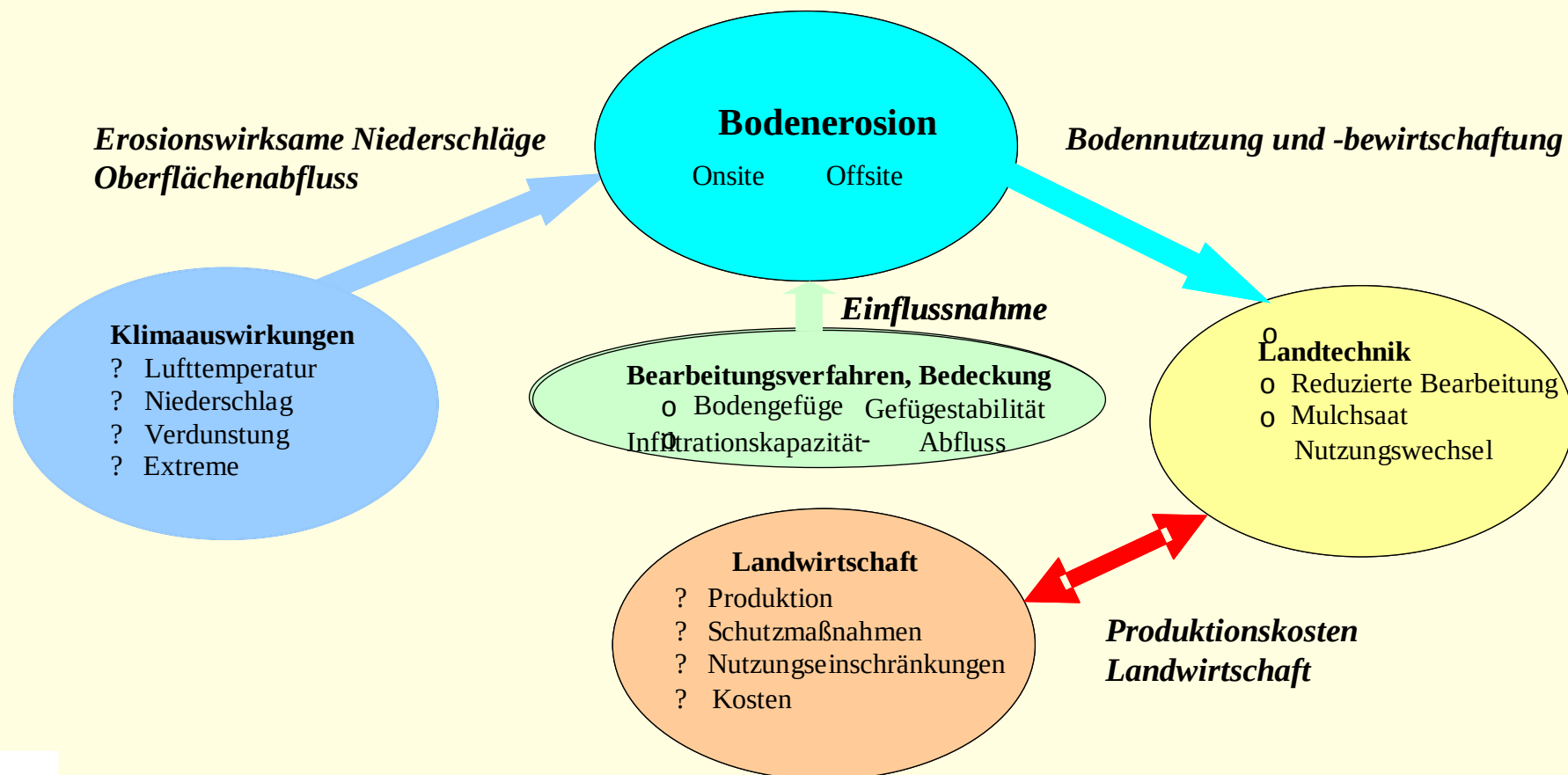


Förderprogramm KLIWA

- **Neues Vorhaben:**
Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge der Klimaveränderung
 - Veränderung des Erosionspotenzials (Prognose)
 - Veränderung der betroffenen Böden und deren Leistungsfähigkeit (Bewertung)
 - Folgen für den Landschaftswasserhaushalt (Wasserwirtschaft)
 - Ausblick: ggf. thematische Weiterentwicklung: Folgen für andere Bodenfunktionen
 - Produktion
 - Wärmespeicher/-puffer
 - CO₂- Sequestrierung

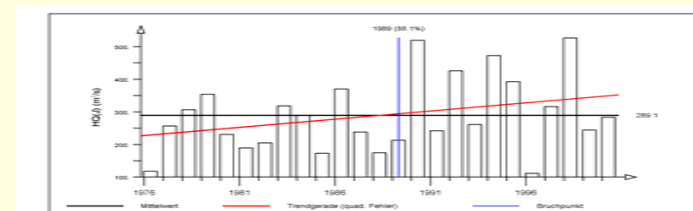
Wirkungskette:

Klimawirkungen – Bodenerosion – Bodenbewirtschaftung – Landwirtschaft,
Umweltgüter

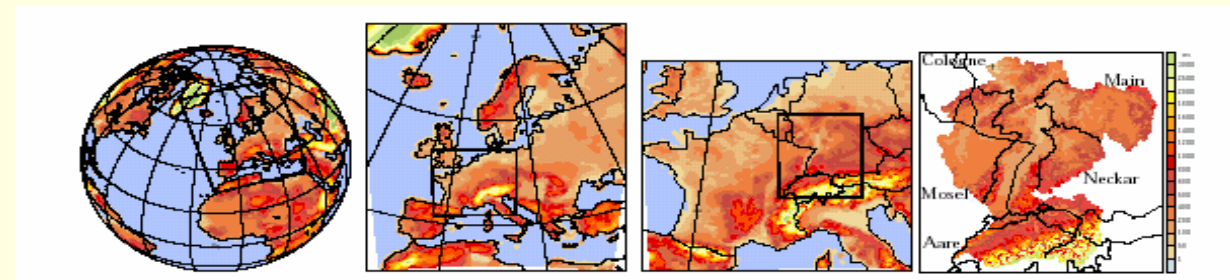


Projektgliederung

1 Retrospektive



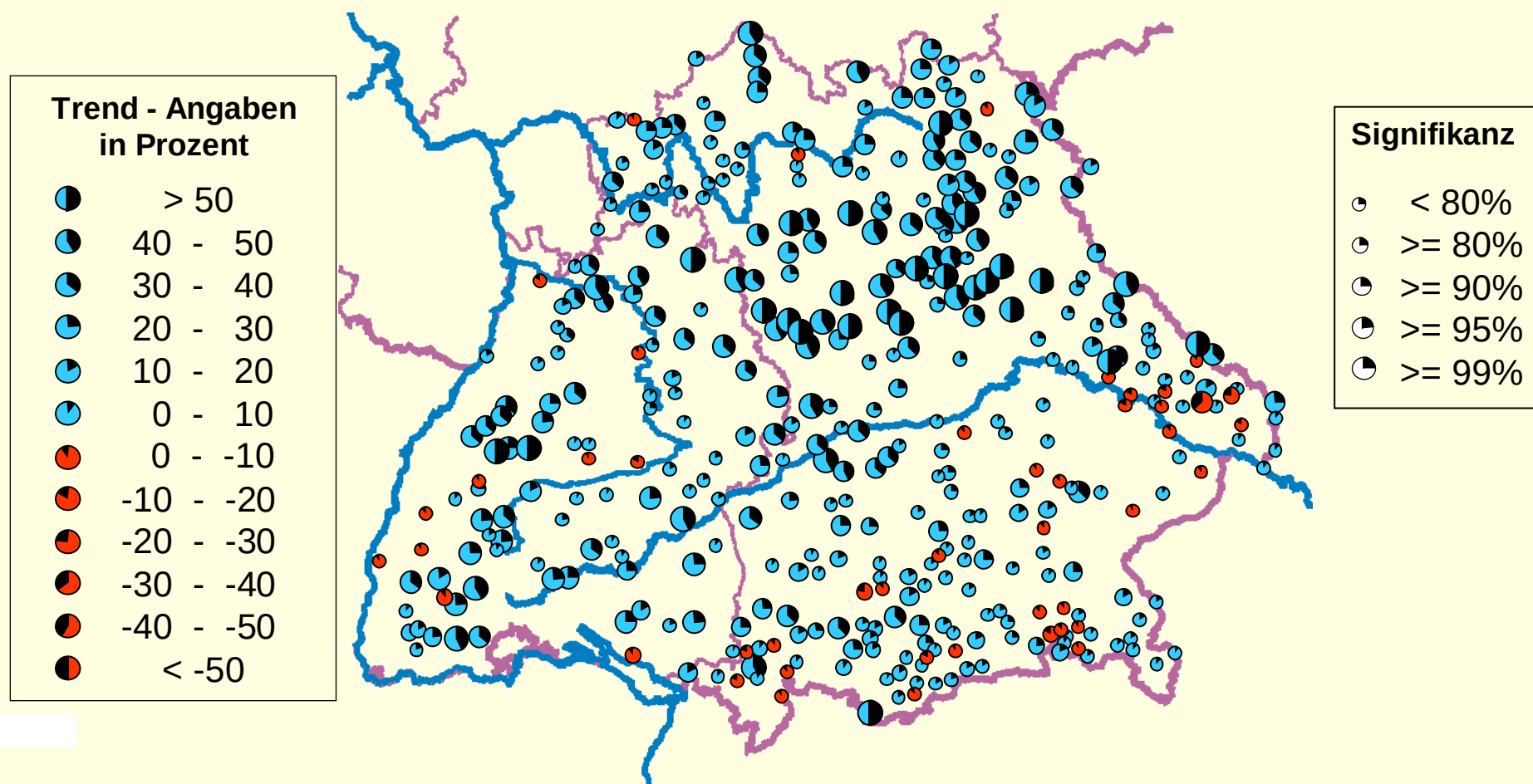
2 Prognose



3 Handlungsempfehlungen



Zunahme der Starkniederschläge im Winter (Okt. bis April) → R-Faktor

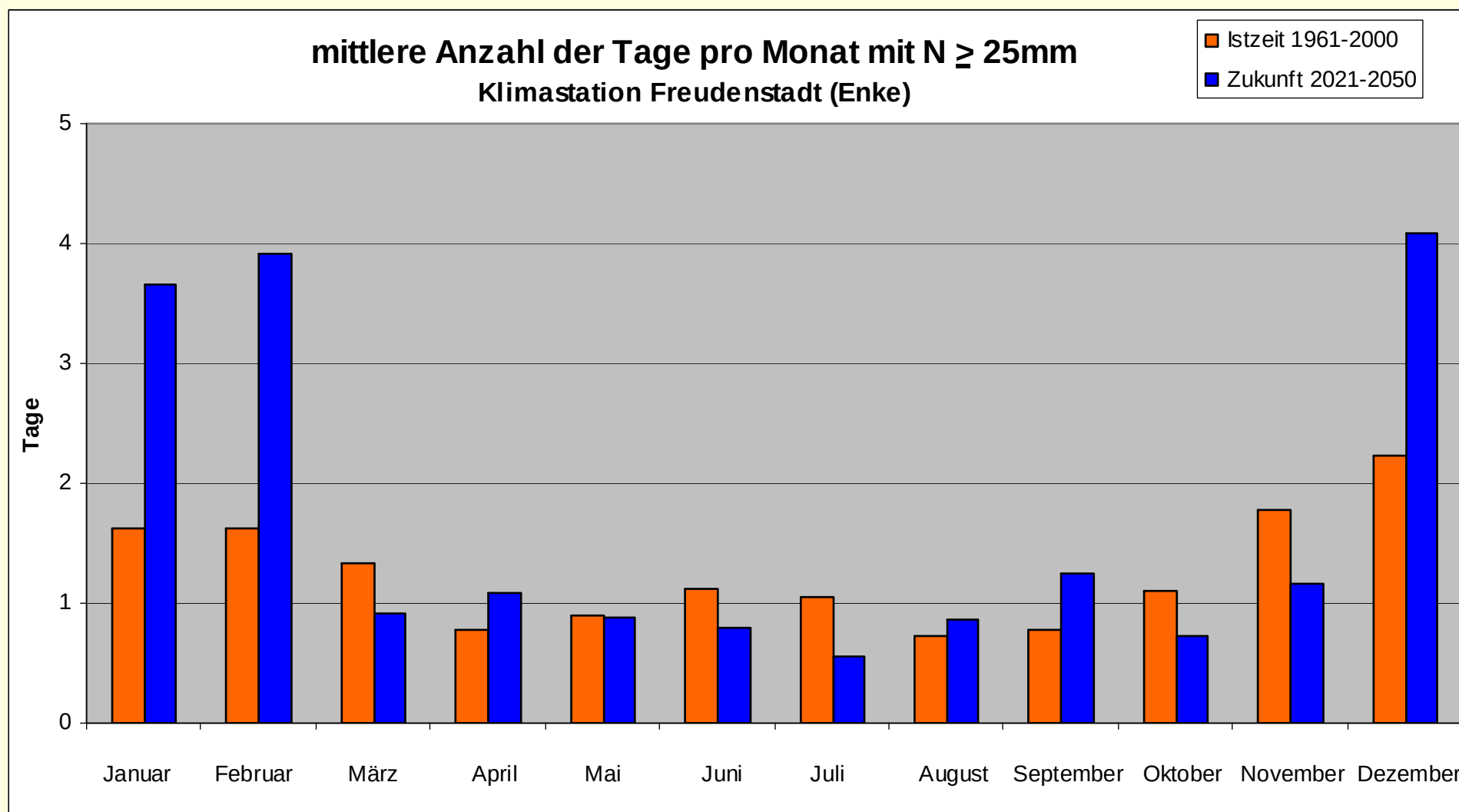


Bodenerosion *Retrospektive*

Veränderung des Bodenerosionspotentials in der Vergangenheit

- Trenduntersuchungen extremer Niederschlagsereignisse in BW und BY (KLIWA-Bericht, Heft 8)
- Trendanalyse des R-Faktors bzw. Bodenabtragpotentials z.B. für den Betrachtungszeitraum 1931-2000

KLIWA Prognose

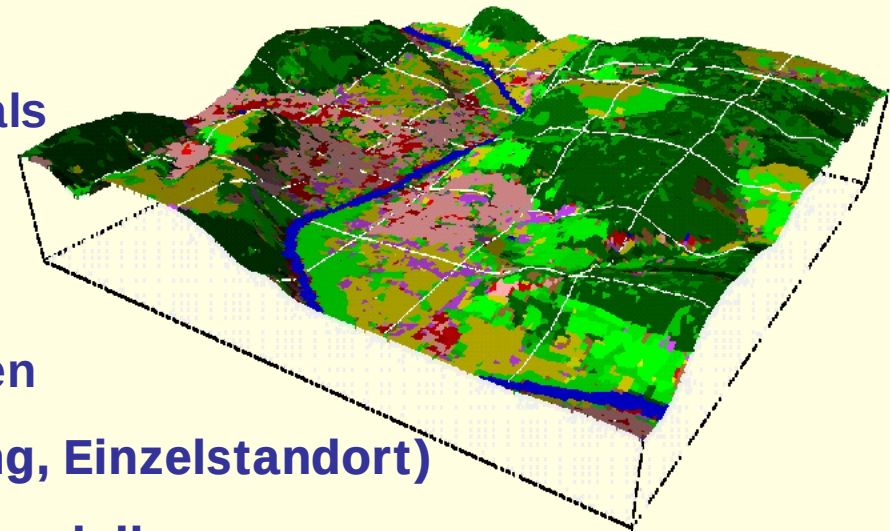


Bodenerosion *Prognose*

A. Ist-Analyse (Aktueller Bodenabtrag) als
Vergleichsbasis für die Prognose

B. Zukunftsszenarien

- Betrachtungszeitraum für die Szenarien
- Modellräume (Regionale Betrachtung, Einzelstandort)
- Auswahl geeigneter Bodenerosionsmodelle
- Verfügbarkeit gebietsbezogener Boden- und Standortkennwerte als Input-Daten (Hangneigung aus DGM, Bodenart aus ALB ...)
- Auswahl geeigneter regionaler Klimaszenarien
- Räumliche und zeitliche Auflösung der Niederschlagsdaten



Bodenerosion Handlungsempfehlungen

Anpassungsstrategie

Kernfrage:

Umgang mit einer Situation, die erst in einigen Jahrzehnten in vollem Umfang auftritt und mit Unsicherheiten behaftet ist

Welche Auswirkungen ergeben sich für die Handlungsfelder:

1. Cross Compliance Erosionsschutzanforderungen
2. Risikogebiete nach E-EU-BRRL (WRRL)
3. Bodenschutzfachrecht
 - Vorsorge §17 BBodSchG, GfP
 - Gefahrenabwehr, §8 BBodSchV

Projektdesign , Arbeitsprogramm

Teil I: Konzeptstudie mit Fokus auf die Analyse vorhandener
Klimaprognosedaten sowie von Erosionsmodellen (BW, BY, RP)

Teil II: (Mitwirkung weiterer Länder erwünscht)

- Ist-Analyse der Niederschlagsdaten als Vergleichsbasis für den
Zukunftszeitraum,
- Trendanalyse, retrospektivisch
- Erosionsmodellierung bei ausgewählten Standorten BW, BY, RP
mit variierenden Klimadatensätzen -> Bodenabtragsszenarien
- Bewertung des prognostizierten Erosionsrisikos
- Anpassungsstrategien, Schutzmaßnahmen (Landwirtschaft)

Forum IV:

Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt – Ziele und Handlungsfelder mit Bezug zum Boden

Matthias Herbert
Bundesamt für Naturschutz,
Abteilungsleiter
Landschaftsplanung

Workshop „Böden im
Klimawandel – Was tun ?!“
22. Januar 2008



Das BfN berät

Das BfN fördert

Das BfN setzt um

Das BfN informiert



Vortragsgliederung

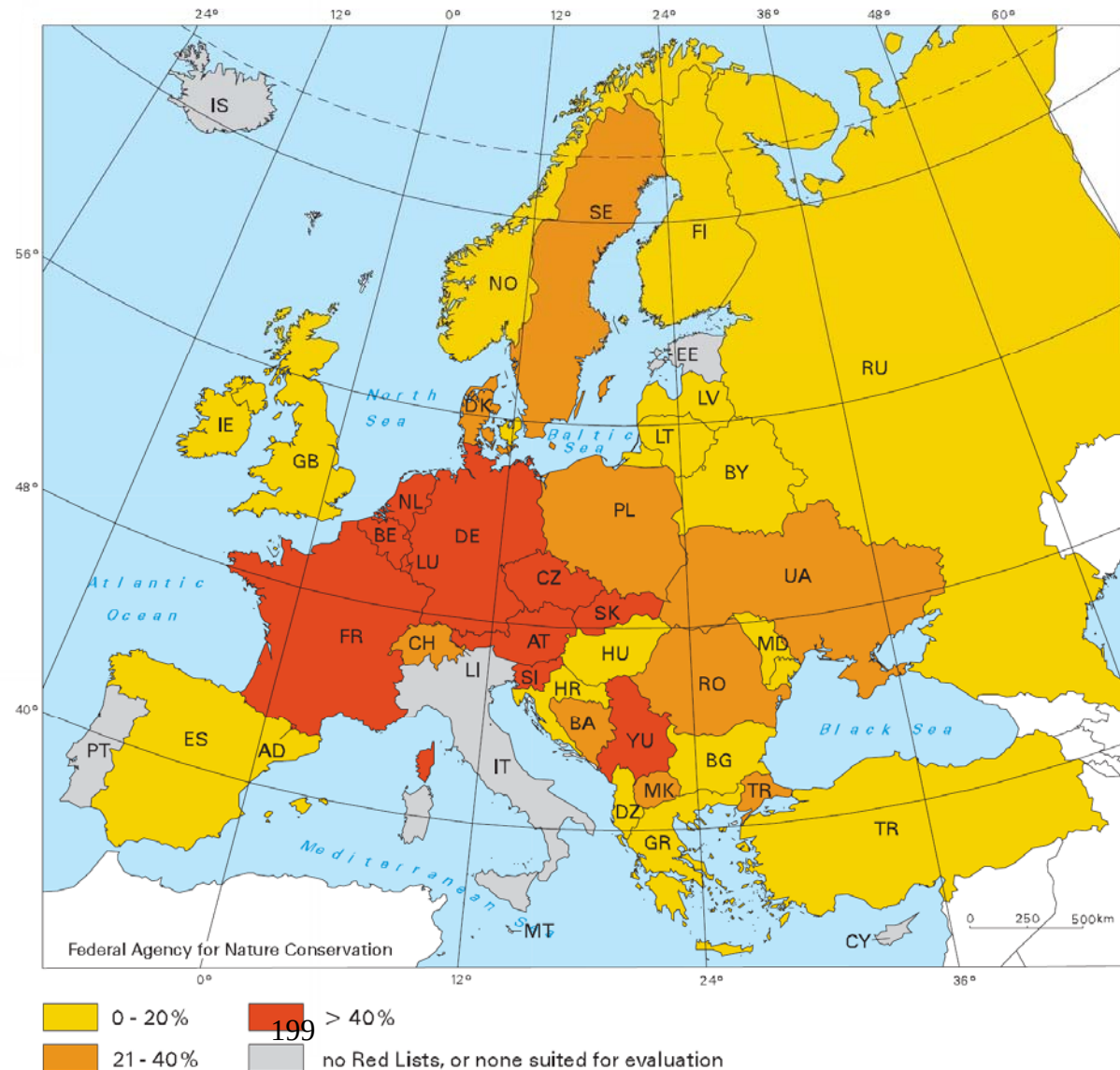
1. Anlass für eine Nationale Strategie
2. Zielsetzung und Struktur der Strategie
3. Bodenbezogene Ziele und Maßnahmen
4. Instrumente und Projekte
5. Fazit



1. Anlass: Gefährdung der Fauna

Anteile
ausgestorbener
und gefährdeter
Tagfalterarten in
Europa

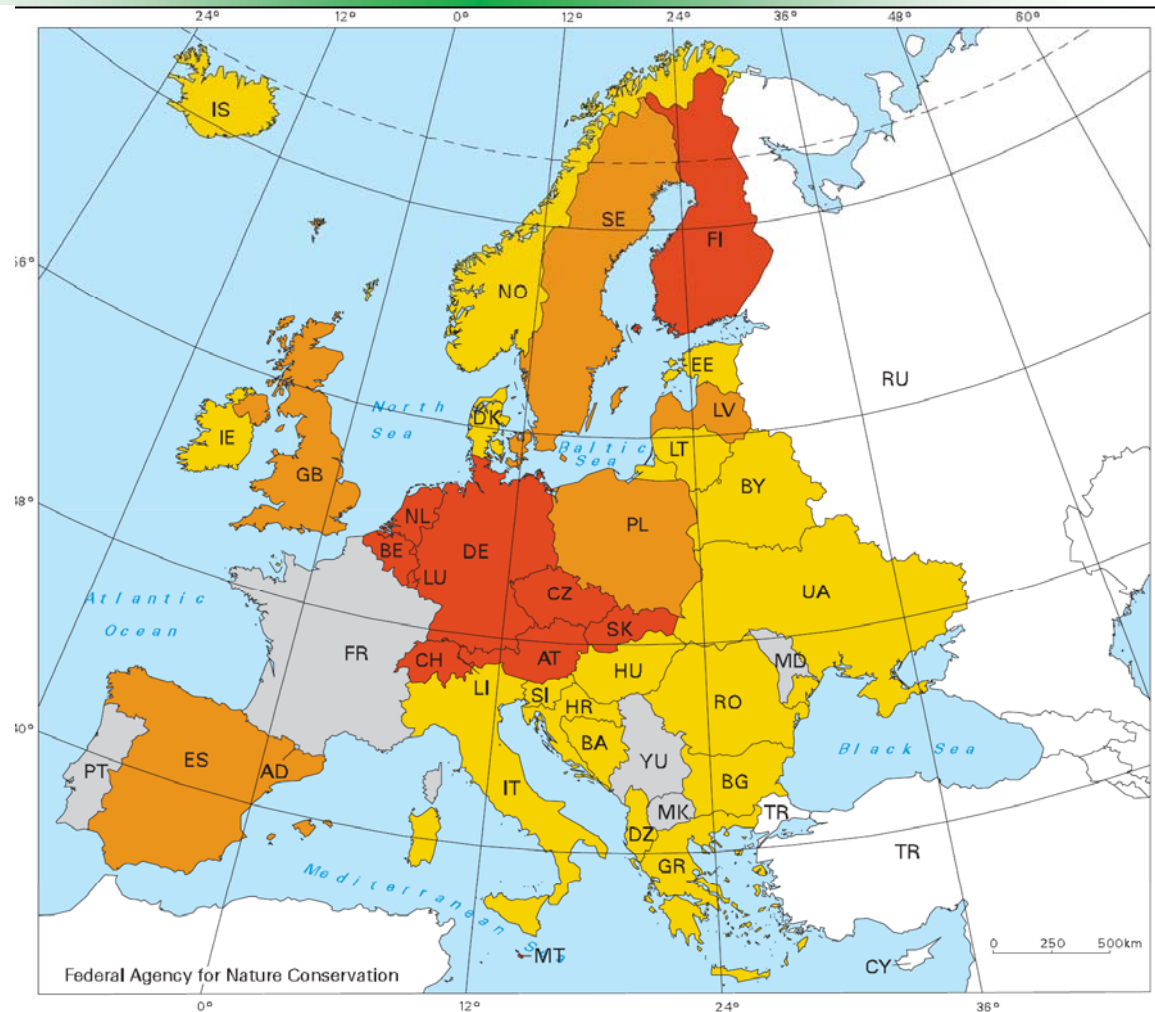
Quelle: DzN, 2004



1. Anlass: Gefährdung der Flora

Anteile
ausgestorbener
und gefährdeter
Farn- und
Blütenpflanzen in
Europa

Quelle: BfN, 2004



2 – 11 % extinct and threatened species
(0,1,2,3,G,Ex,E,V,I,EW,EX,CR,EN,VU,CD)
12 – 21 % extinct and threatened species
(0,1,2,3,G,Ex,E,V,I,EW,EX,CR,EN,VU,CD)

22 – 80 % extinct and threatened species
(0,1,2,3,G,Ex,E,V,I,EW,EX,CR,EN,VU,CD)
no Red Lists or none suitable for evaluation

Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt

- Belastbarkeit ist nicht beliebig
- Verloren gegangene Biodiversität lässt sich nicht wieder herstellen
- Art. 6 CBD (1992): nationale Strategien, Pläne oder Programme
- Ratifizierung der CBD per Gesetz 1993
- Koalitionsverträge 2002 und 2005
- Kabinettsbeschluss am 07. November 2007



2. Zielsetzung und Struktur

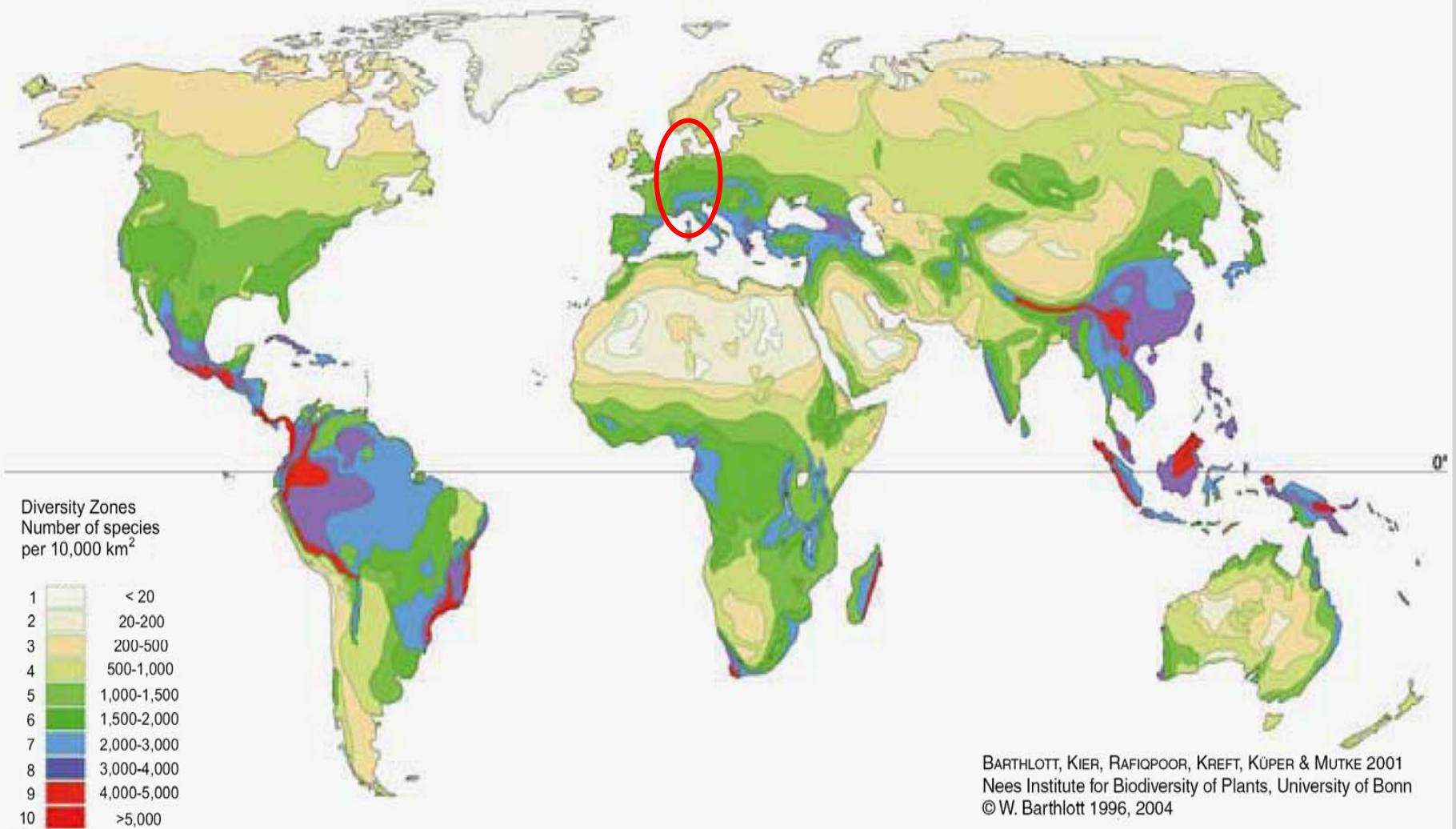
- nationaler Beitrag mit Einbindung in den europäischen Kontext
- innerstaatliche Einrichtungen in Bund, Ländern und Kommunen und alle gesellschaftlichen Akteure
- Mobilisierung und Bündelung aller gesellschaftlichen Kräfte



2. Zielsetzung und Struktur

- Ziel 2010: stop the loss
- Fernziel: Zunahme der biologischen Vielfalt einschließlich ihrer regionaltypischen Besonderheiten
- Verantwortung für eine weltweit nachhaltige Entwicklung verstärkt gerecht werden





2. Zielsetzung und Struktur

Struktur:

- Ausgangslage, Konkrete Vision
- Qualitäts- und Handlungsziele
- Aktionsfelder: Konkretisierung der Handlungsziele durch Maßnahmen
- Leuchtturmprojekte: konkrete, vorbildliche Projekte zur Erhaltung der biologischen Vielfalt
- Berichterstattung, Indikatoren und Monitoring



3. Bodenbezogene Ziele und Maßnahmen

- Bodennutzung (Kap. B 2.5)
- Rohstoffabbau und Energiegewinnung (B 2.6)
- Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr (B 2.7)
- Mobilität (B 2.8)



3.1 Bodennutzung

Vision:

Deutschland beherbergt eine gebietstypische, natürlich und historisch gewachsene Vielfalt an Böden.

- Funktionen für Mensch **und** Natur
- günstige Lebensbedingungen für die standorttypischen Arten und Lebensgemeinschaften, die **in, auf und von** den Böden leben.



3.1 Bodennutzung

Qualitäts- und Handlungsziele (Auswahl):

- Langfristige Funktionsfähigkeit als Träger natürlicher Funktionen
- effiziente Umsetzung der guten fachlichen Praxis (§ 17 BBodSchG und § 5 BNatSchG)
- kontinuierliche Rückführung der Bodenerosion bis 2020
- weiterhin kein Eintrag von transgenen Mikroorganismen



3.2 Rohstoffabbau und Energiegewinnung

Vision:

- sparsame und Natur schonende Gewinnung und Einsatz von Rohstoffen und Energieträgern
- Gewinnung und Einsatz von **nachwachsenden** Rohstoffen und **regenerativen** Energien im Einklang mit der Erhaltung der biologischen Vielfalt.



3.2 Rohstoffabbau und Energiegewinnung

Qualitäts- und Handlungsziele (Auswahl):

- Erhöhung der **Recyclingrate** und **Energieeinsparung**
- Verstärkter Einsatz nachwachsender Rohstoffe
- Nutzung von Synergieeffekten zwischen der Erhaltung der biologischen Vielfalt und dem Ausbau erneuerbarer Energien



3.2 Rohstoffabbau und Energiegewinnung

Qualitäts- und Handlungsziele (Auswahl):

- Überprüfung und ggf. Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis bei KUP etc.
- Aufstellung eines Raumordnungsplanes für die deutsche AWZ mit Festlegungen u. a. zur Steuerung von Offshore-Windkraftanlagen.



3.3 Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr

Vision:

- Erhöhung der Lebensqualität der Menschen
- ohne zusätzliche Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr



Flächeninanspruchnahme für Verkehrsflächen

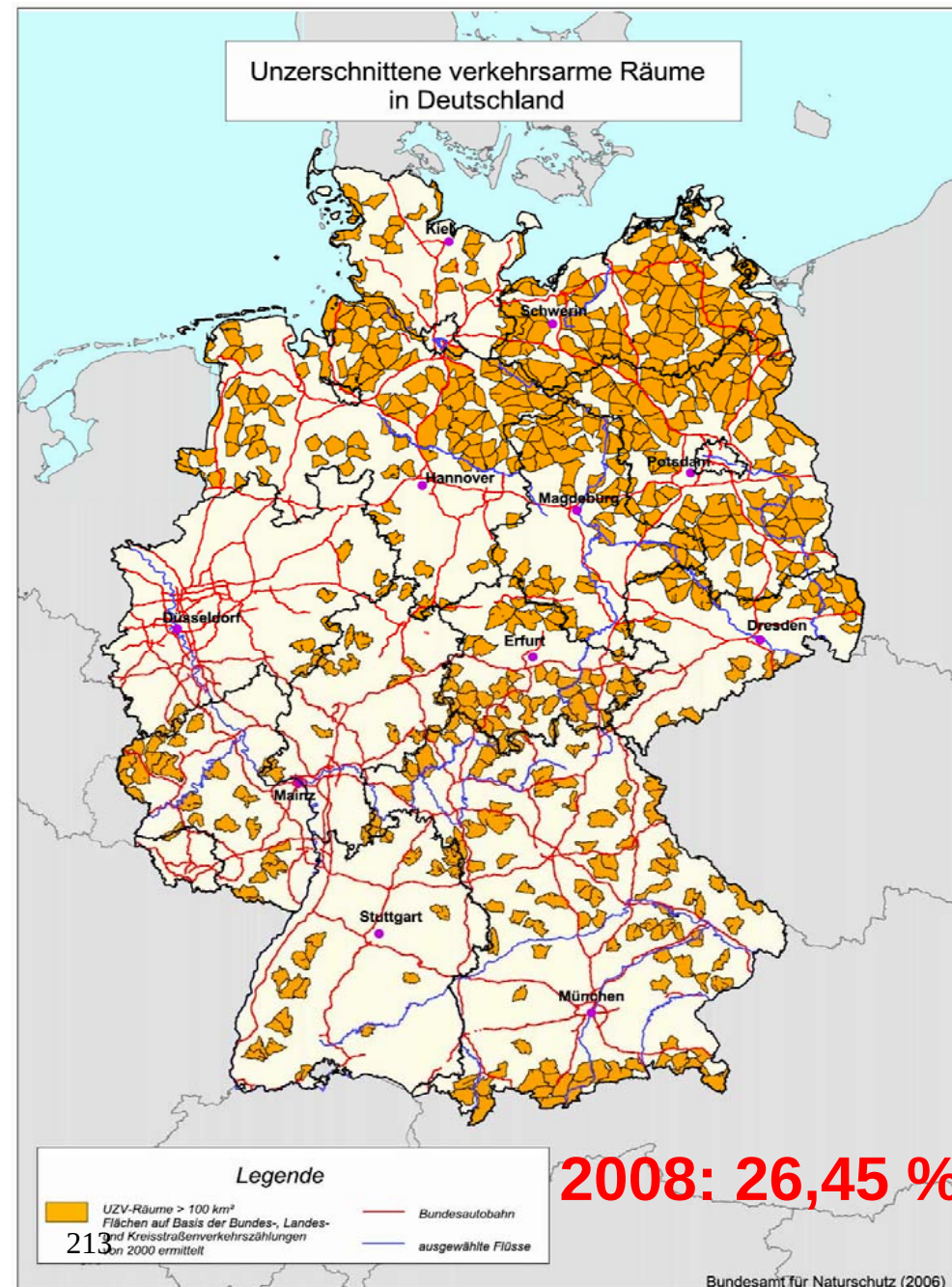
92 km² in 2005

25 ha pro Tag (2005)



Zusammen mit Siedlungsflächen:

**1 657 km² oder 113 ha/d
(2003-2006)**

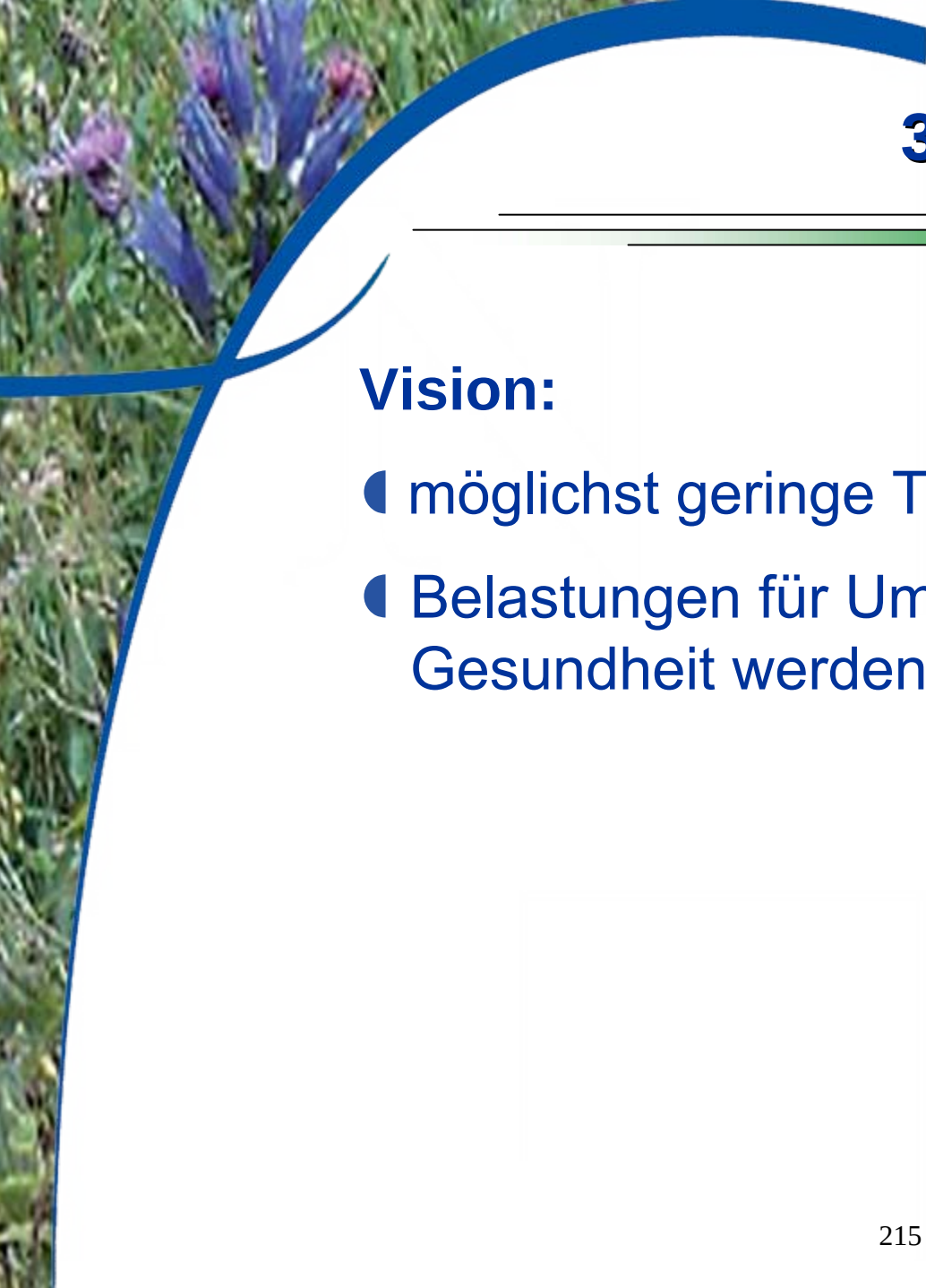


3.3 Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr

Qualitäts- und Handlungsziele (Auswahl):

- bis 2020: zusätzliche Flächeninanspruchnahme maximal 30 ha / d
- langfristig keine Neuinanspruchnahme (Wiedernutzbarmachung, Nachverdichtung, Innenentwicklung)
- bis 2015 raum- und gebietsbezogene Reduktionsziele
- konsequente Anwendung vorhandenen Planungsinstrumentariums





3.4 Mobilität

Vision:

- möglichst geringe Transportintensität
- Belastungen für Umwelt, Natur und menschliche Gesundheit werden weiter verringert.



3.4 Mobilität

Qualitäts- und Handlungsziele (Auswahl):

- ausreichende ökologische Durchlässigkeit neuer Verkehrswege (z. B. Fischtreppen, Grünbrücken)
- bis 2020: keine erheblichen Beeinträchtigungen des Biotopverbundsystems mehr
- die ökologische Durchlässigkeit von zerschnittenen Räumen ist erreicht
- Erhalt des derzeitigen Anteils der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume $\geq 100 \text{ km}^2$ (UZVR)





4. Instrumente und Projekte

Landschaftsplanung:

Landschaftspläne sollen Angaben enthalten über

- die Erfordernisse und Maßnahmen
- zum Schutz, zur Verbesserung der Qualität und zur Regeneration von Böden, ...

(§ 14, Absatz 1 BNatSchG)



Bodenschutz durch Maßnahmen-Umsetzung am Beispiel des LP Königslutter

Maßnahmenbeispiel: Verminderung der Erosionsgefährdung



- bodenschützende Maßnahmen der Landwirtschaft
- wie z.B. Mulchsaat,
- pfluglose Bodenbearbeitung,
- Bodenbearbeitung quer zum Hang,
- Umwandlung von Acker in Grünland ...



4. Instrumente und Projekte

Ute Rönnebeck (Bearb.)

Ausgleich von Beeinträchtigungen im Rahmen der Eingriffsregelung mit Maßnahmen des ökologischen Landbaus



Angewandte Landschaftsökologie
Heft 31

Bosch & Partner und Rainer Wolf

Wiederherstellungsmöglichkeiten von Bodenfunktionen im Rahmen der Eingriffsregelung





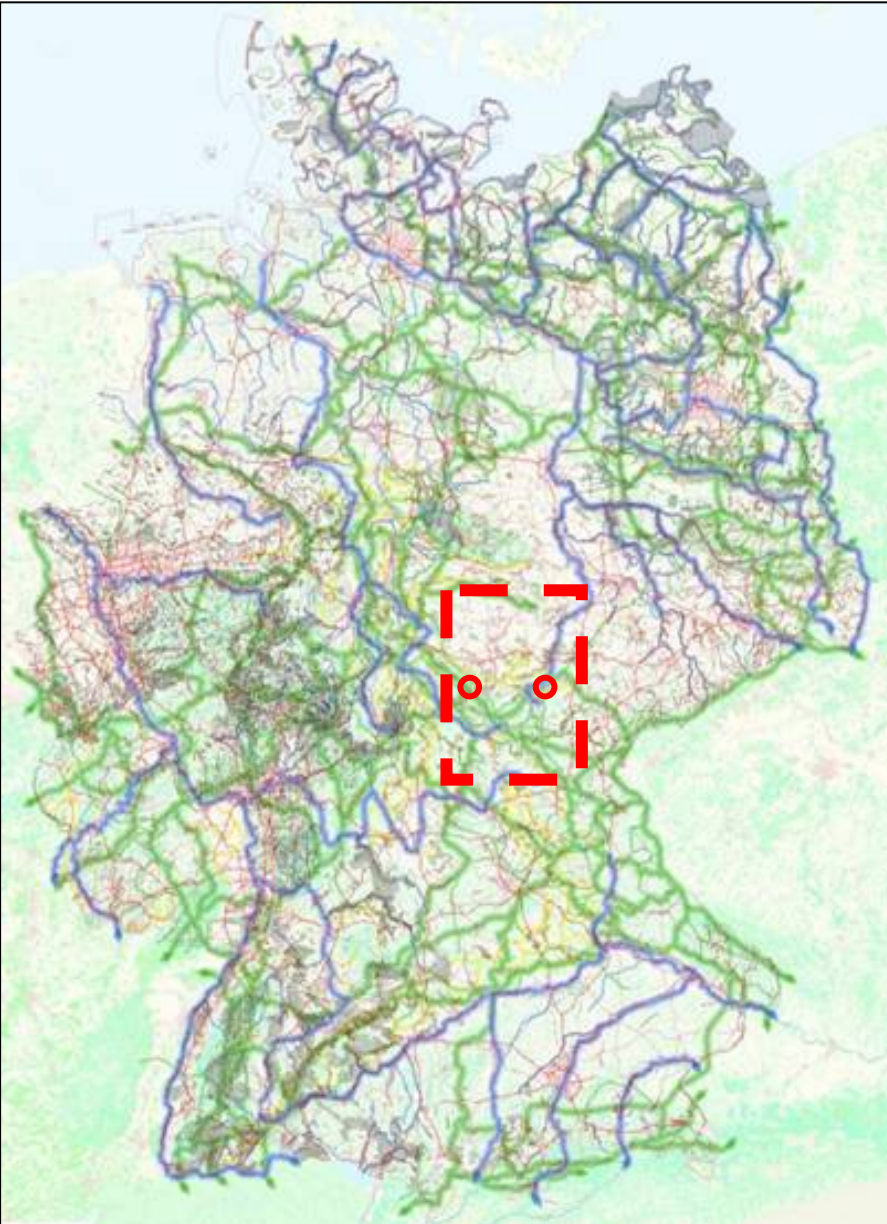
Entwicklung eines bundesweiten Maßnahmenprogramms zur Überwindung von Barrieren und zur Wiedervernetzung ökologischer Systeme

Beispiel

Hörselberge

—

Leutratal



5. Zusammenfassung

- Erhalt der biologischen Vielfalt ist auch Erhalt der Lebensgrundlagen des Menschen
- biologische Vielfalt entspricht dem Nachhaltigkeitsgedanken: Einheit von Ökonomie, Ökologie und Sozialem
- biologische Vielfalt ist Abbild des ökologischen Gefüges aller Naturhaushaltsfaktoren
- Boden hat wichtige Trägerfunktion wie Wasser oder Klima/Luft



4. Zusammenfassung

- Wandel des Klimas und der biologischen Vielfalt sind sich gegenseitig bedingende Prozesse
- gesamthafter Schutz der biologischen Vielfalt ist für kommende Szenarien des Klimawandels notwendig
- integrative Strategien, Maßnahmen und Management notwendig

**Die Nationale Biodiversitäts-Strategie
ist auch aktiver Klimaschutz!**



Forum IV:

Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt – Ziele und Handlungsfelder mit Bezug zum Boden

22. Januar 2008

Direktor und Professor Matthias Herbert,
Abteilungsleiter Landschaftsplanung und -gestaltung
Leiter der BfN-Außenstelle Leipzig
fon: ++49 341 30 977-11, fax: -40,
Mail: matthias.herbert@bfm.de

Busy *for* Nature



Bundesamt
für Naturschutz



Dauerfeldversuche in Deutschland – Übersicht und Forschungspotentiale

„Ein Versuch ist eine der Natur vorgelegte Frage, worauf sie, wenn er gehörig eingerichtet ist, durchaus eine Antwort – sey es auch nur mit Ja oder Nein - geben muß“ (Thaer 1809). Mit dieser grundlegenden Definition hat A. D. Thaer vor 200 Jahren das landwirtschaftliche Versuchswesen theoretisch begründet. Es dauerte danach noch eine Generation, ehe die eigentliche experimentelle Arbeit aufgenommen wurde, und zwar nicht in Deutschland, sondern in England. Dort untersuchten die Landwirtschafts-Pioniere Sir Bernhard Lawes und Henry Gilbert auf dem Gut von Rothamsted ab 1841 die Wirkung von Phosphatdünger auf das Pflanzenwachstum. Der von ihnen im Jahr 1843 angelegte Feldversuch zur Düngung von Winterweizen wird bis heute fortgesetzt und ist der älteste Dauerfeldversuch der Welt.

Als Dauerfeldversuche werden Freiland-Parzellen-Experimente bezeichnet, die statisch angelegt sind und mehr als 20 Jahre unverändert betrieben werden. Ihre Ursprünge gehen auf die Anfänge des landwirtschaftlichen Feldversuchswesens in Deutschland zurück. Dieses begann 20 Jahre nach den ersten Rothamsteder Versuchen in Möckern bei Leipzig. Ein Kardinaltermin für Deutschland ist das Jahr 1878. In diesem hat der Begründer des ersten landwirtschaftlichen Instituts an einer deutschen Universität, Julius Kühn, in Halle die Frage aufgeworfen, wie Roggen in Monokultur auf unterschiedliche Düngung reagiert und dafür einen Versuch angelegt, der bis heute erhalten werden konnte und unter der Bezeichnung „Ewiger Roggen“ international bekannt ist. Es handelt sich um einen einfaktoriellen Versuch, in dem geprüft wird, wie sich organische und mineralische Düngung auf die Entwicklung von Bodeneigenschaften sowie Ertrag und Qualität auswirken (Tab. 1). Das war zur Zeit der Versuchsanlage eine zentrale Fragestellung für die sich entwickelnden Agrarwissenschaften. Die meisten der seither angelegten statischen Versuche, die noch existent sind oder in der Zwischenzeit aufgegeben wurden, sind diesen Fragen gewidmet: Wie verändert sich der Boden durch unterschiedliche Versorgung mit organischen und mineralischen Düngern und welche Folgen hat das für das Wachstum, die Entwicklung, den Ertrag und die Qualität der auf dem jeweiligen Standort angebauten Nutzpflanzen.

Tabelle 1: Prüfglieder im Dauerfeldversuch „Ewiger Roggen“; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; jährliche Düngung in kg ha⁻¹ (nach Merbach & Deubel 2007)

Dünger	Prüfglieder					
	Stm I ¹⁾	Kontrolle	NPK	-PK	Stm + NPK	Stm II
Stallmist	12000	0	0	0	12000	0
N	(60) ²⁾	0	60	0	60 + (60)	0
P	(20)	0	24	24	24 + (20)	0
K	(60)	0	75	75	75 + (60)	0

1) Stm = Stallmist; 2) ungefähre Mengen

Dies trifft auch auf den zweitältesten Versuch in Deutschland, den Statischen Düngungsversuch in Bad Lauchstädt zu. 1902, also wiederum eine Generation nach Kühns richtunggebender Versuchsbegründung wurde dieses Experiment von Schneidewind und Gröbler angelegt. Er ist bereits wesentlich komplexer als der Ewige Roggen aufgebaut, indem sechs Stufen der mineralischen Düngung mit drei Stufen der organischen Düngung kombiniert wurden. Hinzu kommt eine Fruchtfolge, in der Zuckerrüben, Sommergerste, Kartoffeln und Winterweizen rotieren. Damit konnten viel weitergehende Erkenntnisse zur Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragsfähigkeit auf einem der besten Ackerstandorte Deutschlands gewonnen werden (Tab. 2).

Tabelle 2: Prüfglieder im Statischen Versuch Bad Lauchstädt (nach Bahn et al. 1995)

Prüffaktor A – Organische Düngung	Prüffaktor B – NPK-Düngung
a1 300 dt ha ⁻¹ Stallmist zur Hackfrucht	b1 NPK
a2 200 dt ha ⁻¹ Stallmist zur Hackfrucht	b2 NP
a3 ohne	b3 NK
	b4 N
	b5 PK
	b6 ohne

Die mineralische N-Düngung ist als dritter Prüffaktor fruchtartsspezifisch jeweils fünffach abgestuft (Tab. 3)

Tabelle 3: Mineralische N-Düngung (kg ha⁻¹) im Statischen Versuch Bad Lauchstädt (nach Bahn et al. 1995)

Stufen	Zuckerrüben	Sommergerste	Kartoffeln	Winterweizen
c1	0	0	0	0
c2	60	20	50	40
c3	120	40	100	40+40
c4	180	40+20	150	40+80
c5	240	40+40	200	40+120

Einen weiteren Schritt in Richtung komplexer acker- und pflanzenbaulicher Fragestellungen ging im Jahr 1923 Kurt Opitz mit dem Statischen Versuch Bodennutzung in Berlin-Dahlem. Neben der Düngung nahm er die Tiefe der Bodenbearbeitung mit dem Pflug in das Experiment auf, später kamen die Stallmistdüngung (1939) und die Fruchtfolge (1967) als Prüffaktoren hinzu (Tab. 4).

Tabelle 4: Prüfglieder im Statischen Versuch Bodennutzung Berlin-Dahlem

Prüffaktoren	Faktorstufen	
A Pflugtiefe (seit 1923)	a1	tief, ca. 28 cm
	a2	flach, ca. 17 cm
B Kalkdüngung (seit 1923)	b1	mit Kalk
	b2	ohne Kalk
C P-Düngung (seit 1923)	c1	mit Phosphorsäure
	c2	ohne Phosphorsäure
D Stallmistdüngung (seit 1939)	d1	mit Stallmist
	d2	ohne Stallmist
E Fruchtfolge (seit 1967)	e1	Fruchtwechsel
	e2	Getreidefolge

Aus den Ergebnissen konnten vielfältige Erkenntnisse zur Wirkung verschiedener Varianten der Bodennutzung auf den Bodenzustand und die pflanzlichen Leistungen gewonnen werden.

An diesem Standort kommt als Besonderheit hinzu, dass seit 1953 ein agrarmeteorologisches Intensivmessfeld betrieben wird. Hier werden in engem Zeitraster die wesentlichen meteorologischen Messwerte erfasst und gespeichert und können so unmittelbar in Beziehung zu Wachstum und Entwicklung von verschiedenen Nutzpflanzenbeständen gesetzt werden.

Aus den Ergebnissen dieser Beobachtungen wurde beispielsweise ermittelt, dass die Länge der Vegetationsperiode an diesem Standort seit 1930 um fast 24 Tage zugenommen hat (Abb. 1).

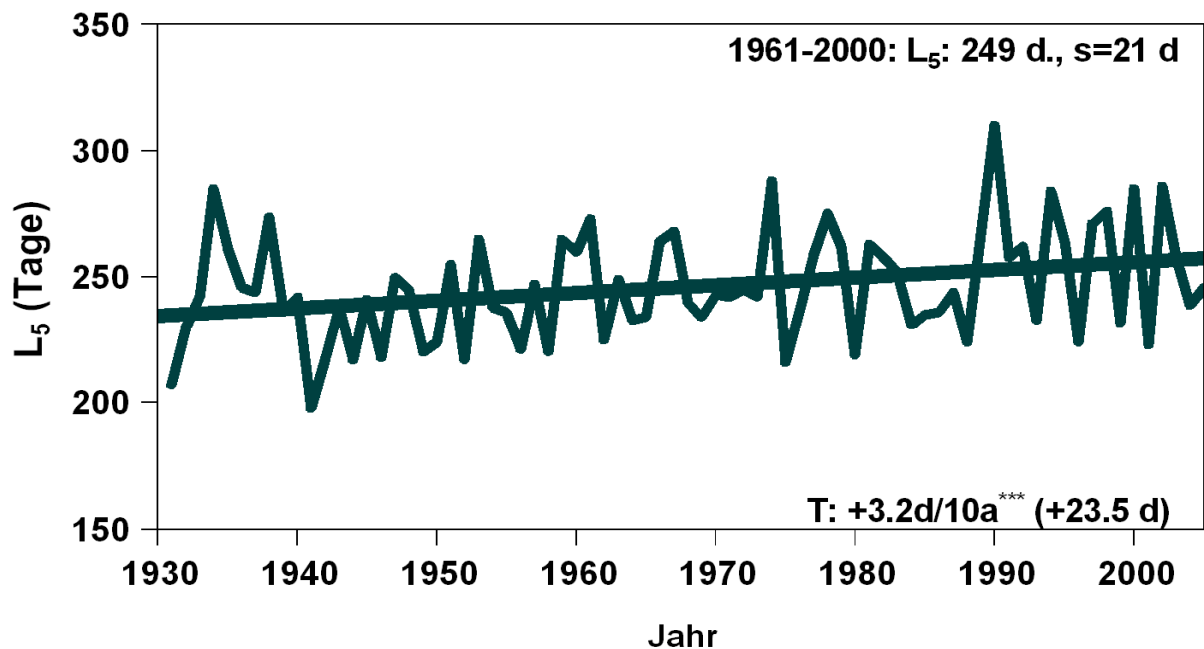


Abbildung 1: Länge der Vegetationsperiode am Standort Berlin-Dahlem (Chmielewski 2008)

In der Region Berlin-Brandenburg existieren eine Reihe weiterer Langzeitexperimente, unter anderem in Müncheberg, Groß Kreutz und Thyrow. Der letztgenannte Standort ist hierbei besonders von Interesse, weil er mit seinen leicht schluffigen Sanden und 25 Bodenpunkten im unteren Bereich der ackerbaulichen Nutzung von Sandböden liegt. Hier wurde von Kurt Opitz im Jahr 1937 ein Nährstoffmangelversuch angelegt, um die Auswirkungen einseitiger Nährstoffversorgung auf Boden und Pflanze zu prüfen. Er steht als einfaktorielle Versuchsanlage mit acht Prüfgliedern in direkter Traditions-Linie zum Ewigen Roggen in Halle, wenngleich hier nicht Monokultur sondern eine vierfeldrige Fruchtfolge mit Kartoffeln, Sommergerste, Silomais und Sommergerste betrieben wird (Tab. 5).

Tabelle 5: Prüfglieder im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow

Prüfglied	Düngung	Prüfglied	Düngung
1	ungedüngt (ohne Kalk)	5	NPK (ohne Kalk)
2	Stallmist (ohne Kalk)	6	NP mit Kalk*
3	NPK mit Stallmist mit Kalk*	7	NK mit Kalk*
4	NPK mit Kalk*	8	PK mit Kalk*

* Kalkdüngung nach Bedarf (Ziel-pH 5,5)

Nach dem zweiten Weltkrieg sind in beiden Teilen Deutschlands zahlreiche Langzeitversuche neu angelegt worden, die auf Fragen der Grundnährstoffdüngung (Schmalfuß-Versuche in Halle), der Stickstoff-Düngung (z. B. Hohenschulen der Universität Kiel), der Bodenbearbeitung (Müncheberg und Bad Lauchstädt), der Zusatzbewässerung und in letzter Zeit auch des Ökologischen Landbaus ausgerichtet sind. Dafür steht beispielsweise der Langzeit-Düngungsversuch Darmstadt am Institut für Biologisch-Dynamische Forschung. Mit ihm wird seit 1980 geprüft, wie sich Rottemist und Jauche einerseits und mit biologisch-dynamischen Präparaten versetzt im Vergleich zur mineralischen Stickstoffdüngung auf Boden und Pflanzen auswirken (Tab. 6).

Tabelle 6: Prüfglieder im Langzeit-Düngungsversuch Darmstadt (nach Raupp 2007)

Prüffaktor A – Düngerart	Prüffaktor B – Düngermenge
a1 Rottemist und Jauche	b1 60 kg ha ⁻¹ Gesamt-N
a2 Rottemist und Jauche mit biologisch-dynamischen Präparaten	b2 100
a3 Mineraldüngung	b3 140

Insgesamt findet sich also ein heterogenes Bild von langjährigen Feldversuchen in Deutschland, die bis zu den Anfängen des Versuchswesens reichen, aber auch aktuelle Forschungsfragen beinhalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass noch etwa 30 Versuche existieren, die mehr oder minder intensiv bzw. extensiv unterhalten werden. Sie verteilen sich regional in einem Gürtel von Südwesten nach Nordosten. Für den Süden stehen Puch und Freising, den Norden repräsentiert Kiel (Abb. 2).

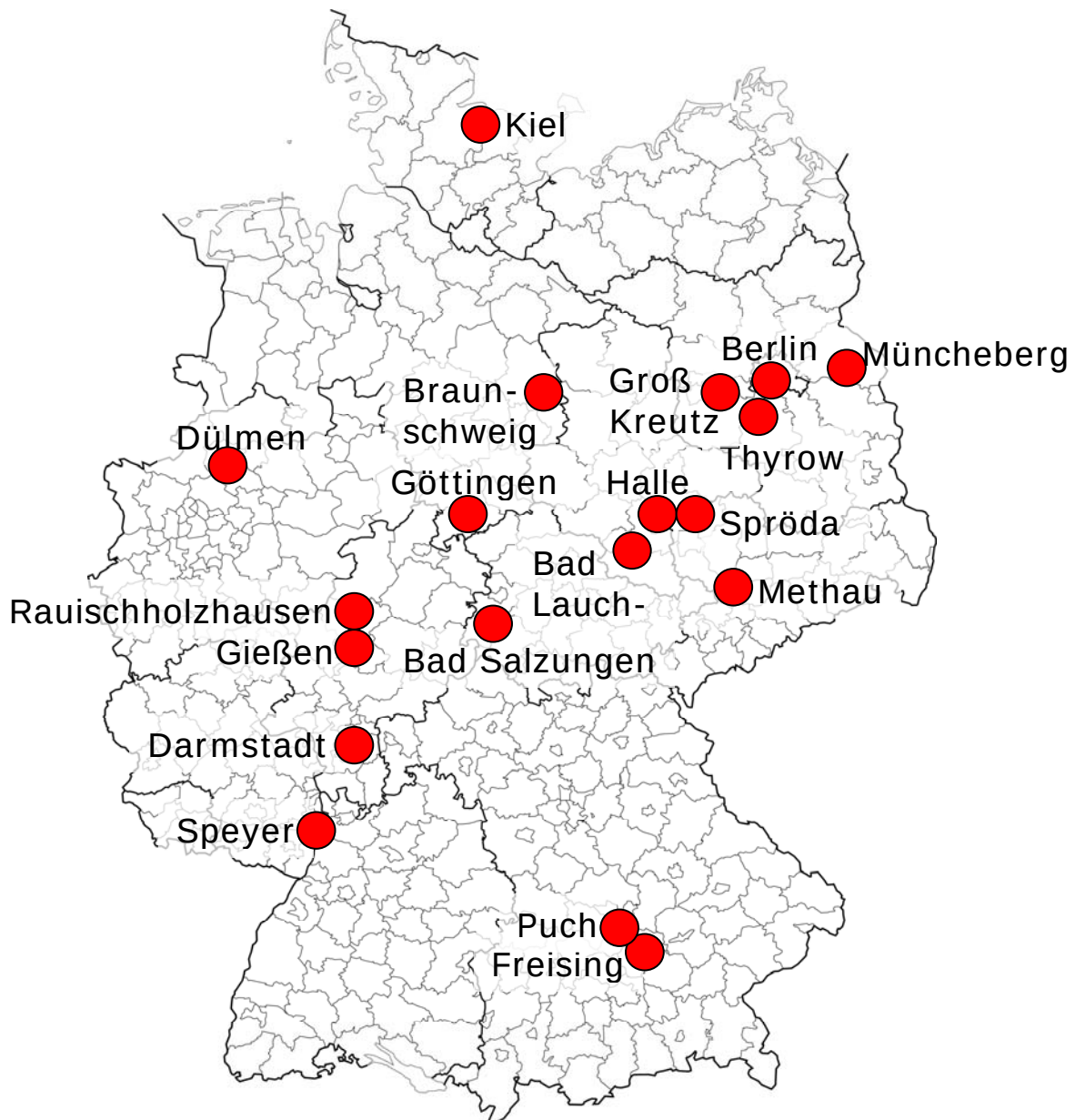


Abbildung 2: Standorte von Dauerfeldversuchen in Deutschland

Damit werden sehr verschiedene Bodenverhältnisse abgedeckt. Von Norden nach Süden sind das am Beispiel einiger ausgewählter Standorte die guten Lehm Böden der schleswig-holsteinischen Ostküste über die Lehmsande Niedersachsens und die leichten Sande Brandenburgs hinein in die Sandlöße und Löß-Schwarzerden des mitteldeutschen Tieflandes in Sachsen-Anhalt. Weiter südwestlich folgen dann in Hessen und Rheinland-Pfalz wieder leichtere lehmige bis sandige Böden. Damit decken diese Versuchsstandorte einen größeren Teil der ackerbaulich genutzten Böden in Deutschland ab (Tab. 7).

Tabelle 7: Standortverhältnisse ausgewählter Dauerfeldversuche in Deutschland

Standorte	Bodenart	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)
Kiel/Hohenschulen	Lehmiger Sand bis sandiger Lehm	750	8,3
Braunschweig	Schluffig-lehmiger Sand	619	9,0
Berlin/Thyrow	Schwach bis mittel schluffiger Sand	540	9,6
Halle	Lehmiger Sand	494	9,2
Bad Lauchstädt	Lehm	484	8,7
Darmstadt	Schwach schluffiger Sand	590	9,5
Speyer	Lehmiger Sand	593	10,0

Ähnlich verhält es sich mit den klimatischen Bedingungen. Vom mitteldeutschen Trockengebiet mit 484 mm Jahresniederschlag in Bad Lauchstädt bis 750 mm in Hohenschulen ist eine breite Variabilität gegeben. Die Temperaturen variieren im Jahresmittel zwischen 8,3 °C in Hohenschulen und 10 °C in Speyer.

Forschungspotentiale

Wenn es um klimarelevante Forschung geht, dann steht in den Dauerfeldversuchen die Dynamik der organischen Bodensubstanz als Kohlenstoff-Senke an erster Stelle. Der Klimareport der Land- und Forstwirtschaft, welcher im November 2007 vom Deutschen Bauernverband veröffentlicht wurde, legt denn auch einen Schwerpunkt auf diesen Aspekt: „*...Bei intensiver Pflege der Kohlenstoffvorräte in den landwirtschaftlichen Böden und verstärktem Eintrag von organischen Reststoffen (Stroh, Kompost etc.) könnte in Deutschland der mittlere Kohlenstoffgehalt um 0,2 % (von 2 auf 2,2 %) gesteigert werden Dies entspräche einmalig innerhalb der nächsten 50 Jahre einer zusätzlichen Senke von etwa 523 Mio t CO₂*“ (Klimareport 2008). Damit werden allerdings sehr hohe Erwartungen geweckt, die nicht ohne weiteres erfüllbar sind. Das betrifft zunächst die Höhe der Kohlenstoffgehalte in ackerbaulich genutzten Böden (Tab. 8). Die Spannen der C-Gehalte in ausgewählten Dauerfeldversuchen zeigen, dass nur auf einem Standort, nämlich der Löß-Schwarzerde von Bad Lauchstädt 2 % erreicht und in der höchstgedüngten Variante mit 300 dt ha⁻¹ Stallmist überschritten werden. Alle anderen Standorte liegen deutlich darunter. Durch verstärktes Einbringen organischer Stoffe können die C-Gehalte um den Wert von 0,2 % angehoben werden.

Tabelle 8: C_{org}-Gehalte in ausgewählten Dauerfeldversuchen

Standort	Versuch	C _{org} -Gehalte (%)		
		Minimum	Maximum	Differenz
Halle	Ewiger Roggen	0,83	1,25	0,42
Bad Lauchstädt	Statischer Düngungsversuch	1,59	2,48	0,89
Berlin-Dahlem	Statischer Versuch Bodennutzung	0,57	1,04	0,47
Thyrow	Statischer Nährstoffmangelversuch	0,37	0,65	0,28
Darmstadt	Langzeitdüngungsversuch	0,80	1,10	0,30

Allerdings scheint es eine problematische Entwicklung zu geben, wenn man sich die Befunde aus längeren Zeitreihen der C_{org}-Analysen ansieht. Dafür steht das Beispiel des Statischen Nährstoffmangelversuches in Thyrow. Unabhängig von der Düngung haben in diesem Dauerfeldversuch die Kohlenstoffgehalte im Verlauf der letzten 40 Jahre abgenommen. In beiden hier dargestellten Prüfgliedern sind nach 40 Jahren jährlicher Messung der C_{org}-Gehalte jeweils mehr als 10 % niedrigere Werte festzustellen (Abb. 3).

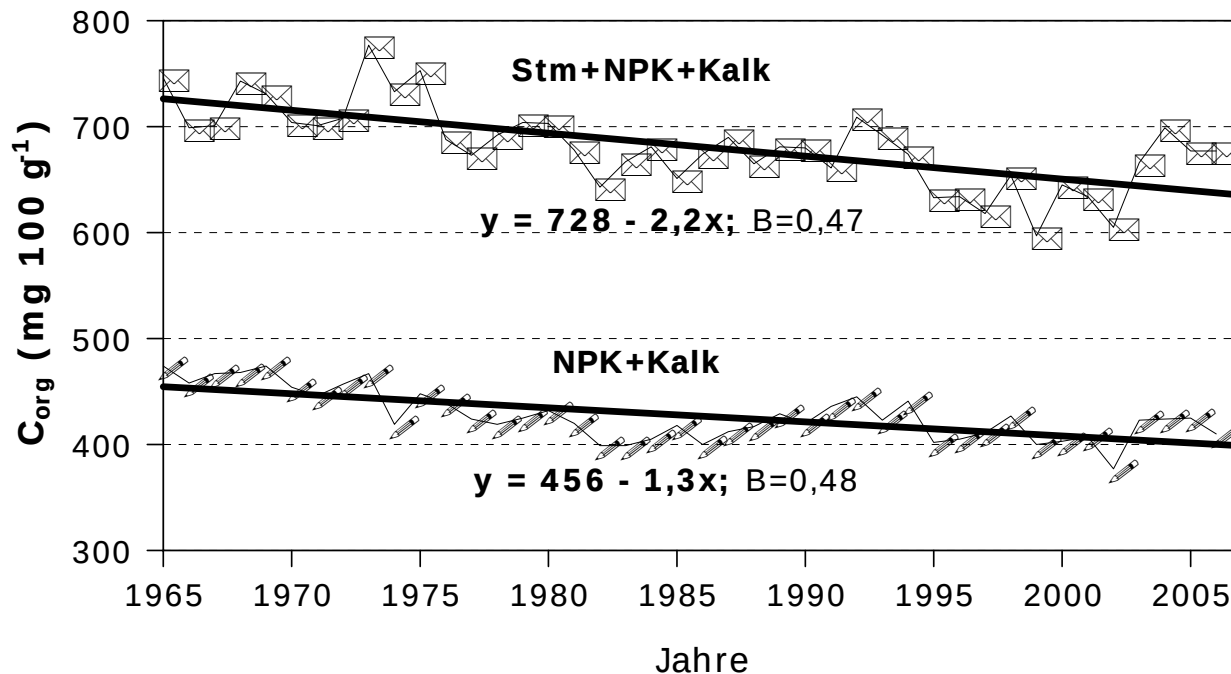


Abbildung 3: Entwicklung der C_{org}-Gehalte im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow

Rechnet man dies in C-Mengen um, sind 1,7 bzw. 2,9 t ha⁻¹ C-Verluste zu konstatieren (entspricht 6,2 bzw. 10,6 t ha⁻¹ CO₂).

Diese Entwicklung scheint mit der Temperaturentwicklung am Standort in Zusammenhang zu stehen. Für die mittlere Lufttemperatur ergibt sich für den dargestellten Zeitraum eine Zunahme um 1,2 °C. Die mittlere Bodentemperatur hat um 0,8 °C zugenommen. Die regressionsanalytische Auswertung der vorhandenen Daten hat erbracht, dass es eine enge Beziehung zwischen der Anzahl von Tagen mit Bodentemperaturen über 6 °C und der Entwicklung der C_{org}-Gehalte im Boden gibt (Tab. 9).

Tabelle 9: Regression der Anzahl von Tagen mit Bodentemperatur >6 °C und dem C_{org}-Gehalt

Prüfglieder	a (mg 100 g ⁻¹)	b	x (°C)	r²
NPK + Kalk	693,56	-1,31	T _{B6}	31,7***
Stm + NPK + Kalk	980,93	-1,69	T _{B6}	24,3***

Dies bedeutet, dass die Senkenfunktion des Sandbodens für Kohlenstoff auf dem Standort Thyrow in den vergangenen vier Jahrzehnten eingeschränkt wurde und zusätzlich bis zu 10 t ha⁻¹ CO₂ in die Atmosphäre abgegeben worden sind. Über ähnliche Ergebnisse berichten Giram et al. aus Oklahoma/USA. In den im Jahr 1892 auf Prärieboden angelegten Magruder plots sind über 80 Jahre Verluste an organischer Bodensubstanz von 1,2 bzw. 1,3 % eingetreten.

Fazit

In den Dauerfeldversuchen haben sich unterschiedliche Fließgleichgewichte der Gehalte an organischer Bodensubstanz eingestellt. Sie variieren in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung zwischen 0,37 und 2,48 %.

Langzeitbeobachtungen auf leicht schluffigem Sandboden ergaben, dass der C_{org}-Gehalt im Verlauf von 40 Jahren unabhängig von der Bewirtschaftung um 12 % abgenommen hat. Vergleichbare internationale Befunde liegen vor.

Die Dauerfeldversuche bieten somit eine unikale Forschungsbasis zur Aufklärung der C-sink-source-Funktion ackerbaulich genutzter Böden in Deutschland unter den Bedingungen des Klimawandels.

Literatur

Bahn, E.; Eich, D.; Körschens, M.; Pfefferkorn, A. (1995): 100 Jahre Agrar- und Umweltforschung Bad Lauchstädt. Teubner Verl.-Gesellsch. 107 S.

Chmielewski, F.-M.: Persönliche Mitteilung, 15.01.2008

Giram, K.; Starr, L.H.; Daryl, B.A.; Brenda, S.T.; William, R.R. (2007): The Magruder Plots: Untangling the puzzle. Agron. J. 99: 1191-1198

Merbach, W.; Deubel, A. (2007): The Long-term fertilization Trials in Halle (Saale), Germany. Teubner research, 25

Klimareport der Land- und Forstwirtschaft. In:
<http://www.bauernverband.de/?redid=202368>, 21.01.2008

Raupp, J. (2007): Persönliche Mitteilung, 15.12.2007

Thaer, A. D. (1809): Grundsätze der rationellen Landwirtschaft, Bd. 1, § 19. Berlin Realschulbuchhandlung

Bodendauerbeobachtung – Thermometer im Klimawandel

Dipl.-Geogr. Stephan Marahrens - Umweltbundesamt

Nach 25 Jahren Bodendauerbeobachtung in einzelnen Bundesländern stellt sich die Frage welchen Beitrag das Programm im Klimawandel leisten kann? Dazu ist eine Bestandsaufnahme erforderlich!

1. Recht

Eine erste Beschreibung der Anforderungen an ein Monitoring erfolgte in der damaligen Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung von 1985.

„Eine grundlegende Voraussetzung für Schutz und Erhaltung der Bodenfunktionen ist die ausreichende Erfassung der vorhandenen Belastungen des Bodens einschließlich der zugehörigen Ökosysteme, die Beobachtung ihrer Veränderungen sowie die Dokumentation der jeweiligen Zustände in bestimmten Zeitabschnitten. Für die im Sinne des Bodenschutzes zu treffenden Entscheidungen müssen gesicherte Daten oder verlässliche Abschätzungen verfügbar sein. Zu diesem Zweck sind notwendig:

- Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen
Ein Netz repräsentativer Gebiete zur Erhebung und Auswertung von Umwelteinwirkungen und ökologischen Daten ist erforderlich, das folgenden Aufgaben dient: Schließung der Lücken in flächendeckenden Aussagen über den Zustand des Bodens in der Bundesrepublik Deutschland (...)“ (BMI, 1985)

Um eine Vereinheitlichung im Hinblick auf eine bundesweite Auswertung der Daten zu erreichen, hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 1991 ein Konzept zur Einrichtung der Bodendauerbeobachtung (BD) erstellt. Dieses Konzept wurde Ende der 90-iger Jahre aktualisiert und mit den Bundesländern eine Vereinheitlichung des Betriebes der Bodendauerbeobachtungsflächen festgelegt. (Barth u.a., 2000)

Im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, 1999) wird die Bodendauerbeobachtung nicht explizit erwähnt, denn in §19 ist der Datenaustausch zwischen dem Bund und den Ländern im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung geregelt und in §21 werden die Länder ermächtigt neben dem Bund ebenfalls eine eigene Datenhaltung zu führen.

Die Bodendauerbeobachtung ist in einigen Ländergesetzen verankert und dort gesetzlicher Auftrag, während in anderen Ländern diese rechtliche Grundlage nicht existiert!

2. Organisation

Die Länder sind verantwortlich für die Durchführung des Programmes. So liegen die Einrichtung, die Finanzierung, der Betrieb, die Datenhaltung und die Auswertung in der jeweiligen Länderhoheit. Dementsprechend gibt es im Unterschied zur Inventur

der BZE (Bodenzustandserhebung im Wald) unterschiedliche Startzeitpunkte bei der Einrichtung, eine unterschiedliche Vorgehensweise und Methodik sowie unterschiedliche Schwerpunkte bei der Auswahl von Parametern und Sonderuntersuchungen.

Der Bund, vertreten durch das Umweltbundesamt schafft die länderübergreifenden Rahmenbedingungen und ist verantwortlich für die Koordination. Anfang 2008 hat das Umweltbundesamt die Weiterentwicklung des bestehenden Boden-Informationssystems (bBIS) abgeschlossen. Die Entwicklung der Datenbankanwendung erfolgte speziell für die Zwecke der Bodendauerbeobachtung und mit den Betreibern. Die Anwendung wird allen beteiligten Ländern kostenlos zur Verfügung gestellt und kontinuierlich weiterentwickelt. Mit Hilfe dieser Datenbank ist ein reibungsloser Datenaustausch möglich. Da nicht alle Länder auf die Anwendung zurückgreifen werden, ist parallel die Entwicklung eines Standard xml-Austauschformates erfolgt, auf dessen Basis der Austausch mit den jeweiligen Eigenentwicklungen der Länder erfolgen kann.

Darüber hinaus ist ein wesentlicher Auftrag des Bundes die Weiterentwicklung und Vereinheitlichung von Methoden, damit die Vergleichbarkeit und Qualität von Daten zu sinnvollen Ergebnissen bei der länderübergreifenden Auswertung führt.

3. Ziele

Die Bodendauerbeobachtung versteht sich als Instrument zur langfristigen Überwachung der Veränderung des Bodenzustandes und der Bodenfunktionen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Der Boden ist hierbei die Schnittstelle in der Umweltbeobachtung.

Bodendauerbeobachtungsflächen gehören zu den am besten untersuchten Böden in Deutschland. Die Auswahl erfolgte nach Gesichtspunkten der Repräsentativität. Mit der Einrichtung der BDF wurde eine bodenkundliche Beschreibung des Standorts durchgeführt, die Erhebung bodenphysikalischer, chemischer und biologischer Parameter wird in unterschiedlichen Zeitabständen wiederholt, die Daten der Bodenbewirtschaftung werden fortlaufend dokumentiert.

Die (langfristigen) Ziele und wesentlichen Fragestellungen der Bodendauerbeobachtung sind:

- die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden,
- die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden
- die Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung

Die Bodendauerbeobachtung erfüllt hierbei folgende Funktionen:

- Frühwarnsystem für schädliche Bodenveränderungen (Vorsorge)
- Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen (z.B. Nachweis der Blei-Abnahme in Böden seit der Einführung des bleifreien Benzins)
- Beweissicherung

- Referenz für Bodenbelastungen (Hintergrundwerte, Bodenbelastungskataster)
- Forschungsplattform (Methodenentwicklung)

Zur rechtzeitigen Erfassung von Veränderungen des Bodenzustandes (Frühwarnsystem) werden je nach der im Vordergrund stehenden Bodenfunktion bzw. deren Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen im Rahmen der Bodendauerbeobachtung **Merkmals- und Prozessdaten erhoben**.

4. Stationen

Derzeit bestehen in Deutschland (Stand Mai 2008, vgl. Tabelle 1 und 2, Abbildung 1 und 2) folgende Typen mit den entsprechenden Nutzungen.

Tabelle 1: Anzahl und Typen der BDF in Deutschland

Anzahl BDF gesamt	794
Basis-BDF	693
Intensiv-BDF	101

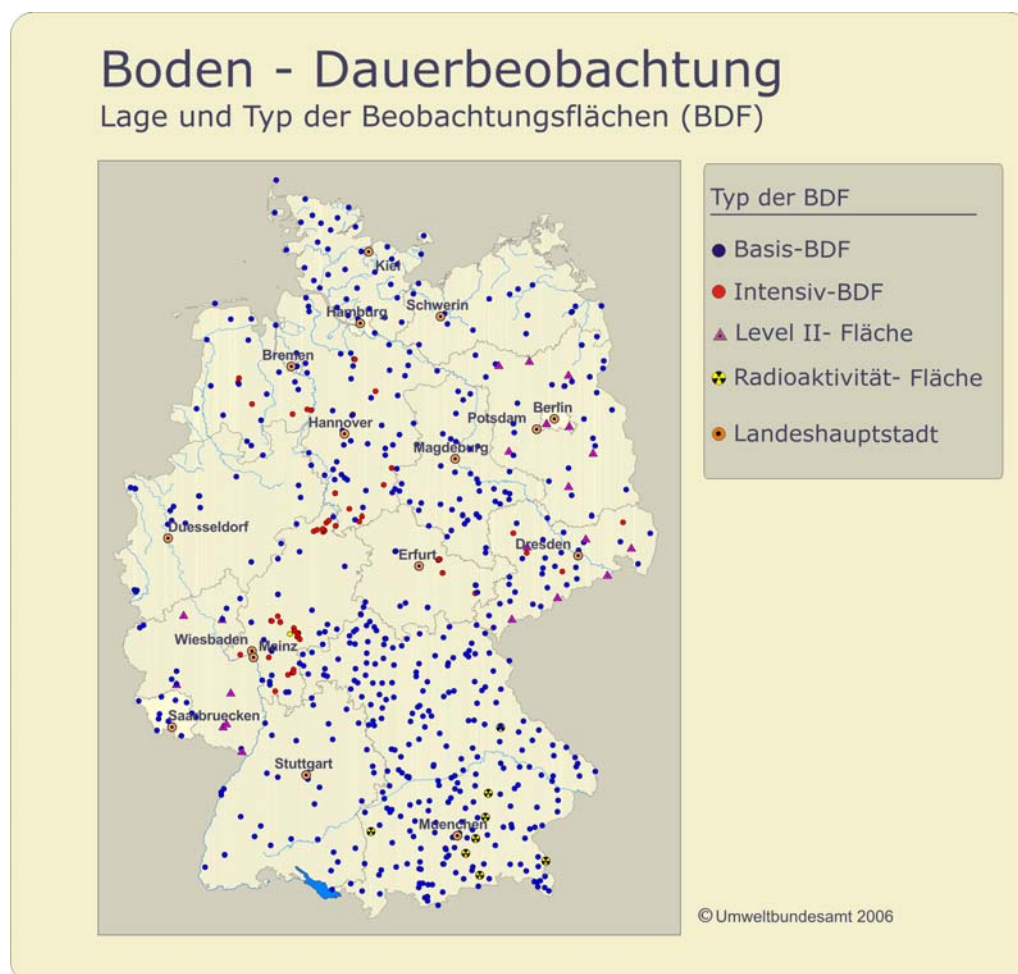


Abbildung 1: Räumliche Verteilung der BDF in Deutschland nach Typ.

Tabelle 2: Anzahl und Nutzungen der BDF in Deutschland

Acker	344
Grünland	151
Forst	246
Siedlungen (urban)	8
Sonderkulturen (z.B. Wein)	14
sonstige (z.B. Moor, Kippen)	21

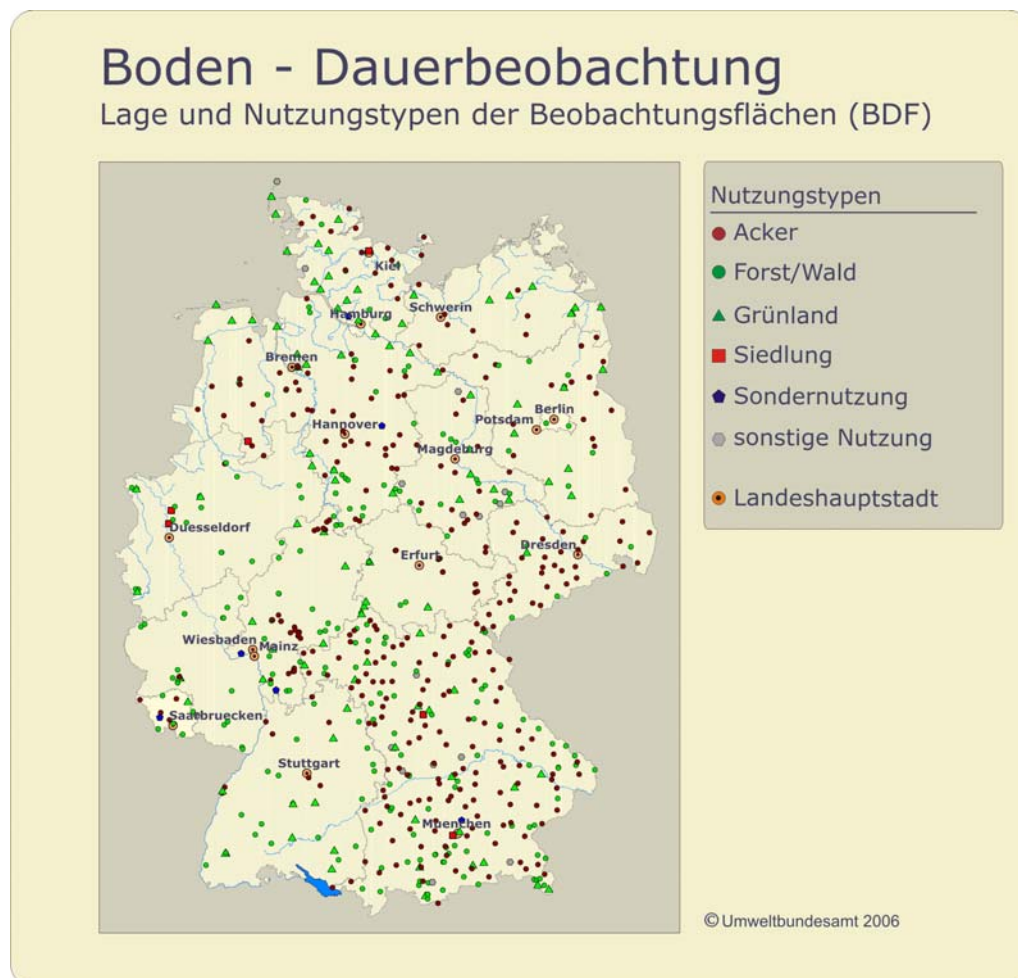


Abbildung 2: Räumliche Verteilung der BDF in Deutschland nach Nutzung.

5. Ausstattung

Die Basis-BDF dienen der Merkmalsdokumentation (vgl. Abbildung 3). In vielen Fällen sind Veränderungen von Bodenzuständen und -funktionen schleichende, längerfristig ablaufende Prozesse, die sich zeitlich hinreichend aufgelöst auf diese Weise erfassen lassen.

Die Intensiv-BDF dienen der Prozessdokumentation. Für ausgewählte Fragestellungen z.B. im Zusammenhang mit der Filter- und Pufferfunktion von Böden

werden Indikatoren benötigt, die deutlich über die Quantifizierung von Stoffgehalten hinausgehen. Mit Hilfe dieser dauerhaften Messeinrichtungen werden primär Stoffflüsse erfasst, da diese Veränderungen im Stoffhaushalt i. d. R. empfindlicher und somit frühzeitiger anzeigen. Die Prozessdokumentation ist damit ein wichtiges Instrument für den vorsorgenden Bodenschutz, das die Merkmalsdokumentation v. a. im Hinblick auf die Funktion als Frühwarnsystem sinnvoll ergänzt. Mit Bezug auf den vergleichsweise hohen apparativen und personellen Aufwand wird die Prozessdokumentation auf ausgewählte Standorte beschränkt.

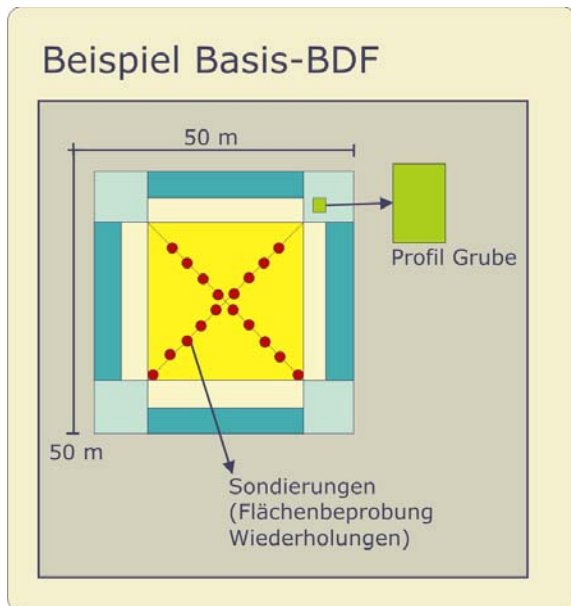


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Basis –BDF mit der Kernfläche für die wiederholte, flächenhafte Sondierungsbeprobung.

6. Messwerte

Auf den Basis-BDF werden nach Barth u.a. (2000) sowohl obligate als auch ergänzende Parameter erhoben, die je nach Ausprägung in einem Wiederholungsturnus von 1 bis 10 Jahren bestimmt werden. Daneben wurden vor allem die bodenkundlichen Stammdaten, die zeitlich relativ unverändert bleiben detailliert im Rahmen der Grundinventur aufgenommen. Die Kenntnis der pedologischen Situation im Zusammenhang mit der wiederholten Erhebung von Messgrößen der variablen Zustandsdaten ist der große Vorteil der Bodendauerbeobachtung und macht es damit zu einem einmaligen Instrument der Umweltbeobachtung. Darüber hinaus liegen im Rahmen der Intensiv-BDF ergänzend Daten über das Klima und Bodenwasser vor.

Aus den folgenden Parametergruppen liegen Messdaten vor (komplette Listen auf Anfrage):

- bodenkundliche Parameter (Standort, Profil, Horizont nach Kartieranleitung)
- bodenphysikalische Parameter (Korngrößen, Leitfähigkeit, Gefügestand)
- bodenchemische Parameter (Schwermetalle, Organika, pH-Werte, Nährstoffe)

- bodenbiologische Parameter (Mikrobiologie, Zoologie)
- Bewirtschaftungsdaten (Stoffeinträge)
- Vegetation

Auf den Intensiv-BDF werden nach Barth u.a. (2000) ebenfalls obligate und ergänzende Parameter erhoben. Aus den folgenden Parametergruppen liegen Messdaten vor (komplette Listen auf Anfrage):

- Klima
- Deposition
- Bodenwasser
- Stoffeintrag Bewirtschaftung
- Pflanzeninhaltsstoffe
- Erosion (Wasser und Wind)
- Grundwasser

7. BDF und Klimawandel – ein Thermometer?

Die Bodendauerbeobachtung i.S. eines vorsorgenden Bodenschutzes muss sich in Anbetracht des rezenten Klimawandels den folgenden Fragestellungen widmen:

1. Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die Bodenfunktionen?
2. Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die bestehenden Gefahrenpotentiale?

Nach Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) sollte eine Beeinträchtigung von Bodenfunktionen vermieden werden (§1) und eine Vorsorge gegen schädliche Bodenveränderungen getroffen werden (§7). Unter Berücksichtigung der Bodenfunktionen (vgl. Abbildung 4) bestehen eine Reihe von Aspekten, die in Anbetracht veränderter Temperatur- und Niederschlagsbedingungen (räumlich und zeitlich) auf BDF betrachtet werden sollten

- **Lebensraumfunktion**
Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die Lebensraum und damit die Biodiversität von Bodenorganismen. Grundlage sind die bodenbiologischen Untersuchungsparameter.
- **Regulationsfunktion**
Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf den Stoffumsatz und den Wasserhaushalt im Boden. Davon betroffen ist die Senkenfunktion für Schadstoffe und die Retentionsfunktion. Besonders die Problematik der Quantität und Qualität von organisch gebundenem Kohlenstoff und damit unmittelbar der Beitrag des Bodens zur atmosphärischen CO₂ Konzentration. Der Wasserhaushalt in Abhängigkeit vom Niederschlagsdargebot steuert die Bodenfeuchte, die wiederum entscheidend den Stoffumsatz, die Nährstoffverfügbarkeit, den Gefügestand und die Grundwasserneubildung beeinflusst. Grundlage sind die bodenchemischen und -physikalischen

Untersuchungsparameter. Für diesen Themenkomplex ist ein repräsentatives (Klima, Nutzung, Boden) Intensivmessnetz unabdingbar, auf dessen Basis die Zustandsdaten der Basis-BDF interpretiert werden können.

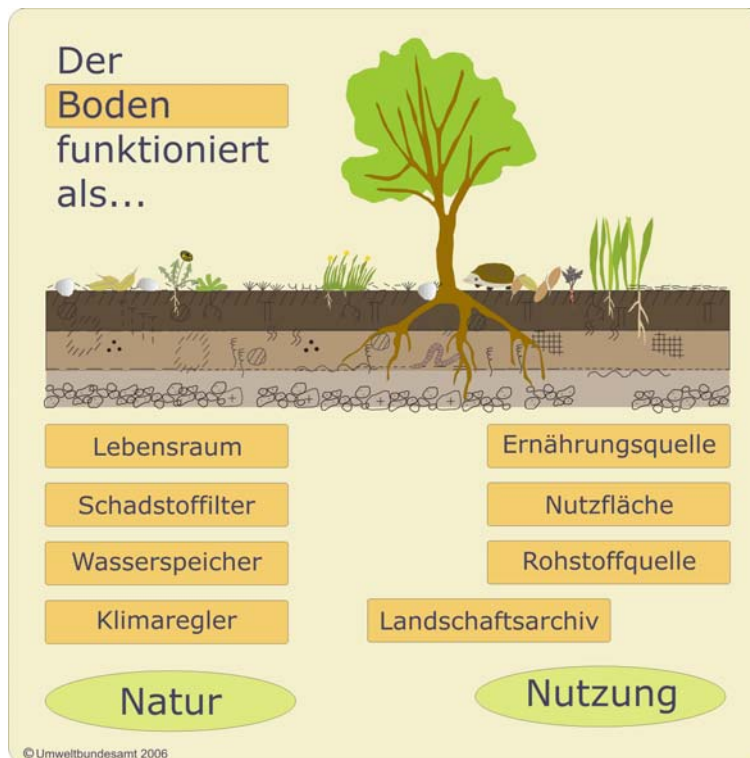


Abbildung 4: Darstellung der Bodenfunktionen nach BBodSchG.

- **Ernährungsfunktion**

Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die Ernährungsfunktion und damit auf das Ertragspotential. Auf welche Weise führen veränderte Verläufe der Bodenfeuchte im Jahresgang zu einer Verringerung der Erträge

Wie verändern sich die Gefahrenpotentiale (vgl. Abbildung 5) im Hinblick auf den gesetzlichen Auftrag bzw. wie wirken sich diese Veränderungen exemplarisch anhand von 2 Gefahrenpotentialen auf die Bodenfunktionen aus?

- **Gefügebeeinträchtigung**

Gefügebeeinträchtigungen durch den zeitlich falschen Einsatz von Geräten in der Land- und Forstwirtschaft, können die Funktionalität des Bodengefüges beeinträchtigen und langfristig zu schädlichen Bodenveränderungen beitragen.

Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Entstehung von Gefügeschäden ist die Bodenfeuchte während der Befahrungen. Es ist deshalb wichtig, Kenntnisse über die Bodenfeuchte im Ober- und Unterboden während der üblichen verfahrenstechnischen Zeitspannen zu erlangen. Im Hinblick auf den Klimawandel ist die Ermittlung des zukünftigen Bodenfeuchteregimes und die modellbasierte Prognose hydraulischer Prozesse eine wichtige Aufgabe. Dieser Forderung kann mit gezielten Intensiv-Messungen des

Bodenwasserhaushaltes und der begleitenden bodenphysikalischen Parameter entsprochen werden. Darüber hinaus sind Vorhersagen zur Entwicklung des Ertragspotentials, des Wasserrückhaltepotentials und der Grundwasserneubildung bei veränderten Klima- und Nutzungsbedingungen möglich.

Die Bodendauerbeobachtung kann hier einen wichtigen Beitrag leisten. Mit einfachen, bodenphysikalischen Analysen, wie der Bestimmung der Wasserspannungskurve (pF-Kurve) und der gesättigten Wasserleitfähigkeit (Kf-Wert) können ausreichende Informationen über den Zustand des Bodengefüges bereitgestellt und der Handlungsbedarf daraus abgeleitet werden. Ergänzt werden können die gefügebezogenen Informationen noch durch eine Feldgefügeansprache anlässlich der Probenahme. Die Bundesländer Bayern (LfL) und Thüringen (TLL) praktizieren seit einigen Jahren entsprechende Datenerhebungen mit zeitlich angepassten Wiederholungsuntersuchungen. Eine Intensiv-Beobachtung besteht u.a. in Niedersachsen und Sachsen auf landwirtschaftlichen Flächen und länderübergreifend auf den Forstflächen (Level II).



Abbildung 5: Darstellung der Gefahrenpotentiale für den Boden.

- Bodenabtrag durch Wasser und Wind (Erosion)**
 Der oberflächliche Bodenabtrag durch Wasser und Wind (Erosion) hat in Abhängigkeit von den Niederschlagsverhältnissen, der Bodenbeschaffenheit,

der Geländesituation und den Bewirtschaftseinflüssen eine hohe Variabilität in der Art und Menge sowie in der räumlichen Verteilung. Damit verbunden sind Gefahrenpotentiale wie der Austrag von Nähr- und Schadstoffen in Oberflächengewässer, eine Verringerung der Bodenmächtigkeit und damit der nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit sowie dem generellen Verlust an humosem Oberboden. In Anbetracht des zu erwartenden Wandels des Niederschlagsregimes (erwarteter Anstieg Starkregenereignisse, Verschiebung in Zeiten mit geringer Bodenbedeckung) ist eine systematische bundesweite Beobachtung geboten, denn es fehlt weiterhin an bundesweit belastbaren empirischen Angaben zur Quantität und Art der linearen Abtragsereignisse in Abhängigkeit von klimatischen Faktoren und der Bewirtschaftung. Die Daten helfen bei der Bestimmung des Verringerungspotentiales durch angepasste Bewirtschaftungsformen, ermöglichen die Maßnahmenwahl zur Einhaltung der Anforderungen durch die WRRL und bieten die Möglichkeit Förderinstrumente den tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen. Das Bundesland Niedersachsen (LBEG) betreibt in Kooperation mit der Universität Hannover ein Dauerbeobachtungs-Programm zum oberflächlichen Stoffabtrag in Testgebieten, die sowohl die Bodenvariabilität als auch die unterschiedlichen Klima- und Bewirtschaftungseinflüsse abbilden. Auf Basis dieser Daten war es möglich ein einfaches, regionales Beratungsverfahren zur Ableitung des IST- Zustandes und ggf. der Umsetzung von Minderungsmaßnahmen auf Betriebsebene zu erstellen.

8. Ausblick

Derzeit läuft ein Forschungsprojekt am Umweltbundesamt, das die Entwicklung eines Methoden-Codes nach Maßgabe der BZE und in Zusammenarbeit mit dem Forstressort zum Inhalt hat. Im Ergebnis wird der Code sowohl für die BZE als auch für die Bodendauerbeobachtung anwendbar sein, so dass nicht nur eine länderübergreifende Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet wird. Hier ergäbe sich zusätzlich eine Einsatzmöglichkeit im untergesetzlichen Regelwerk des BBodSchG. Das Forschungsprojekt wird in einem 2.Teil Antworten auf die Indikatoreignung der Daten geben und die Interpretation von Trendaussagen verbessern, indem Hinweise auf die Interpretation der Heterogenität von Zeitreihendaten gegeben werden.

Eine weitere Forderung zur Verbesserung der Qualität und Vergleichbarkeit von Messgrößen bleibt die Eichung und Angabe der Messgenauigkeit in den beteiligten Laboren bzw. der angewandten Messverfahren. Dieser Forderung kann nur mit entsprechenden Ringversuchen und Referenzmaterial nachgekommen werden.

Für die Zukunft ist die Durchführung einer gemeinsamen Auswertung auf Bundesebene geplant, die nach dem Abschluss der derzeit in der Umsetzung befindlichen Datenmigration und -zusammenstellung erfolgen kann. Diese

Zusammenstellung kann nur in gemeinsamer Abstimmung mit den Ländern erfolgen und erfordert Aufwendungen für die Umsetzung eines dauerhaften und effizienten Datenaustausches, der bislang nicht gegeben war.

Dipl.-Geogr. Stephan Marahrens

Umweltbundesamt – FG II2.7 Bodenzustand/ Bodenmonitoring

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau

Tel: 0340-2103-2396

stephan.marahrens@uba.de

<http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/boden/index.htm>

<http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/boden/bodenschutz/dauerbeobachtung.htm> (mit

Verlinkung zu den UBA-Texten zum Thema bzw. Forschungsprojekten)



Das Lebensministerium

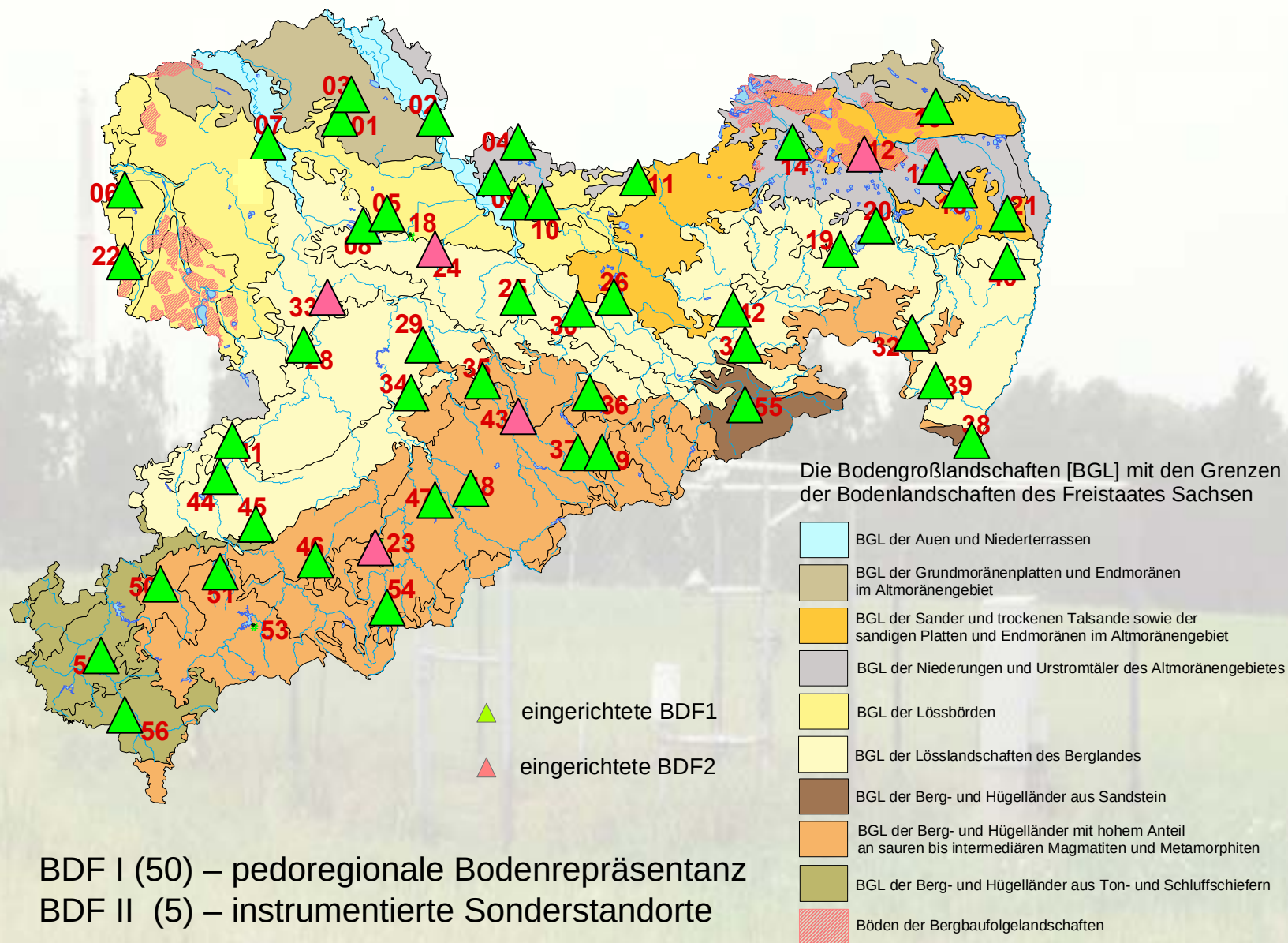


Abbildung von Klimaereignissen in Messungen des Bodenmonitorings



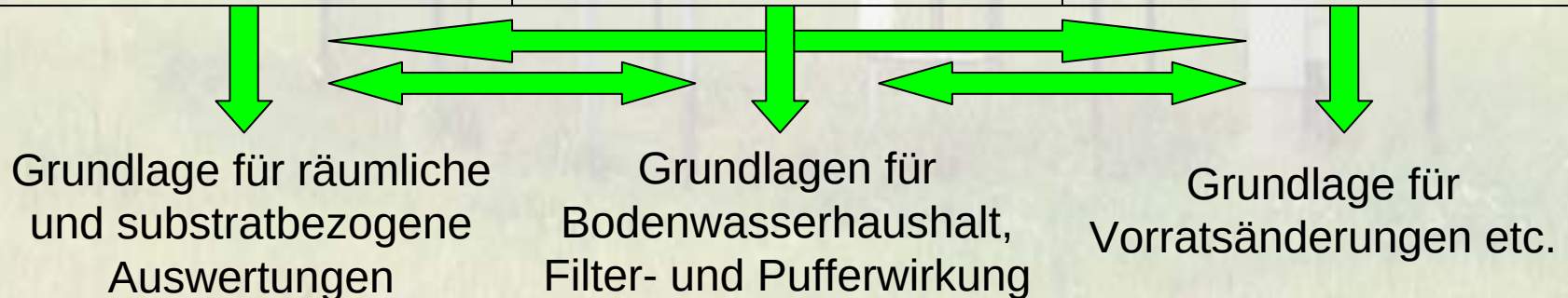
Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

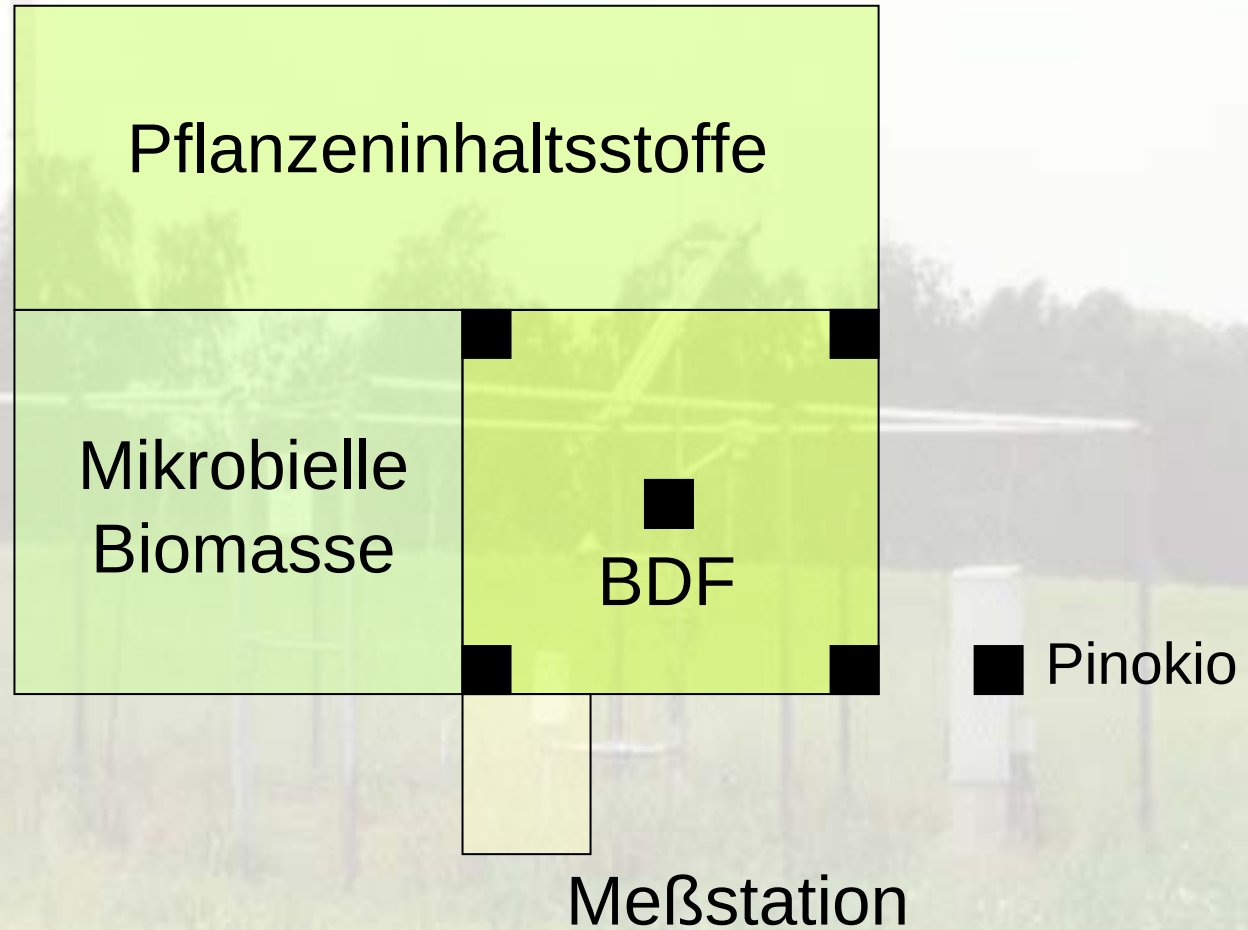


Grundlegende Informationen über Bodendauerbeobachtungsflächen

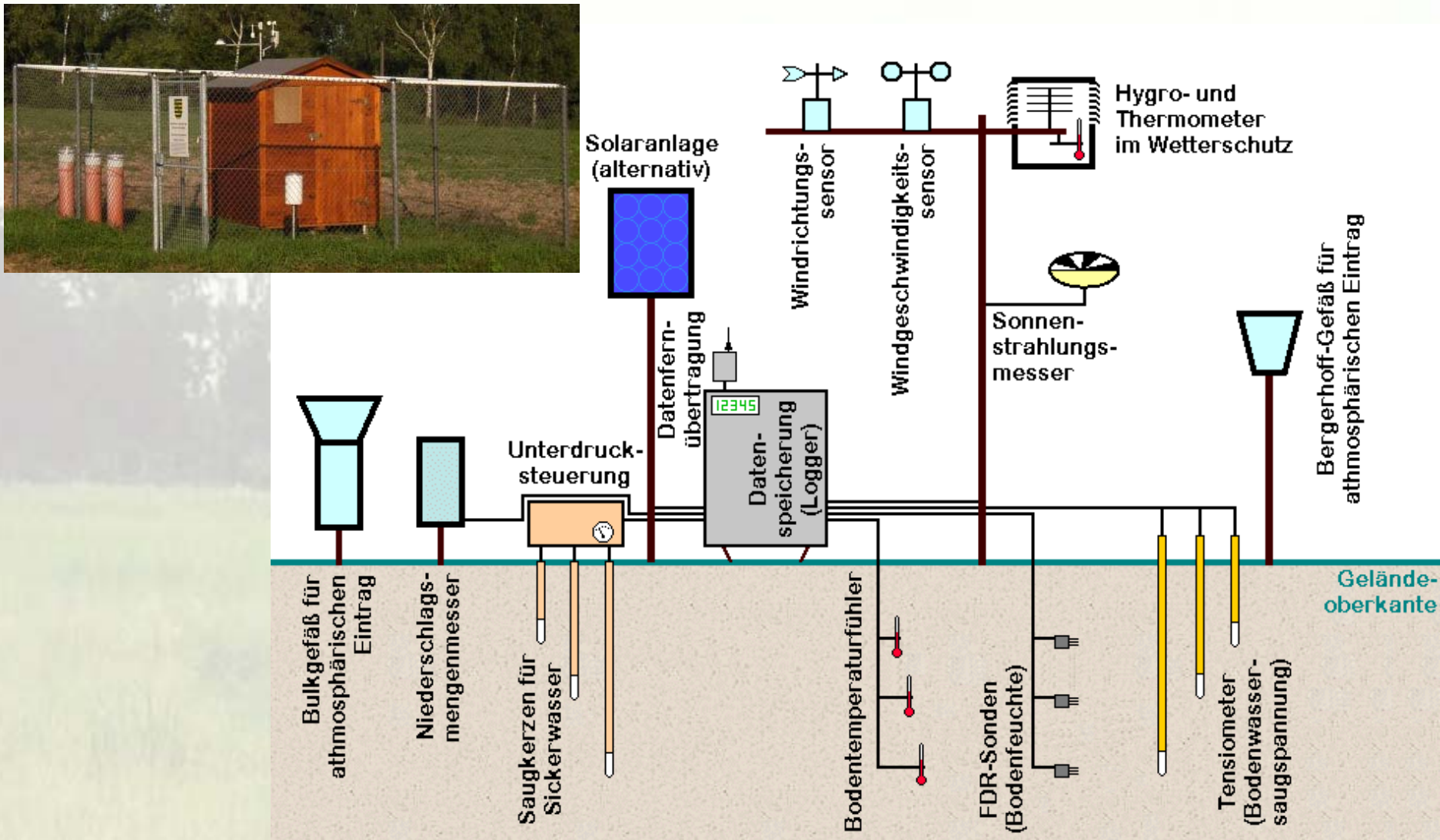
Allgemeine Charakterisierung	Bodenphysikalische Eigenschaften	Bodenchemische Eigenschaften
➤ Bodenregion ➤ Bodenform (Boden- und Substrattyp) ➤ Naturraum ➤ Klima ➤ Bewirtschaftungsdaten	➤ Kornverteilung ➤ Wasserdurchlässigkeit ➤ Rohdichte ➤ Gesamtporenvolumen ➤ Grob-, Mittel-, Feinporen	➤ pH-Wert ➤ KAKpot, KAKeff ➤ Gesamtgehalte der Hauptelemente, Schwermetalle, Nichtmetalle ➤ Verfügbare Anteile von Schwermet. & As ➤ pflanzenverfügbare Nährstoffe



Räumliche Aufteilung einer Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF II)



Schematischer Aufbau einer BDF II



zusätzliche Parameter für BDF II

Oberirdisch	Unterirdisch
<i>Meteorologische Messwerte:</i> ➤ Globalstrahlung ➤ Luftfeuchte, Lufttemperatur ➤ Windgeschwindigkeit ➤ Windrichtung ➤ Niederschlagsmenge <i>Deposition:</i> ➤ Hauptelemente ➤ Schwermetalle, As <i>Pflanzeninhaltsstoffe:</i> ➤ Schwermetalle, As	<i>Bodenphysikalische Messwerte:</i> ➤ Bodentemperatur ausgewählter Horizonte ➤ Wasserspannung & Wassergehalt ausgewählter Horizonte <i>Bodensickerwasser:</i> ➤ pH-Wert, elektr. Leitfähigkeit ➤ Hauptelemente, Schwermetalle, As <i>Mikrobiologie:</i> ➤ mikrobielle Biomasse, Bodenatmung ➤ metabolischer Quotient

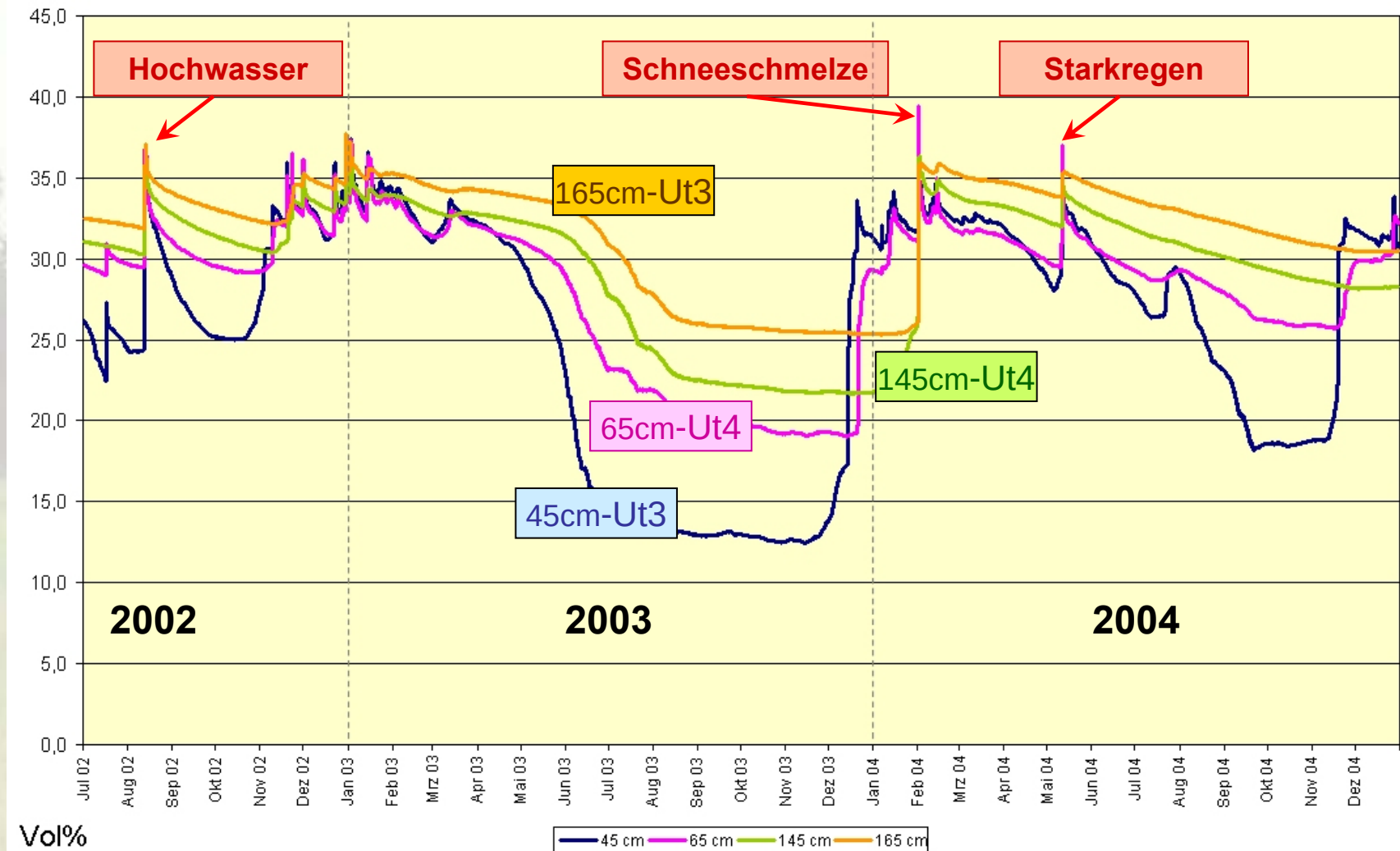


Grundlagen für Bodenwasserhaushalt und des Stoffkreislaufes

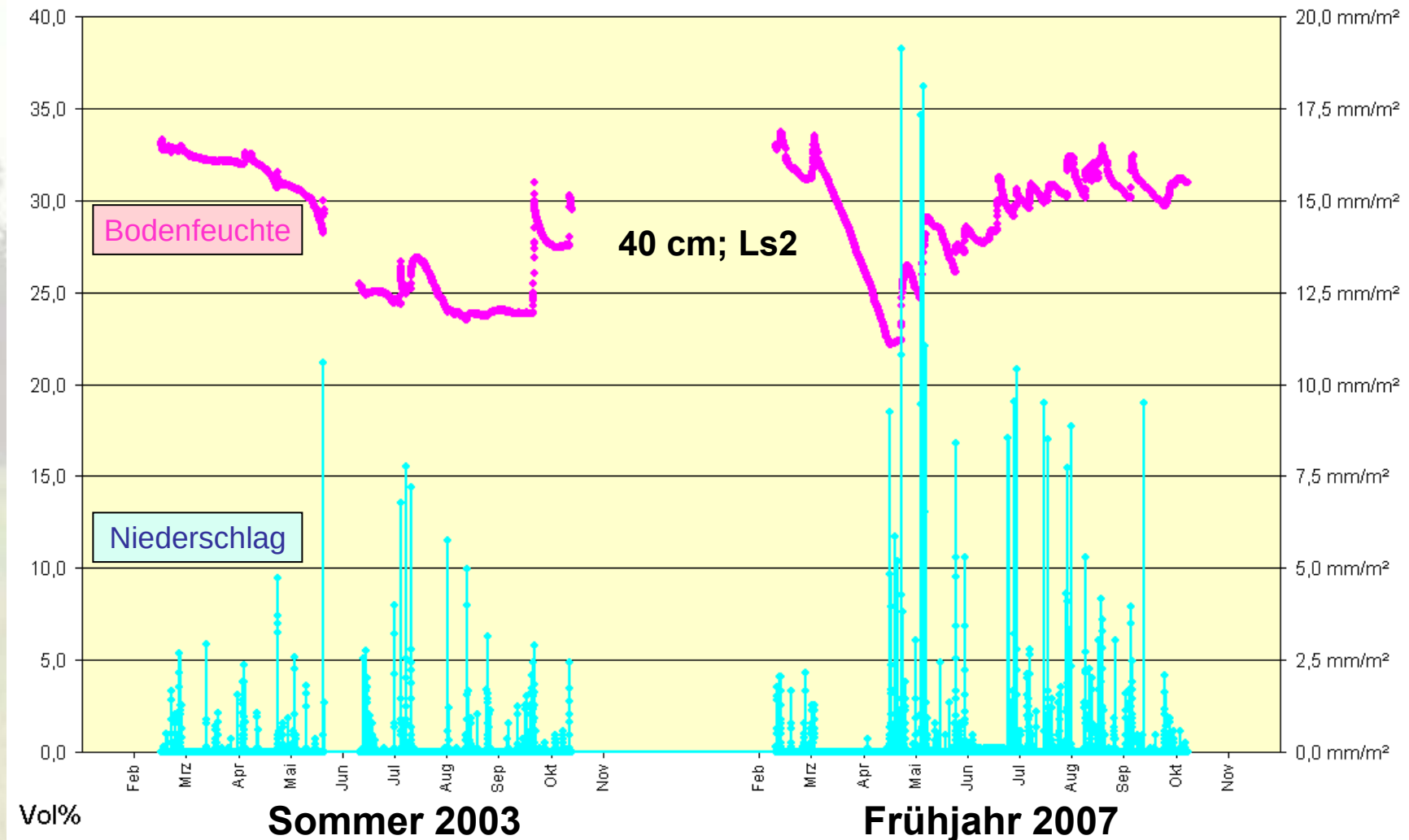
Extreme Trockenheit



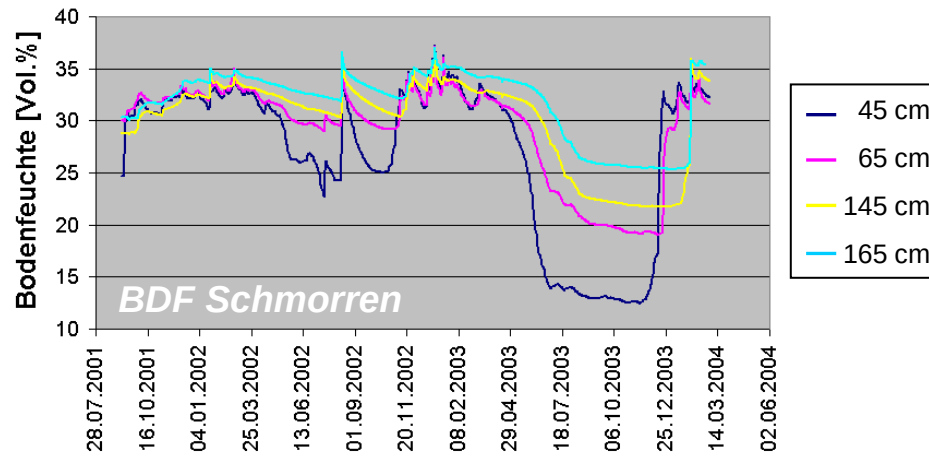
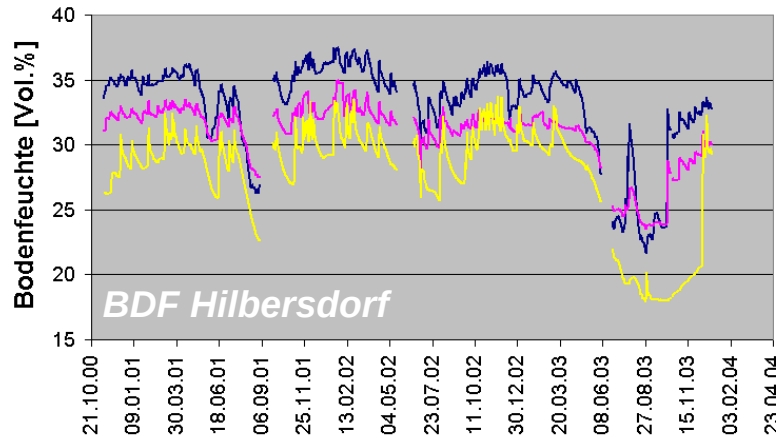
Auswirkungen von extremer Trockenheit bzw. starkem Regen auf den Bodenfeuchteverlauf – BDF II Schmorren (Parabraunerde-Tschernosem aus Schluff)



Auswirkungen von extremer Trockenheit auf den Bodenfeuchteverlauf – BDF II Hilbersdorf (Braunerde-Pseudogley aus Normallehm aus Gneis und Lösslehm)



Auswirkungen von extremen Wettersituationen (trockener Sommer) auf die Bodenfeuchte: Permanenter Welkepunkt (PWP)



PWP - Hilbersdorf

Erzgebirgsnord-
abdachung

25cm- 14%; Uls

40cm- 13%; Ls2

80cm- 10%; SI3

PWP - Schmorren

Mittelsächsisches
Lösshügelland

45cm- 11%; Ut3

65cm- 17%; Ut4

145cm- 21%; Ut4

165cm- 9%; Ut3

WEREX- Daten bis 2050 prognostizieren

➤ weiterhin **feuchte Winter**: Es ist auch in Zukunft genügend Wasser in dieser Zeit vorhanden, um den Bodenspeicher aufzufüllen.

➤ tendenziell **trockenere Sommer**: Das Bodenwasser wird fast vollständig verbraucht (d. h. bis zum PWP). Es ist unklar, ob dies bleibende Veränderungen des Bodenspeichers hervorruft.



Dies hat Folgen für die Pflanzen und evtl. den Bodenspeicher selbst.

Starkregenereignis



Stoffdynamik: As-Verlagerung mit dem Sickerwasser im Verlauf plötzlicher Niederschläge im Hilbersdorf in Jahren 1997 und 2002

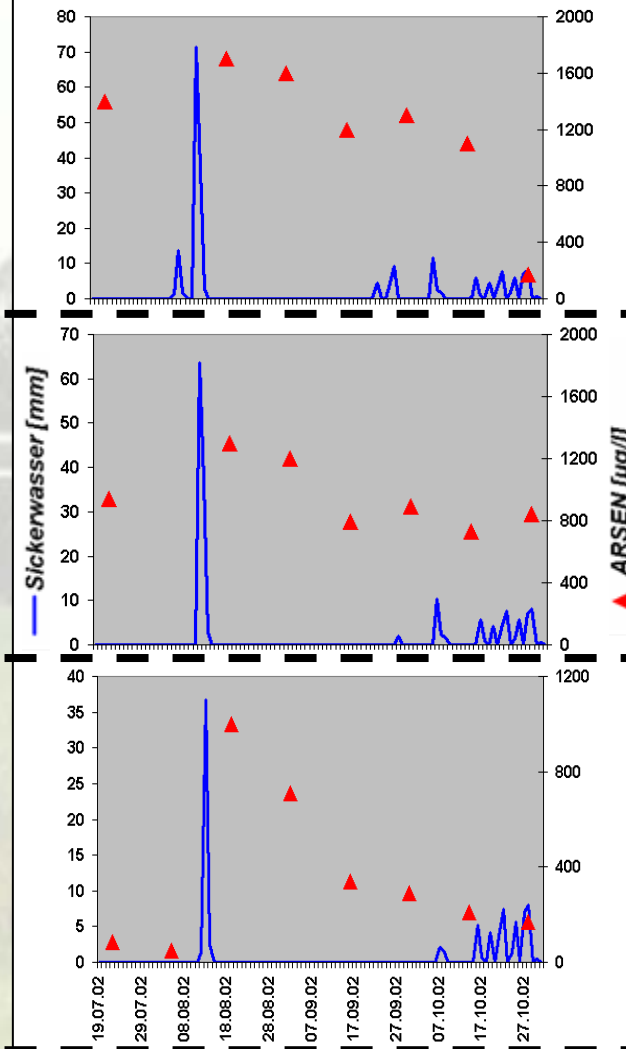
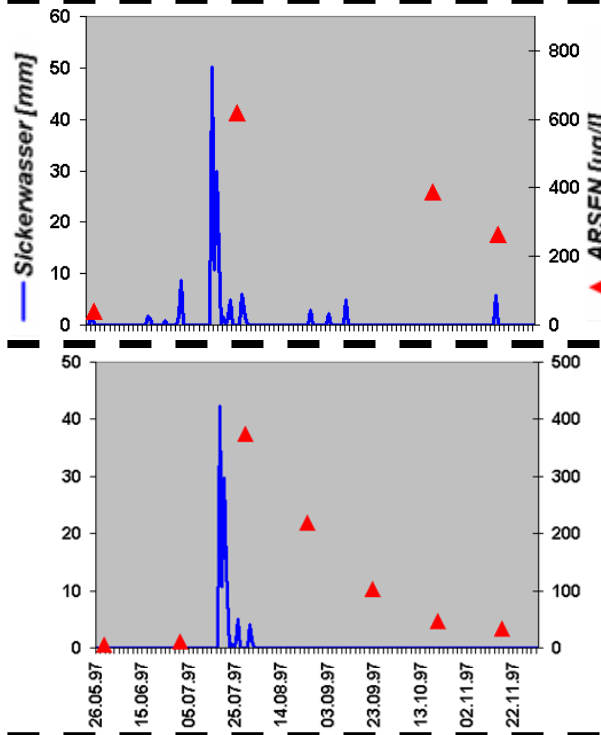
- plötzlicher Anstieg der BSW-Menge führt zum Anstieg des As-Konz. im Sickerwasser
- wichtig bei GW-Schutz!
- wichtig bei Nutzungsänderung (z. B. Aufforstung)

25 cm

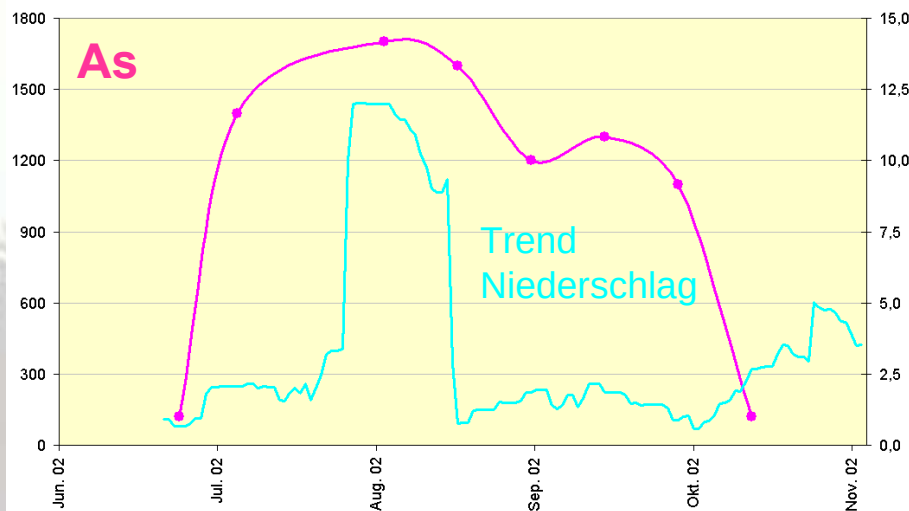
Teufe

40 cm

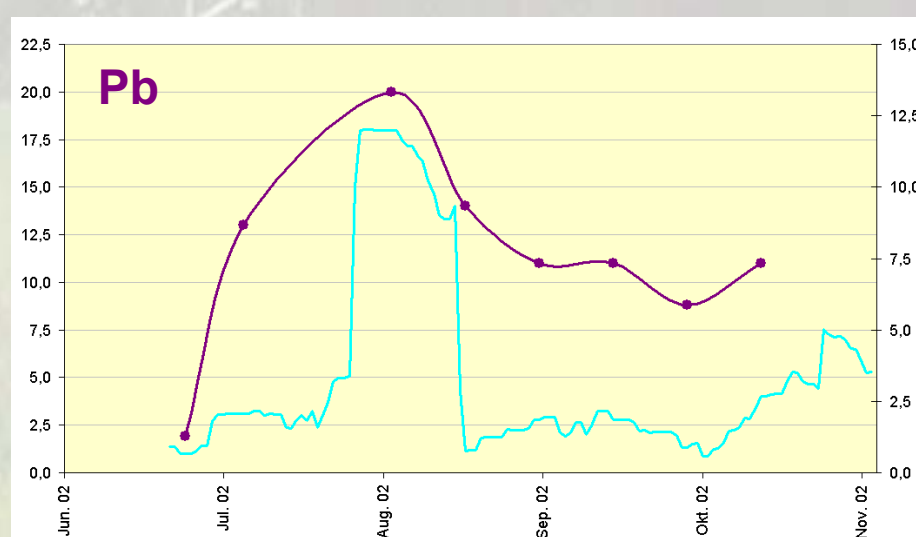
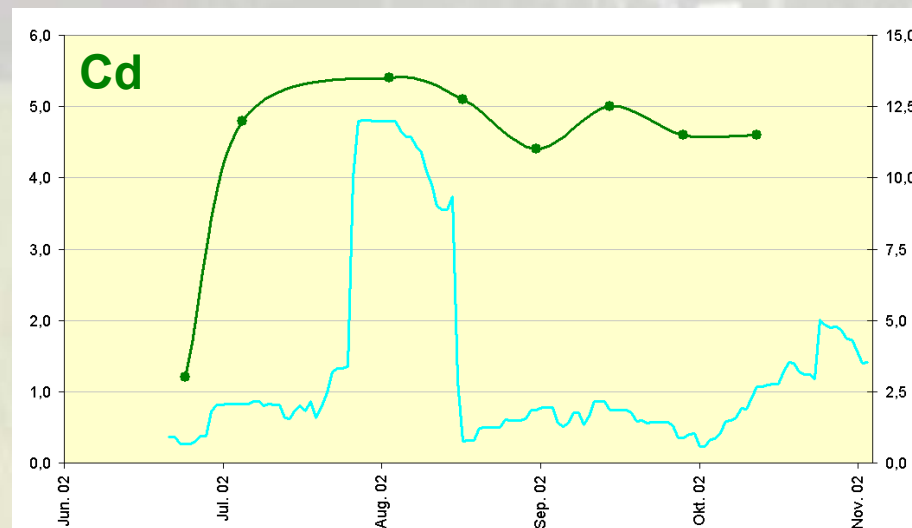
80 cm



Verlauf der Elementkonzentration im Sickerwasser in 25 cm Tiefe nach einem Starkregenereignis (Hochwasser 2002) – BDF II Hilbersdorf



Elementspezifisches Verhalten

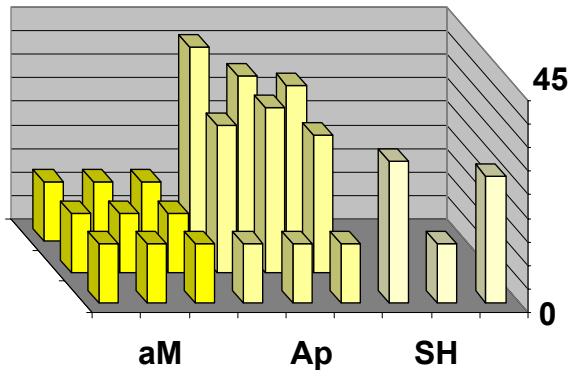


Hochwasser 2002



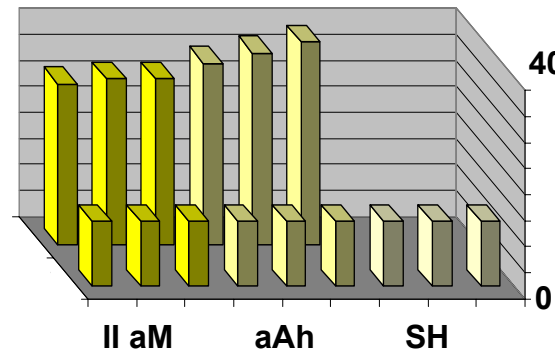
Verhalten des Elements Arsen im Boden vor und nach dem Hochwasser 2002

BDF 2-Belgern (Elbe)



As (verfügbar) in µg/kg

BDF 33-Colditz (Zw. Mulde)

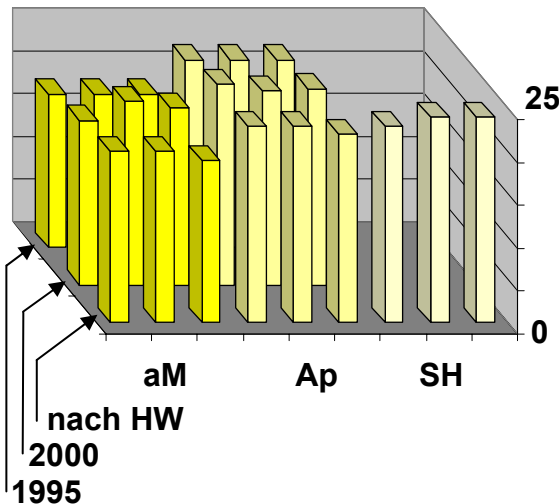


Belgern (Elbe)

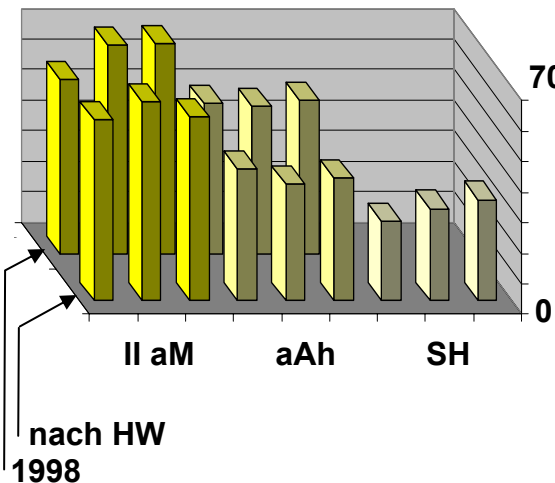
-  Sediment, SI3, ca. 2cm
-  Ap, SI3
-  aM, SI3

Colditz (Zw. Mulde)

-  Sediment, Ss, ca. 4cm
-  aAh, SI2
-  II aM, SI2



As (total) in mg/kg



- Kaum Neueintrag durch Sediment
- Auswaschung des verfügbaren Anteils nach dem Hochwasser



BDF-Daten: komplexe, einzigartige und aufeinander abgestimmte Langzeitmessungen an einer Lokalität

beschreiben Prozesse

Stoffanreicherung und
-abreicherung

Stoffverlagerung und
-auswaschung

Stoffumverteilung

Stoffkreisläufe

Dynamik der Wasser-
und Stoffbewegung

Stoffbilanzen (Pfade
Boden-Pflanze; Luft-
Boden; Boden-
Bodensickerwasser)

liefern Eingangsdaten

Kalibrierung von
Bodenwasser-
haushaltsmodellen

Modellrechnung der
Grundwasser-
neubildung

Modellrechnung der
atmosphärischen
Ausbreitung

Modellrechnung der
Elementverteilung
zwischen Boden und
Sickerwasser

ermöglichen Prognose

Auswirkungen von
Klimaveränderungen auf
Bodeneigenschaften und
Pflanzenwachstum

Auswirkungen von
Klimaveränderungen auf
Grundwasserneubildung

Auswirkungen von
Nutzungsänderungen

Stoffvorratsänderung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Bodenmonitoring

Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)

Schnittstellen zur Klimaforschung, Synergien und Handlungsbedarf

Bernd M. Bussian, UBA FG II 2.7

1 Vorbemerkungen

Mit diesem Beitrag soll dargestellt werden, welche Daten im Rahmen der **BodenZustandsErhebung** (BZE II) erhoben werden und wie diese für das Thema „Böden im Klimawandel – Was tun?!“ nutzbar gemacht werden können.

Dieser Beitrag hat nicht zum Ziel, Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Böden, Bodenfunktionen, Bodennutzungen und dem Klima und den sich daraus eventuell ergebenden Klimafolgen zu diskutieren.

Es werden folgende Aspekte erörtert:

- Welche Daten sind verfügbar?
- Was sind Anforderungen an die Daten (fachlich-technisch und organisatorisch)
- Was gilt es weiter zu entwickeln und zu verbessern (Zusammenarbeit, fachlicher Austausch)

Klima und Wald befinden sich in einer unauflösbaren Wechselbeziehung. Der Wald ist Mitverursacher, Betroffener und Helfer des Klimawandels zugleich.

Als Beispiel für die Betroffenheit sei der Wirbelsturm Kyrill genannt, der allein in Deutschland erhebliche wirtschaftliche, insbesondere auch forstwirtschaftliche Folgeschäden verursachte. Annähernd 40 Millionen Festmeter Holz fielen dem Sturm zum Opfer. Ob oder in welchem Ausmaß Kyrill ein Ausdruck des Klimawandels ist, soll hier nicht quantifiziert werden. Kyrill hat spürbar die Folgen von Extremereignissen des Klimas gezeigt.

Die Bedeutung des Waldes für den Klimaschutz haben die Umweltminister der Länder und des Bundes auf der Sonder-Umweltministerkonferenz "Klimawandel und Konsequenzen" am 22. März 2007 in Düsseldorf hervorgehoben (siehe Kasten).

Erklärung der Umweltministerkonferenz anlässlich der Sonder-Umweltministerkonferenz "Klimawandel und Konsequenzen" am 22. März 2007 in Düsseldorf (Auszug)

Die Umweltministerinnen, -minister, -senatorin und -senatoren des Bundes und der Länder betonen den Stellenwert, den der Erhalt und die Wiederaufforstung von Wäldern für den Klimaschutz haben. Wälder binden einerseits in erheblichem Maße CO₂, setzen aber auch große Mengen CO₂ frei, wenn sie zerstört werden. Eine wirksame Klimaschutzpolitik muss einerseits die durch die Abholzung und das Abbrennen von Wäldern bedingten CO₂-Emissionen verringern und andererseits die Senkenfunktion der Biosphäre durch ein weltweites Wiederaufforstungsprogramm erhöhen. Die Umweltministerinnen, -minister, -senatorin und -senatoren des Bundes und der Länder fordern daher dazu auf, sich gegen die weitere Abholzung von Primär- und Sekundärwäldern und für deren Schutz bzw. nachhaltige Bewirtschaftung einzusetzen. Bei künftigen Klimaschutzverhandlungen ist darüber hinaus anzustreben, dass die Senkenleistung von Wäldern bei der Einhaltung von CO₂-Minderungspflichten angerechnet wird.

Um dieses strategische Ziel, den Schutz und Erhalt der Wälder zu erreichen, bedarf es eines kontinuierlichen und verlässlichen Beobachtens des Waldzustandes.

Neben der reinen Erfassung des Ist-Zustandes soll ein Monitoring auch Veränderungen erfassen, um frühzeitig steuernd eingreifen und Schäden abwehren zu können.

2 Elemente des ökologischen Umweltmonitorings im Wald

Bereits zum Ende der 60´er Jahre wurden in Deutschland Dauerbeobachtungsflächen für das Waldschadensmonitoring eingerichtet. Eine wesentliche Weiterentwicklung fand das Monitoring des Waldes in Deutschland in den 80´er Jahren und wurde geprägt durch die Untersuchungen und Erkenntnisse zum Waldsterben und durch die Anfänge der Klimadiskussion.

In diesem Kontext standen die Wirkungen von Luftschadstoffen auf Waldökosysteme im Vordergrund (vgl. Forschungsprogramms "Waldschäden durch Luftverunreinigungen" 1982-1987, veröffentlicht in der Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 341).

Ende der 80´er Jahre verschob sich die Debatte von den Wirkungen der Luftschadstoffe in Richtung der Besorgnis um Veränderungen des – globalen – Klimas. In der 11. Legislaturperiode beantragten die Fraktionen von CDU/CSU und FDP eine Enquete-Kommission zum Thema "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", welche insbesondere auf Betreiben der Fraktion „DIE GRÜNEN“ auch den langfristigen Klimaschutz thematisierte. Diese Enquete hatte das Ziel, eine Bestandsaufnahme über die globalen Veränderungen der Erdatmosphäre vorzunehmen und den Stand der Ursachen- und Wirkungsforschung darzustellen. Nationale sowie internationale Vorsorge- und Gegenmaßnahmen zum Schutz von Mensch und Umwelt sollten vorgeschlagen werden.

Parallel zu den Entwicklungen eines nationalen Umweltmonitoringprogrammes im Wald wurde auf internationaler Ebene das Gemeinschaftsprogramm ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests im Rahmen der Umsetzung der UNECE Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen) etabliert und durch EU-Verordnungen für die Mitgliedsländer rechtsverbindlich geregelt.

ICP-Forests unterscheidet zwischen zwei Intensitätsebenen der Messprogramme:

LEVEL I:

- regelmäßige Beprobung mit einem statistisch abgesicherten Stichprobenverfahren
- lokal mit hoher Auflösung in einem systematischen Raster
- Messkampagnen zeitlich gestreckt

Auf europäischer Ebene wird das Level I-Monitoring des ICP-Forests auch als EU-BioSoil-Programm bezeichnet.

LEVEL II:

- Intensivmessprogramm auf ausgewählten Referenzflächen
- Beschreibung des zeitlichen Verlaufs mit geringer räumlicher Auflösung
- Zielgröße: Stoffeinträge und Stoffausträge
- Bioindikation: Bodenvegetation, Flechten, Holzzuwachs, Baumernährung

In dieses supra-nationale Umweltbeobachtungsprogramm lassen sich die deutschen Monitoringsysteme des Ökosystems Wald einordnen. Zu den LEVEL-I-Messprogrammen zählen:

- **BundesWaldInventur** – BWI
- **WaldZustandsErhebung** – WZE, vormals die **WaldSchadensErhebung** – WSE
- **BodenZustandsErhebung im Wald** – BZE

BundesWaldInventur – BWI

Erfassung der großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten auf Stichprobenbasis nach einem einheitlichen Verfahren in ganz Deutschland

Die BWI ist im Bundeswaldgesetz BWaldG in § 41a Bundeswaldinventur gesetzlich verankert. Die Erhebung erfolgt durch die Länder, die Zusammenführung und Auswertung erfolgt durch den Bund (BMELV).

BWI 1: 1986 bis 1989

BWI 2: 2001 bis 2002

BWI 3: 2011 bis 2012 (geplant)

Unter das LEVEL II-Programm mit 86 Flächen bundesweit fallen vor allem die Dauerbeobachtungsflächen der Länder.

WaldZustandsErhebung – WZE, vormals die **WaldSchadensErhebung** – WSE

Erhebung zum Kronenzustand auf der Grundlage eines statistisch abgesicherten Stichprobenverfahrens

Beginn in 1982

1984 - Aufnahmeverfahren und Abstimmung mit den übrigen Bundesländern

Seitdem weitgehend jährliche Wiederholung

Regelmäßiges Raster 16 km x 16 km, teilweise Verdichtung in den Ländern

Kriterien: Verlichtung der Baumkronen, Vergilbung der noch vorhandenen Nadeln und Blätter als Indikatoren für die Vitalität der Bäume

Die Ergebnisse der WZE werden vom Bund (BMELV) zusammengeführt und vergleichend dargestellt.

Es erfolgt vergleichbare Anwendung des Verfahrens in fast allen anderen Staaten Europas.

Die thematische Schwerpunktsetzung des forstlichen Umweltmonitorings hat sich seit den 80´er Jahren verschoben. Standen anfangs Umweltveränderungen durch versauernde und eutrophierende Luftverunreinigungen im Vordergrund, so erlangen die Daten des forstlichen Umweltmonitorings heute wachsende Bedeutung für die Bewertung von Klimaänderungen und ihrer Wirkungen sowie für die Ableitung von Anpassungsstrategien.

3 Zielsetzung und Konzeption der Bodenzustandserhebung im Wald

Das Oberziel der BZE ist es, Zustand und Veränderungen des Ökosystems Wald zu erfassen und Information als Entscheidungshilfe zur Erfüllung gesetzlicher Aufgaben sowie zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Verwaltung zu liefern. Auf den Erfahrungen dieser generellen Zielsetzung der BZE I (1987 - 1993) wurde die Zielsetzung der BZE II konkretisiert und um aktuelle Fragestellungen erweitert.

Zeitplan der BZE II

Mitte 2004	Abschluss der inhaltlichen Vorarbeiten, insb. Klärung aller inhaltlichen, verfahrensmäßigen und haushaltsrechtlichen Fragen
2005	Logistische Vorbereitung der Außenaufnahmen: Erstellung der Verfahrenshandbücher, Durchführung von Schulungen, Vorbereitung der Aufnahmebelege und -unterlagen etc.
2006 – 2008	Durchführung der Außenaufnahmen
2006 – 2008	Durchführung der WZE auf dem BZE-Stichprobenraster (8 km x 8 km)
2006 – 2008	Durchführung der Probenahme Nadel-/Blattproben
2006 – 2008	Durchführung der Laboranalysen
2009 – 2012	Auswertung auf Bundesebene (BFH)
2013	Bundesbericht

Quelle: BMELV, Zielsetzung und Konzeption der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II-Konzeptpapier)) – www.bmelv.de

Dieses umfassende Arbeitsprogramm der BZE kann nur durch eine abgestimmte Planung aller beteiligten Institutionen der Länder und des Bundes bewältigt werden. Es hat sich als ausgesprochen hilfreich herausgestellt, dass in der Vorbereitungsphase der BZE II das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) mit Unterstützung des nachgeordneten Bereiches (Bundesforschungsinstitut für Holz- und Forstwirtschaft (BFH), seit 01.01.08 Johann Heinrich von Thünen-Institut - Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei) in Zusammenarbeit mit den Ländern sowie der Bundesanstalt für

Geowissenschaften und Rohstoffe und dem Umweltbundesamt die Koordinierung der BZE übernommen hat.

Zielsetzung der BZE I

Die BZE soll zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Informationen liefern

- über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderungen im Laufe der Zeit in Verbindung mit dem aktuellen Kronenzustand der Waldbäume (Anbindung an das Waldzustandserhebungsnetz),
- für eine bessere Übertragbarkeit der Ergebnisse der Waldbodenforschung auf größere Waldflächen,
- als Beitrag zur Identifizierung von Ursachen der Veränderungen des Bodenzustandes sowie des Einflusses von Depositionen,
- zur Einschätzung von Gefahren, die sich für den derzeitigen Waldbestand und für die nächste Waldgeneration aus dem Bodenzustand ergeben,
- zur Einschätzung von Risiken für die Qualität von Grund-, Quell- und Oberflächenwasser,
- zur Planung und Durchführung von notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bodenzustandes sowie des Nährstoffangebotes im Boden und der Nährstoffaufnahme durch die Baumwurzeln.

Dieser Auftrag gilt auch für die anstehende BZE II. Neue Erkenntnisse, politische Anforderungen und gesetzliche Aufgaben machen es aber notwendig, in der Zielsetzung der BZE II neue Aspekte zu berücksichtigen. Die BZE II soll zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Beiträge liefern zu:

- Bodenversauerung (Pufferfunktion)
- Schadstoffbelastung (Filter-, Stoffumwandlungsfunktion)
- Stickstoffsättigung (Stoffumwandlungsfunktion)
- Kohlenstoffspeicherung (Stoffumwandlungsfunktion)
- Wasserhaushalt unter veränderten Klimabedingungen
- Waldböden als natürliche Produktionsgrundlage der Forstwirtschaft

Quelle: BMELV, Zielsetzung und Konzeption der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II-Konzeptpapier) – www.bmelv.de

Die BZE II soll für zukünftige Untersuchungen Daten liefern. Bei ihrer Konzeption wurden deswegen die folgenden Themenbereiche intensiv hinsichtlich ihres Datenbedarfes beleuchtet:

- Wirkung verschiedener Bodeneigenschaften auf Waldernährung, Waldwachstum, Kronenzustand und Sickerwasserqualität
- Verallgemeinerung von Ergebnissen auf Intensiv-Messflächen (Level II-Programm)

- Veränderungen von Bodeneigenschaften (BZE I vs. BZE II)
- Fachliche Unterstützung für Bewertungen, Risikoabschätzung, Planung und Kontrolle von Umwelt-Maßnahmen

4 Durchführung und Daten der BZE II

Nachdem die Forstchefkonferenz (FCK) auf der Sitzung am 10./11.04.2003 einer Wiederholungsaufnahme des Bodenzustandes im Wald (BZE II) in den Jahren 2006 – 2008 zugestimmt hat, konnten zügig im Jahr 2004 die planerischen Vorarbeiten der BZE II begonnen werden. Seit 2006 werden die Probenahmen an den BZE-Standorten von den Ländern durchgeführt. Parallel haben die ersten Laboruntersuchungen begonnen, nach deren Abschluss die Auswertungen der Daten ansteht. Der Bericht des Bundes ist für das Jahr 2013 vorgesehen.

Die BZE II wird an ca. 2.000 Probenahmeflächen (siehe nachfolgende Abbildung) auf einem gleichmäßig über Deutschland verteilten Raster mit einem Abstand der Rasterpunkte von 8 km x 8 km durchgeführt. An jedem dieser Probenahmeflächen werden allgemeine Angaben der Identifizierung der Stichprobenpunkte erhoben. Um die Einzelergebnisse der Stichprobenpunkte interpretieren zu können und um z. B. mögliche „Ausreißer“ von Einzelergebnissen zuordnen zu können, werden die Standortverhältnisse und die jeweils prägenden Umweltbedingungen dokumentiert. Neben forstkundlichen Daten werden die bodenkundlichen Merkmale erfasst. Sämtliche Erhebungen folgen einschlägigen Verfahren und sind unter den beteiligten Institutionen abgestimmt. Die Aufnahmeteams wurden speziell geschult und sind angewiesen, der abgestimmten Arbeitsanleitung zu folgen.

Aus dem Raster der ca. 2.000 BZE-Probenahmepunkte werden die Punkte des ICP-Forests (EU-BioSoil-Programmes) (16 km x 16 km-Raster, ca. 450 Punkte) ausgewählt. Hiermit ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse auf europäischer Ebene sichergestellt und ein Höchstmaß an gleichartig erhobener Information gewährleistet. Aus Sicht der Erhebung ist der BZE-Datensatz als homogen anzusehen.

Lage aller BZE-Stichprobenpunkte



- + BZE II Punkt
- BZE II /Biosoil Punkt
- Landeshauptstädte

Stand: Dezember 2006

FG II 2.7, Bernd M. Bussian
Bearbeitung: FG I 1.5-SG

**Umwelt
Bundes
Amt**
Für Mensch und Umwelt

Allgemeine Angaben zur Identifizierung der Stichprobenpunkte sowie zur Charakterisierung der jeweils prägenden Umweltbedingungen

- **Titeldaten**
 - Angaben zur Aufnahme
 - Punktnummern
 - Bundesland
 - Angaben zum Punktstatus
 - Angaben zur Netzzugehörigkeit
 - Erhebungsjahr BZE
 - Angaben zu Wuchsgebiet und Wuchsbezirk
 - **Daten zur Georeferenzierung**
 - Nummer der topographischen Karte und Legendeneinheit der Bodenübersichtskarte
 - Gauß-Krüger-Koordinaten
 - Längengrad und Breitengrad
 - Methode zur Einmessung des BZE-Punktes, Einmessgenauigkeit
 - **Daten über die Aufnahmesituation**
 - Höhe über NN
 - Angaben zu Reliefform, Lage im Relief, Hangneigung und Hangneigungsrichtung (Exposition)
 - Klimadaten
 - Charakterisierung der BZE-Punkte nach Standortseinheit, Wasserhaushaltsstufe und Nährstoffausstattung
 - Waldfunktionen
 - Vor- und Nachnutzung
 - Eigentumsart
 - Baumarten des Vorbestandes
 - Historische Nutzungsform
 - **Bodenverändernde Einflüsse**
 - Arten von bodenverändernden Einflüssen
 - Auswirkung auf die Beprobung
 - **Charakterisierung der Vegetation am BZE-Punkt**
 - Charakterisierung der Bestockung
 - Nährelementgehalte und organischer Kohlenstoffvorrat in der Baumbiomasse
 - Beschreibung der Baumvitalität (Kronenzustandserfassung)
 - Aufnahme der Bodenvegetation
 - Nährelementvorräte und organischer Kohlenstoffgehalt in der Bodenvegetation
- ### **Profilaufnahme, Bodenklassifikation und -probennahme**
- **Verhältnis zwischen Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA 5) und BZE II**
 - **Profilaufnahme**
 - Beschreibung der Bodenhorizonte
 - Humusgehalt im Mineralboden (horizontbezogen)
 - Hydromorphiemerkmale (Eisen/Mangan) im Mineralboden
 - Kalkgehalt im Feinboden (Geländemethode, horizontweise)
 - Physiologische Gründigkeit (Durchwurzelbarkeit) und Durchwurzelungsintensität
 - Aktueller Grundwasserstand
 - Scheinbarer Grundwasserstand
 - Humosität / Zersetzungsgrad von Torfen (horizontweise)
 - Sonstige pedogene Merkmale und Bemerkungen (horizontbezogen)
 - **Bodenphysikalische Parameter**
 - Grundsätzliche Aspekte
 - Bodenart
 - Feinbodenmenge

Profilaufnahme, ... (Fortsetzung)

- **Humusformen**

- Klassifizierung der Humusformen im Rahmen der nationalen BZE II
- Klassifizierung der Humusformen an Punkten der europäischen Bodeninventur (16 x 16 km-Raster)

- **Bodenklassifikation**

- Substrattypen / Ausgangsgesteine der Bodenbildung
- Bodentypologische Klassifikation (BZE II-national)
- Internationale Klassifikation der Bodentypen gemäß World Reference Base (EU-Biosoil)

- **Bodenprobennahme**

Parameter zur Charakterisierung der Waldböden bzw. verschiedener Ökosystemkompartimente

- **Grundsätzliche Aspekte**

- Kernfragen der BZE II – Zur Zielstellung
- Grundlagen der Laborarbeit
- Zum Zeitpunkt der Probennahme

Status und Veränderung der Bodenversauerung

- Problemstellung
- Bodenreaktion (pH-Wert)
- Austauschkapazität in Humusaufgabe, Mineralboden und Bodenskelett
- Basensättigung in der Humusaufgabe und im Mineralboden
- Bestimmung von Nitratstickstoff im Mineralboden
- Bestimmung von Sulfatschwefel im Mineralboden
- Humusformenspezifische C/N-Verhältnisse

- **Status und Veränderung von Stickstoff in den Kompartimenten der Waldökosysteme**

- Problemstellung
- Gehalt an Gesamtstickstoff in der Bodenfestphase
- Nadel-/Blattgehalte – Ernährungsstatus der Waldbäume

- **Vorrat an Kohlenstoff**

- Problemstellung
- Organische Kohlenstoffvorräte in Humusaufgabe und Mineralboden
- Carbonatgehalte in der Humusaufgabe und im Mineralboden
- Organische Kohlenstoffvorräte in der Biomasse

- **Hintergrundbelastung mit Schwermetallen und persistenten organischen Stoffen**

- Schwermetallgehalte
- Persistente organische Stoffe (Organika)

- **Regenerationsfähigkeit der Waldböden und Standortsnachhaltigkeit**

- Problemstellung
- Kurz- und mittelfristige Nährstoffversorgung
- Mittel- bis langfristige Nährstoffversorgung
- Langfristige Nährstoffversorgung – Langfristig mobilisierbare Hauptelementvorräte durch Mineralverwitterung
- Sensitivität gegenüber Versauerung und Eutrophierung durch atmosphärische Einträge von Schwefel- und Stickstoffverbindungen wie auch gegenüber Schwermetalleinträgen

- **Wirkungen der Bodenschutzkalkung auf Bodenchemie und Ernährungszustand der Waldbäume**

- Problemstellung
- Parameter zur Untersuchung dieser Fragestellung

- **Sonstige Parameter der BZE II**

- Bodenwasserhaushalt
- Bestimmung von reaktivem Eisen und Aluminium
- Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors / Phosphatstatus

5 Ausblick und Schlussbemerkung

Die Zusammenarbeit im Rahmen der BZE II zeigt, dass ein konzeptionell abgestimmtes Vorgehen aller Länder- und Bundesbehörden, gerade auch bei unterschiedlichen Ressortinteressen, einen erheblichen Synergieeffekt ergeben kann. Ohne diesen Synergieeffekt wäre eine Erhebung in dem Umfang der BZE II sowohl aus logistischen als auch aus Kostengründen nicht möglich. Erst die Beteiligung der unterschiedlichen Bereiche Forsten, Umwelt und Geologie etc. bringt eine interdisziplinäre Breite, die der Fragestellung der BZE angemessen ist.

Die Beteiligten der BZE sind davon überzeugt, dass der integrative und interdisziplinäre Ansatz der BZE II flächendeckend repräsentative und räumlich differenzierte Daten für unterschiedliche Bedarfe an Waldzustandsdaten abdeckt.

Die Vernetzung und Harmonisierung der Erhebungen war bei der BZE II ein strategisches Ziel. Deswegen war es wesentlich, auf einheitliche Vorgaben an die Probenahme zu achten, Verknüpfungen, Bezüge und Kompatibilitäten der Daten sicherzustellen und einheitliche Vorgaben an die Datenqualität zu definieren. Ob und in welchem Umfang diese Ziele erfüllt werden können, wird die Auswertung und weitere Nutzung der Daten zeigen. Die Daten der BZE sollten daher der Fachöffentlichkeit für weitere, auch über die BZE hinaus gehende Auswertungen zur Verfügung stehen. Ein Netzwerk für den Datenaustausch könnte hier hilfreich sein.

Die BZE II wird in Fortentwicklung der BZE I auch zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Beiträge zu klimarelevanten Parametern wie dem Stickstoffstatus von Waldböden, der Kohlenstoffspeicherung und der Änderungen des Kohlenstoffvorrats von Waldböden liefern.

Um langfristige Auswirkungen auf Wälder durch Luftverunreinigungen und Klimaänderung zu erfassen, sind wiederholte Erhebungen notwendig. Die BZE ist daher als periodisch wiederkehrende Erhebung (Zeitreihe) konzipiert; ihre Methodik ist darauf abgestimmt, Veränderungen anhand von Datenreihen zu dokumentieren.

Es ist davon auszugehen, dass die - anthropogen verursachte - Klimaänderung die Waldökosysteme beeinflusst. Eine Quantifizierung der Einflüsse auf die Waldböden und die in ihnen ablaufenden Prozesse ist bisher nicht möglich gewesen. Die Daten

der BZE sollten daher hinsichtlich möglicher Veränderungen der Waldökosysteme als Klimafolge untersucht werden. Zum anderen sollte geprüft werden, welche Daten der BZE für Klimamodelle nutzbar sind und ob – falls notwendig – hier Entwicklungsbedarf besteht. Aus Sicht der BZE muss das Konzept ausreichend flexibel sein, auch um bei Folgeinventuren neue, politisch aktuelle Fragestellungen berücksichtigen zu können.

Literaturhinweis:

Weitere Informationen zur BZE finden sich auf der Internetseite des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) <http://www.bmelv.de>, speziell zur BZE siehe <http://www.bodenzustandserhebung.de>

CarboEurope und Erfahrungen im Bodenmonitoring

Marion Schrumpf und Annette Freibauer

Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Postfach 100164, 07701 Jena

Funktion des Bodenmonitoring

Böden spielen in der Klimadiskussion als Quellen und Senken von Treibhausgasen eine wichtige Rolle. Eine Vielzahl von Prozessen und Wechselwirkungen sind im Boden für die Freisetzung von Treibhausgasen verantwortlich, die noch nicht alle geklärt sind und dadurch Prognosen erschweren. Neben Prozessstudien sind auch langfristig angelegte Programme zum Bodenmonitoring notwendig, um die Auswirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Boden großflächig zu untersuchen und um Modellergebnisse zu verifizieren. Bodenmonitoring findet je nach Fragestellung auf unterschiedlichen räumlichen Skalen statt, von der Plot-Studie (z.B. landwirtschaftliche Dauerversuchsflächen) bis zur Beobachtung von Regionen, Ländern und Kontinenten (z.B. Bodenzustandserhebung BZE). Viele der bereits bestehenden Langzeitstudien bieten gute Grundlagen zum Studium des Effekts von Klimawandel auf Bodeneigenschaften. Soll der Einfluss von Klimaänderungen auf den organischen Kohlenstoffgehalt im Boden nachgewiesen werden, muß besonders sorgfältig gearbeitet werden, da sehr kleine Änderungen vor einem großen und sehr variablen Kohlenstoffvorrat im Boden nachgewiesen werden müssen. Da die meisten bestehenden Bodenmonitoring-Programme ursprünglich für andere Fragestellungen konzipiert wurden, gibt es teilweise folgende Einschränkungen:

- es wurden nicht alle Parameter erhoben, die zur exakten Bestimmung des C-Gehaltes in Böden notwendig sind (Gehalt an organischem und anorganischem Kohlenstoff, Lagerungsdichte, Steingehalt);
- die räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften wurde nicht berücksichtigt;
- Methoden wurden im Laufe des Monitorings verändert, was zu systematischen Fehlern führen kann;
- Untersuchungen beschränken sich auf den Oberboden. Damit ist zwar der C-reichste Horizont erfasst, aber Änderungen können auch im Unterboden auftreten.

Bodenmonitoring im europäischen CarboEurope-Projekt

Die Untersuchungsflächen von CarboEurope (www.carboeurope.org) dienen der Untersuchung von Kohlenstoffflüssen und der Kohlenstoffbilanz in Ökosystemen. 50 dieser Flächen werden mit einem intensiven Messprogramm über mindestens 5 Jahre seit 2003, z.T. schon seit 1994, betrieben. Die typische Größe der Flächen liegt zwischen 1 und 10 Hektar. Die Flächen verteilen sich über ganz Europa und repräsentieren die wichtigsten Landnutzungstypen und Klimazonen. Die erhobenen Daten und gewonnenen Erkenntnisse zur Reaktion von Ökosystemen auf Klima- und Witterungseinflüsse gehen in verschiedene prozessorientierte Modelle ein, mit denen die Kohlenstoffbilanz der europäischen Biosphäre und ihre Reaktion auf extreme Wetter- und Klimaereignisse berechnet wird (Reichstein *et al.*, 2007, Vetter *et al.*, 2008).

Auf allen 50 Untersuchungsflächen wurden mit Ausnahme der moorigen Standorte Bodenuntersuchungen durchgeführt und Bodenkarten erstellt. Auf den Standorten wurden in einem Raster Bodenproben horizontweise durch Bohrungen mit einem Cobra-Bohrer (Firma Eijkelkamp, 8-10 cm Innendurchmesser) und einem Pürkhauer-Bohrstock genommen und so die kleinräumige Variabilität auf den Standorten erfasst. Zusätzlich wurde ein repräsentatives Bodenprofil für jeden Bodentyp, der innerhalb der Standorte gefunden wurde, angelegt. Die Lagerungsdichte des Oberbodens wurde an jedem Punkt mit Hilfe von Stechzylindern gemessen und im Unterboden aus den Messungen im Profil und der Cobraproben interpoliert. Mit Hilfe geostatistischer Methoden werden derzeit Karten der C-Vorräte im Boden erstellt. Dabei fließen teilweise weitere Informationen ein, wie z.B. die Lage der Bäume in einem parkähnlichen Korkeichenwald (Portugal, Abbildung 1). Die Ergebnisse liefern Informationen über die räumliche Verteilung der Boden-C-Vorräte von Böden an Standorten, die sich im Ausgangsmaterial, der Landnutzung und dem Klima unterscheiden. Eine spätere Wiederbeprobung der Standorte zur Feststellung von Boden-C-Änderungen ist möglich, aber bislang noch nicht fest geplant.

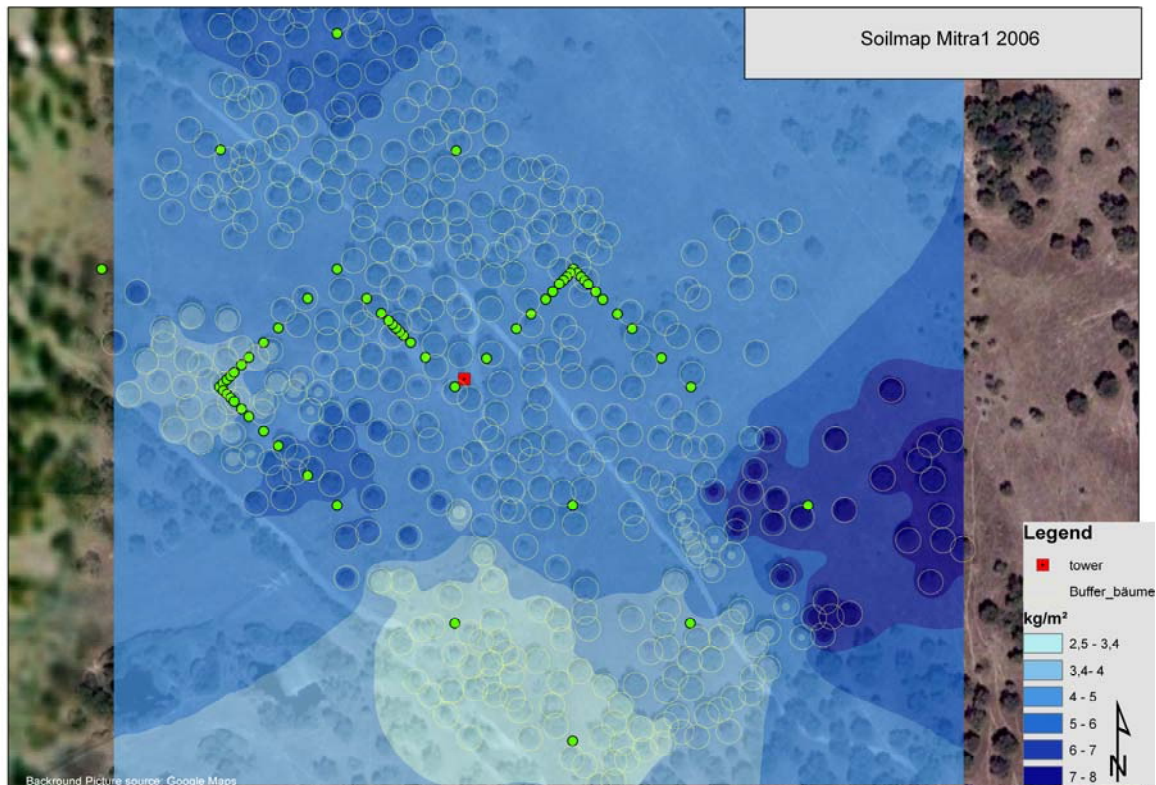


Abbildung 1: Karte der Bodenkohlenstoffvorräte am Standort Mitra in Portugal. Die hellen Kreise stellen die Lage von eingemessenen Bäumen dar, die Punkte sind die Beprobungspunkte, das Quadrat im Zentrum stellt den Eddy-Kovarianz-Turm dar.

An zwölf Standorten wurde eine intensivere Beprobung durchgeführt, um innerhalb von 5 Jahren mögliche Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte nachweisen zu können. Dabei handelt es sich um jeweils drei Ackerstandorte, Grünland, Nadel- und Laubwälder mit unterschiedlichen Bodentypen (Tabelle1).

Die Beprobung erfolgte an jeweils 100 Punkten anhand eines Rasters mit Hilfe des Cobra-Bodenbohrers. Die Beprobung erfolge anders als bei den oben genannten Standorten nicht horizontweise, sondern nach festen Tiefenstufen (0-5, 5-10, 10-20, 20-30... cm). An den Bodenkernen wurden die Konzentrationen von organischem und anorganischem C, Steingehalt und Lagerungsdichte bestimmt und die C-Vorräte zu errechnet. Dabei zeigte sich ein standortspezifischer Zusammenhang zwischen der Lagerungsdichte und der C-Konzentration in Abhängigkeit der Bodenart (Abbildung 2). Allerdings war die Korrelation an manchen Standorten schlecht (Abbildung 2: Bordeaux). Daher erscheint die Anwendung von Pedotransferfunktionen zur quantitativen Erfassungen der sehr kleinen Änderungen des Boden-C-Vorrats nur bedingt geeignet, da bereits kleine Unterschiede bei der Lagerungsdichte das Ergebnis stark beeinflussen.

Tabelle 1: Standorte für die intensive Bodenprobung mit dem Ziel, mögliche Bodenvorratsänderungen innerhalb weniger Jahre festzustellen.

Standort	Land	Landnutzung	Bodentyp	Textur
Carlow	Irland	Ackerland	Eutric Cambisol	Sandig-toniger Lehm
Grignon	Frankreich	Ackerland	Eutric Cambisol	Schluffig-toniger Lehm
Gebesee	Deutschland	Ackerland	Haplic Phaeozem	Schluffig-toniger Lehm
Norunda	Schweden	Nadelwald	Haplic Podzol	Lehm / lehmiger Sand
Wetzstein	Deutschland	Nadelwald	Cambic Podzol	Schluffiger Lehm / toniger Lehm
Bordeaux	Frankreich	Nadelwald	Umbric Podzol	Lehmiger Sand / Sand
Hainich	Deutschland	Laubwald	Eutric Cambisol	Schluffiger Ton / Ton
Hesse	Frankreich	Laubwald	Stagnic Luvisol	Schluffig-toniger Lehm
Soroe	Dänemark	Laubwald	Gleyic Cambisol	Sandig-toniger Lehm / toniger Lehm
Bugac	Ungarn	Grünland	Eutric Arenosol	Sandig-toniger Lehm / lehmiger Sand
Easter Bush	UK	Grünland	Stagnic Cambisol	Sandig-toniger Lehm
Laqueuille	Frankreich	Grünland	Andosol	Schluffiger Lehm

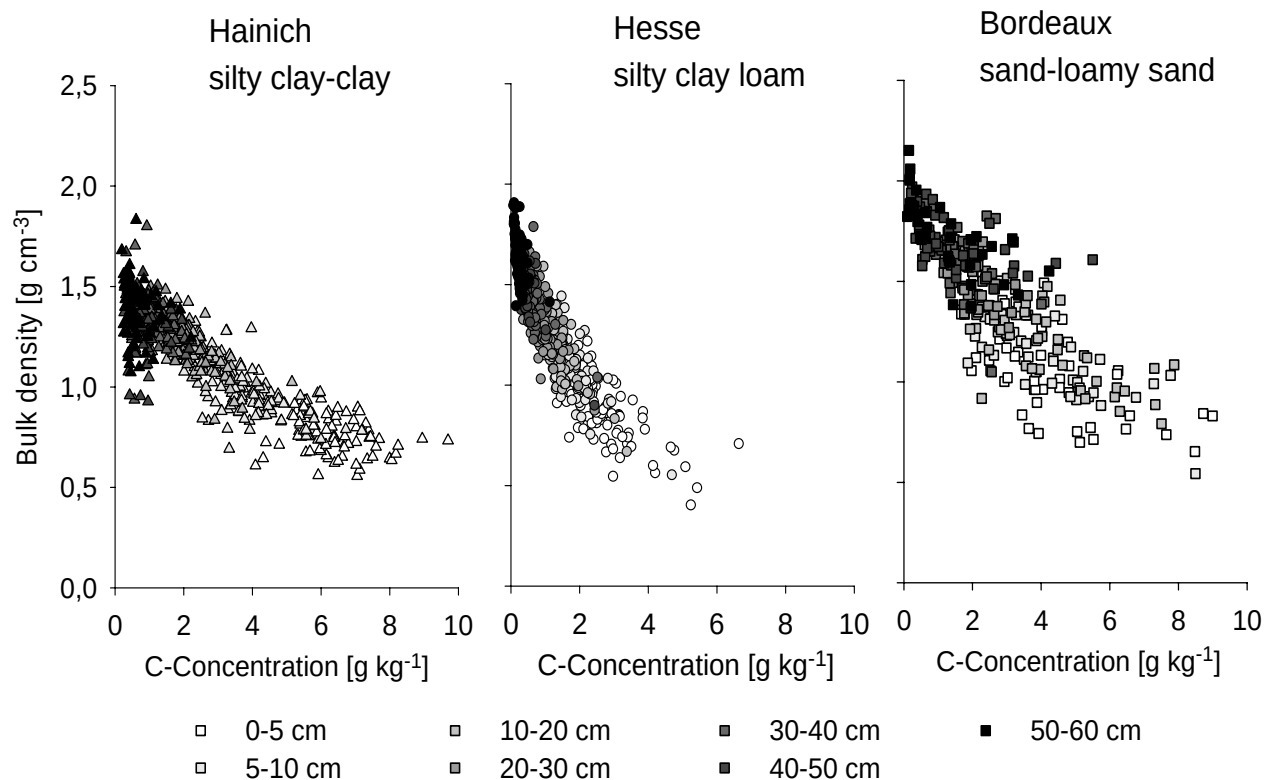


Abbildung 2: Verhältnis zwischen Lagerungsdichte und C-Konzentration von Bodenproben aus unterschiedlicher Bodentiefe an drei Standorten.

Abbildung 3 zeigt die Boden-C-Vorräte und deren Variabilität an den einzelnen Standorten. Der Ap-Horizont war bei den Ackerländern deutlich ausgeprägt. Die geringe Standardabweichung deutet auf eine Homogenisierung des Oberbodenmaterials durch Pflügen hin. Insgesamt wiesen die drei Ackerländer aber ähnliche C-Vorräte im Gesamtprofil auf wie die Laubwald- und Grünlandstandorte, da die Ackerböden im Unterboden über größere Vorräte verfügten. Bei den Laubwald- und Wiesenstandorten war eine deutliche Abnahme der C-Vorräte mit der Bodentiefe zu beobachten, wobei der Weidenstandort Easter Bush auch alle 5 Jahre zur Erneuerung des Grünlandes gepflügt wird. Der Standort Laqueuille wurde nicht mit dargestellt, da der Andosol deutlich höhere C-Gehalte aufwies. Die Nadelwälder befanden sich alle auf relativ problematischen Standorten. In Norunda und am Wetzstein konnte durch den hohen Steingehalt nicht mit dem Bohrer beprobt werden. Stattdessen wurden am Wetzstein 15 Bodenmonolithe bis zu einer Tiefe von 50 cm in 3 Tiefenstufen (0-10, 10-30, 30-50 cm) volumengetreu ausgehoben und beprobt. Der Steingehalt betrug im Oberboden im Schnitt 37%, im Unterboden 43%. In Norunda wurde an 80 Kleinprofilen mit einer

Seitenlänge von 30 cm die organische Auflage und der Mineralboden ebenfalls volumentreu bis 10 cm Bodentiefe beprobt. Zusätzlich wurde an 10 Punkten, wo es möglich war, auch der Unterboden beprobt. Das Volumen der entnommenen Erde wurde hier mit Sand bestimmt und zusätzlich mit der Viro-Methode der Steingehalt bestimmt. Die Bestimmung des Steingehaltes über Volumenreduktion und Siebung sowie durch die Einschlagmethode nach Viro ergab einen durchschnittlichen Steingehalt von über 70% für den Standort. Entsprechend waren die Vorräte im Mineralboden der beiden steinreichen Standorte gering und sehr variabel, was zusammen mit den geringeren Probenzahlen vor allem am Wetzstein den Nachweis von Änderungen sehr schwierig machen wird.

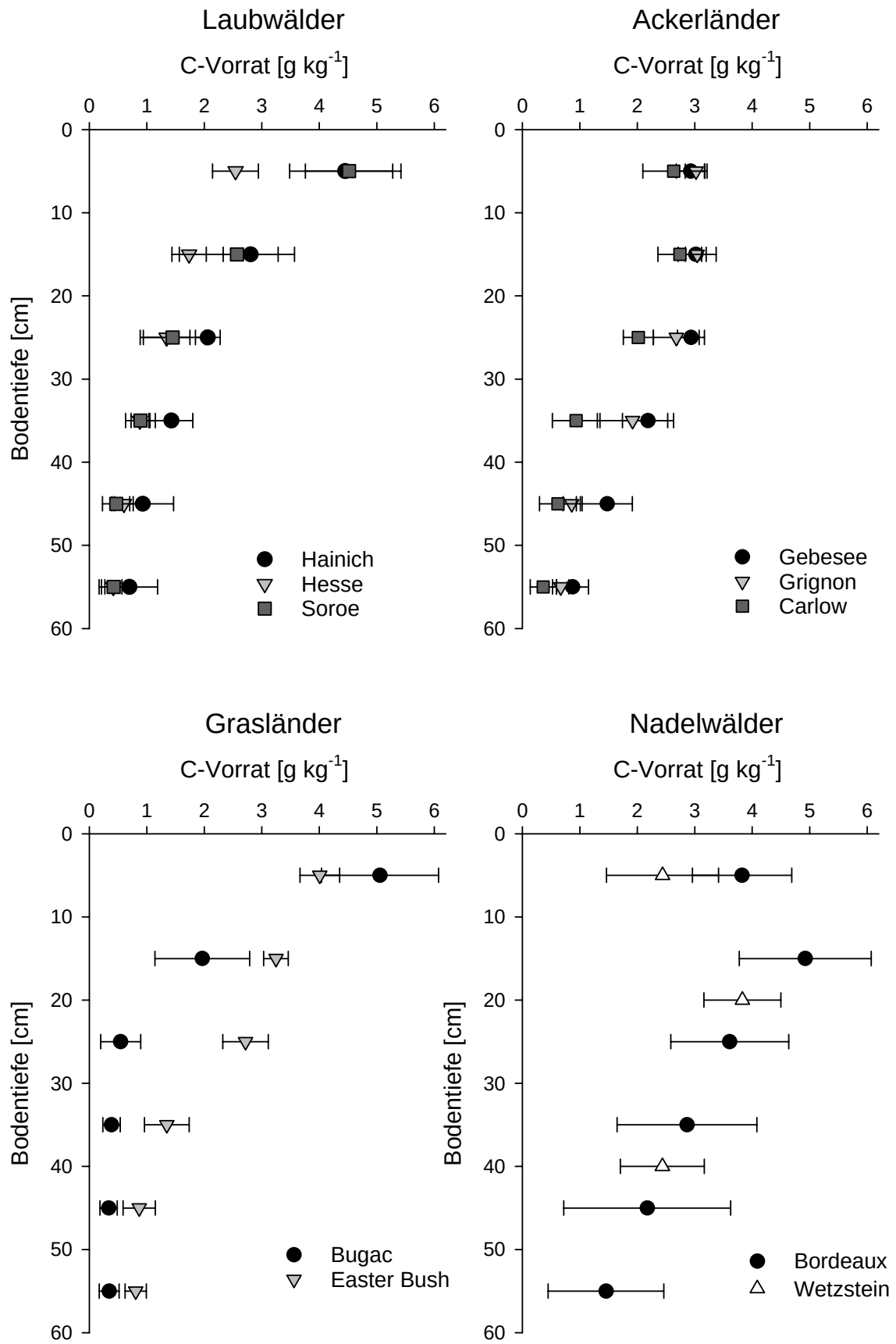


Abbildung 3: Tiefenverteilung der C-Vorräte der Standorte mit Standardabweichung.

Statistisch gesehen hängt die Nachweisbarkeit von Änderungen bei den Standorten von der Standardabweichung der Bodenkohlenstoffvorräte ab. Diese war üblicherweise im Oberboden und an Standorten mit hohen C-Gehalten am höchsten. Anhand der Ergebnisse von Vegetationsinventuren, Eddy-Kovarianz-Messungen und Messungen der Bodenatmung wird innerhalb von 5 Jahren eine Änderung je nach Standort und Methode von $160 - 520 \text{ g C m}^{-2}$ erwartet. Damit betsehen Chancen Änderungen der Kohlenstoffvorräte dann zu erfassen, wenn sie im genannten Bodenabschnitt auftreten. Auf den gepflügten Böden lassen sich durch die geringeren C-Gehalte im Oberboden und die geringen Variationskoeffizienten von nur 11-24% die kleinsten Änderungen nachweisen ($48-91 \text{ g C m}^{-2}$). Ob hier Änderungen tatsächlich stattfinden, hängt von der Nutzung der Standorte und deren Geschichte ab. Bei dem Dauergrasland Bugac sind vermutlich weniger Änderungen zu erwarten als bei den Ackerstandorten, auf denen oftmals die Bodenbearbeitung in den letzten Jahren reduziert wurde. Diese Umstellung kann zu einer C-Anreicherung von 100 g C m^{-2} in 5 Jahren führen (Smith et al. 2005), während die Abnahme der C-Gehalte auf konventionell bewirtschafteten Äckern bis zu -450 g C m^{-2} in 5 Jahren betragen kann (Sleutel et al. 2004). Generell ist es für den Nachweis von Änderungen am günstigsten, wenn diese sich in einem bestimmten Bodenhorizont ereignen und nicht über das gesamte Bodenprofil verteilen. Eine Wiederholung der Probenahme ist für die zweite Phase von CarboEurope geplant und wird zeigen, wie erfolgreich die Bemühungen waren. Dabei wird ein gepaartes Probenahmedesign angewandt, bei dem die Wiederholungsproben einen Meter von den ursprünglichen, markierten Probenahmepunkten entfernt genommen werden sollen. Der direkte Vergleich dieser Punkte kann auf heterogenen Standorten die Nachweisbarkeit von Änderungen verbessern. Erste Untersuchungen im Hainich haben an einer Stichprobe von 10 Proben allerdings ergeben, dass die Standardabweichung der Differenzen zwischen den Paaren nicht wesentlich geringer ist als die Standardabweichung aller Punkte, was darauf hinweist, dass schon auf der kurzen Distanz von 1 m die Variabilität der hoch ist und sich auf der Fläche kaum mehr ändert. Auch die Semivariogramme aller Punkte des Standorts haben entsprechend einen sehr hohen Nugget-Effekt im Hainich ergeben (Abbildung 4). Daher ist das Verfahren der gepaarten Proben vor allem auf Standorten mit großräumig wechselnden Bodentypen oder Feuchtigkeitsverhältnissen oder bei großskaligen Untersuchungen effektiver.

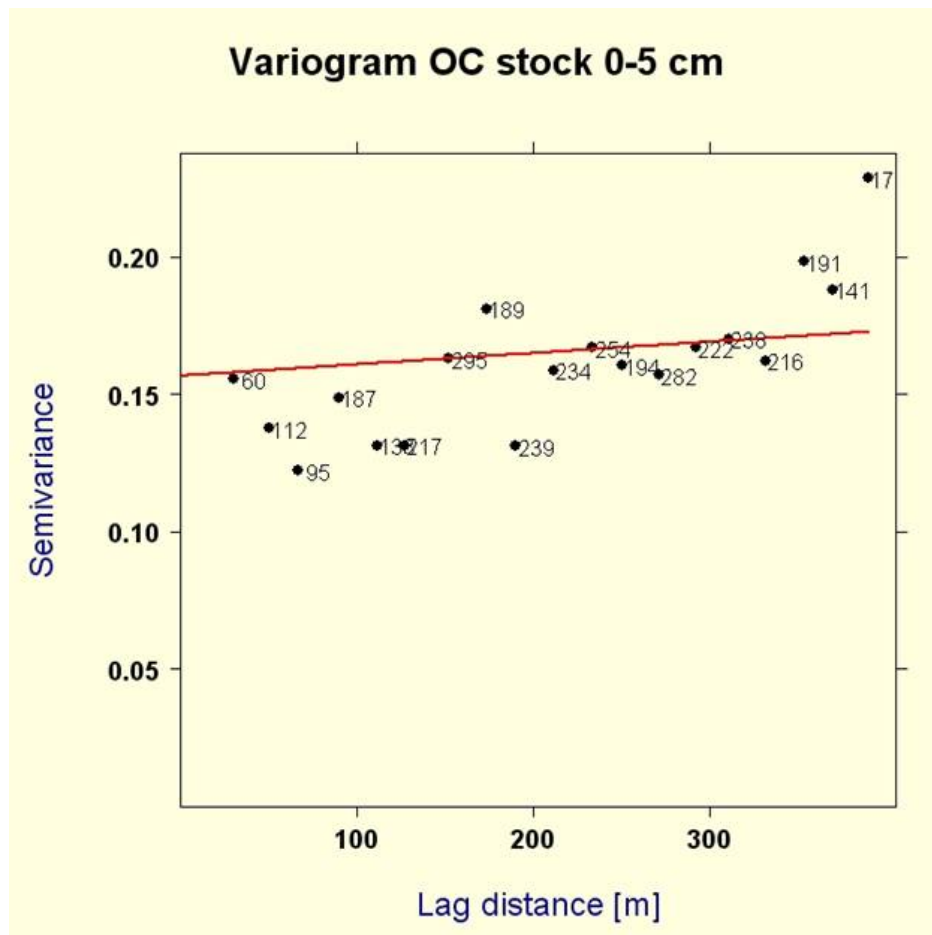


Abbildung 4: Semivariogramm der 100 im Hainich untersuchten Probenpunkte.

Bodenmonitoring in den DFG-Exploratorien

Im Rahmen des DFG-Projektes „Biodiversitäts-Exploratorien“ wird derzeit eine Bodeninventur an 1000 Rasterpunkten in drei Landschaftsgebieten durchgeführt: Nationalpark Hainich und seine Umgebung, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin und Biosphärengebiet Schwäbische Alb (<http://www.biodiversity-exploratories.de>). Landnutzungstypen beinhalten Laubwald, Nadelwald und Grünland unterschiedlicher Nutzungsintensität, aber bislang kein Ackerland. Die Bodenprobenahme erfolgte ähnlich wie bei CarboEurope mit dem Cobra-Bodenbohrer-System mit einer Probe pro Untersuchungspunkt. Wie in CarboEurope werden an den Bodenkernen C-Vorräte bestimmt, wobei bei der Probenahme neben Tiefenstufen noch Horizontgrenzen berücksichtigt werden. Eine Wiederbeprobung ist geplant, wann steht aber noch nicht fest.

Zum Versuchsdesign auf größerer räumlicher Skala

Die Grundlage des Bodenmonitoring ist eine robuste Ersterhebung, bei der Boden beschrieben und klassifiziert wird und die wesentlichen bodengenetischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften erfasst werden. Wichtig ist die genaue georeferenzierte Markierung der Probepunkte, so dass sie metergenau wiedergefunden werden können.

„Robust“ heißt, dass die Erhebung systematisch und repräsentativ sein muss und für viele, auch unbekannte, Fragestellungen relevante Informationen bereitstellen muß.

Für die Bestimmung der Bodenkohlenstoffvorräte ist die Messung nach Horizonten oder Tiefenstufen für die folgenden Größen nötig:

- Mächtigkeit des Horizonts bzw. der Tiefenstufe
- Lagerungsdichte
- Steingehalt bzw. Feinbodgehalt
- Konzentration des organischen und anorganischen Kohlenstoffs

Die Daten zu Bodenkohlenstoffvorräten können zur Ableitung von Vorratskarten und als Initialisierung für die Modellierung verwendet werden. Im Augenblick ist die größte Unsicherheit in der Modellierung von großräumigen Veränderungen von Bodenkohlenstoffvorräten tatsächlich der Startwert der Modellierung, also der augenblickliche Kohlenstoffvorrat.

Um regional bis national die Änderung der Kohlenstoffvorräte in Böden zu messen, ist eine Wiederholungsinventur erforderlich. Wenn es bei dieser Inventur nur um diese konkrete Frage geht, kann das Wiederholungsdesign durch eine Stratifizierung optimiert werden, um die Anzahl der nötigen Proben zum Nachweis von Unterschieden zu minimieren. Dieses Verfahren ist verbreitet, z.B. (Bellamy *et al.*, 2005). Wesentliche Kriterium für die Stratifizierung sind die Variabilität bzw. Nachweisgrenzen, die Größe der erwarteten Veränderungen und die geographische Verteilung der Änderungen. Damit können die dynamischen Gebiete, in denen Veränderungen der Kohlenstoffvorräte erwartet werden, bevorzugt untersucht werden. Die weniger dynamischen Gebiete sollten trotzdem in größeren Zeitabständen wiederbeprobte werden, um mögliche Überraschungen und unbekannte Ursachen für Trends zu berücksichtigen.

Literatur

Bellamy PH, Loveland PJ, Bradley RI, Lark RM, Kirk GJD (2005) Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*, **437**, 245-248.

- Reichstein M, Ciais P, Papale D, *et al.* (2007) A combined eddy covariance, remote sensing and modeling view on the 2003 European summer heatwave. *Global Change Biology*, **13**, 634–651.
- Vetter M, Churkina G, Jung M, *et al.* (2008) Analyzing the causes and spatial pattern of the European 2003 carbon flux anomaly in Europe using seven models. *Biogeosciences*, **5**, 561–583.

Beitrag von Bodenschätzungsdaten zur Klimadiskussion

Mit der Neufassung des Bodenschätzungsgesetzes am 20. Dezember 2007 hat der Gesetzgeber den mehr als 70 Jahre alten Auftrag an die Bodenschätzung, zur Beschreibung und Kartierung des landwirtschaftlichen Kulturbodens und zur Feststellung von dessen naturbedingter Ertragsfähigkeit erneuert.

Neben dem steuerlichen Zweck ist die Nutzung von Bodenschätzungsdaten für den Bodenschutz und in Bodeninformationssystemen im neuen Gesetz ausdrücklich aufgeführt; die Ergebnisse der Bodenschätzung sollen automatisiert verarbeitet werden und können an andere Behörden, zur Erfüllung von deren Aufgaben, übermittelt werden [1].

1. Bestandteile und Verfahren

Wesentliche Bestandteile der Bodenschätzung, die insbesondere deren horizontale Vergleichbarkeit sicherstellen, sind die Schätzungsrahmen für Acker- und Grünland und die Musterstücke (Musterprofile). Für die Musterstücke liegen neben dem Schätzungsergebnis und der Profilbeschreibung in der Nomenklatur der Bodenschätzung auch bodenphysikalische und bodenchemische Analysedaten vor, damit stellen die Musterstücke gleichzeitig ein wichtiges Bindeglied zur bodenkundlichen Landesaufnahme dar. Zurzeit bestehen im Bundesgebiet 4.131 rechtsgültige Musterstücke [2]. Das Ergebnis der Schätzung der Musterstücke wird vertikal, über die in einigen Bundesländern vorhandenen Landesmusterstücke, die Vergleichsstücke in den Gemarkungen, die Grablöcher in den Schätzungsflächen bis auf die Ebene der Einzelbohrungen, die in der Regel im Raster von 40 x 40 m bzw. 50 x 50 m ausgeführt werden, übertragen.

Im Rahmen aktueller Schätzungsarbeiten werden in Thüringen und in verschiedenen anderen Bundesländern zusätzlich auch die Vergleichsstücke - das sind ca. 4 - 8 typische Bodenprofile in einer Gemarkung - gemeinsam mit der bodenkundlichen Landesaufnahme aufgenommen.

Aktuelle Schätzungsarbeiten finden hauptsächlich auf Rekultivierungsflächen, in Verbindung mit Flurneuordnungsverfahren oder aufgrund nachhaltiger Veränderungen der natürlichen Ertragsbedingungen sowie dauerhafter Nutzungsartenänderungen statt.

2. Informationsgehalt und Datenverfügbarkeit

Den Schöpfern der Bodenschätzung ist es seinerzeit gelungen, die für den Ertrag wesentlichen Boden- und Standortmerkmale herauszuarbeiten, das System basiert dabei auf einer bewussten Vereinfachung der naturwissenschaftlichen Grundlagen und einer Beschränkung auf weitgehend unveränderliche Bodeneigenschaften [3]. Die Bodenschätzung liefert damit einerseits einen schnellen und einfachen Überblick über die am Standort zu erwartenden Bodenverhältnisse – so werden den meisten landwirtschaftlichen Fachbeiträgen, in denen die Standortverhältnisse eine Rolle spielen, auch heute noch Angaben zur Bodenschätzung voran gestellt. Andererseits lassen sich eine Reihe wichtiger Bodeneigenschaften wie Humusgehalt, Bodenart,

Steingehalt, Horizontmächtigkeit usw. aus Profilaufnahmen der Bodenschätzung - bis zu einer Tiefe von maximal 1 m - entnehmen. Schätzungskarten enthalten darüber hinaus flurstücksgenaue Informationen zur Bodenverteilung, zu Bodengrenzen und über das Vorkommen besonderer Böden [4]. Insbesondere korrelieren jedoch die Bodenzahlen der Ackerschätzung mit der nutzbaren Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum, womit eine wesentliche Regelgröße für ökologische Bodenfunktionen abgebildet wird [5].

Zur Erschließung des Informationsgehaltes der Bodenschätzung haben sich zwei unterschiedliche methodische Ansätze herauskristallisiert. Während nach dem einen die Profilbeschreibungen der Bodenschätzung immer zuerst in die moderne bodenkundliche Nomenklatur übertragen werden, werden nach dem anderen die Bestandteile der Bodenschätzung - beispielsweise die Klassenzeichen - ohne Übersetzung der Ursprungsdaten, unmittelbar für bodenfunktionsbezogene Auswertungen genutzt [6].

Bodenschätzungskarten und -bücher liegen nahezu flächendeckend für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vor.

Die elektronische Erfassung der Profilbeschreibungen aus den Feldschätzungsbüchern ist in Bayern, Hamburg, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein bereits weit vorangeschritten. Das digitale Kartenwerk - in Form der Folie 42 der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) - wurde in den Bundesländern Brandenburg, Hamburg, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein weitgehend fertig gestellt [7].

3. Verwendung von Klimadaten in der Bodenschätzung

Die Bodenschätzung ist in erster Linie *Nutzer* von Klimadaten. Aktuell wird in der deutschen Bodenschätzung noch immer die Klimaperiode 1881-1930 zur Bewertung des Klimas herangezogen. Bei der Ackerschätzung werden 8 °C Jahrestemperatur und 600 mm Jahresniederschlag als Standardklima angenommen, Abweichungen dieser Klimafaktoren am Standort werden in Form von Zu- bzw. Abrechnungen von der Bodenzahl (→ Ackerzahl) berücksichtigt; darüber hinaus sieht die Ackerschätzung in Deutschland lediglich klimabedingte Abrechnungen für Frost (Frostlagen) vor. Der österreichischen Bodenschätzung liegt demgegenüber die Klimaperiode 1961-1990 zugrunde; außerdem erfolgt die Klimaansprache in Österreich um einiges differenzierter als in Deutschland [8].

Hieraus resultieren momentan erhebliche Unterschiede bei der Festlegung der klimabedingten Zu- und Abrechnungen zwischen der deutschen und der österreichischen Bodenschätzung. Während beispielsweise ein Boden der Bodenklasse *L1Lö* in Eickendorf (Magdeburger Börde) einen Zuschlag von +4 Prozent aufgrund des Klimas erhält, werden unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen (Trockengebiet) in Großnondorf (Weinviertel) -17 Prozent abgerechnet.

Das deutsche Bundesministerium der Finanzen hat 2002 einen Forschungsauftrag zur Neufestlegung der klimabedingten Zu- und Abrechnungen unter aktuellen Klima- und Wirtschaftsbedingungen vergeben. Die vollständige Umsetzung des Projektes scheiterte allerdings an der Inkonsistenz der verfügbaren Ausgangsdaten; Jahresniederschlagsmenge, Klimatische Wasserbilanz (April-August) und Trockenindex (Mai-August) konnten dennoch als wesentliche Ursachen für Ertragsunterschiede herausgestellt werden [9].

4. Beitrag der Bodenschätzung zur Klimadiskussion

Mit der Bodenschätzung liegen flächendeckend, einheitlich erhobene, großmassstäbige Boden- und Standortinformationen vor. Klassische Anwendungen dieser Da-

ten im Boden- und Umweltschutz sind zum Beispiel die Nutzung der Bodenart aus dem Klassenzeichen zur Berechnung des potentiellen Bodenabtrags oder von Infiltrationsraten. Aus der Bodenschätzung können weiterhin Informationen über Bodenveränderungen, durch den Vergleich neuerer Schätzungsdaten mit Daten der Altschätzung, abgeleitet werden.

Bodenschätzungskarten geben Auskunft über die (aktuelle) Flächennutzung - über die Nutzungsartenverteilung zwischen Ackerland, Grünland, Wald und sonstigen Flächen. Daraus können Rückschlüsse auf bestimmte Stoffumsätze - beispielsweise klimarelevanter Gase – in einem Gebiet gezogen werden. Gleichmaßen können mithilfe von Bodenschätzungskarten gezielt Vorrangflächen für notwendige agrar- und umweltpolitische Maßnahmen wie Erstaufforstungen oder Stilllegungsflächen ausgewählt werden.

Naturgemäß geben Bodenschätzungsdaten Auskunft über die Standorteignung zum Anbau herkömmlicher Kulturpflanzen, genauso können Aussagen über die Standorteignung für den Anbau nachwachsender Rohstoffe oder Energiepflanzen sowie gegebenenfalls hinzukommender neuer Kulturen getroffen werden. Insbesondere in Trockengebieten spiegeln die Bodenzahlen der Bodenschätzung auch das Ertragspotential von Schlägen bzw. Teilschlägen gut wider [10].

Einen direkten Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz leisten Bodenschätzungsdaten, wenn sie als Basisinformationen für die teilflächenspezifische Landbewirtschaftung (precision farming) [11] eingesetzt werden. Durch ortsdifferenzierte Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung usw. können unmittelbar Kraftstoff, Saatgut, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel eingespart und die damit verbundenen Aufwendungen und Emissionen reduziert werden.

5. Literatur

- [1] Bundesgesetzblatt (2007) Teil 1 Nr. 69, S. 3176-3183
- [2] BMF (2001) www.bundesfinanzministerium.de
- [3] Altermann, M. (1995): 60 Jahre Bodenschätzung in Deutschland. In: Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges. Nr. 78, S. 165-170
- [4] Pfeiffer, E.-M.; Sauer, S. und Engel, E. [Hrsg.] (2005): Bodenschätzung und Bodenbewertung. Verlag Chmielorz, Wiesbaden
- [5] Harrach, T.; Sauer, S.; Preis, M. und Peter, M. (2001): Ansätze zur Evaluierung des Schätzungsrahmens und zu einer behutsamen Reformierung der Bodenschätzung. In: Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges. Nr. 96, Heft 2, S. 505-506
- [6] HLUG (2007): Stand und Ausblick zur Nutzung digitaler Bodenschätzungsdaten, Zusammenfassung der Tagungs- und Workshopergebnisse. www.hlug.de
- [7] WILL, D. (2007): Stand der Digitalisierung der Bodenschätzung in der Finanzverwaltung. In: Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges. Nr. 110, Heft 1, S. 31-32
- [8] Harlfinger, O. und Knees, G. (1999) Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung, Klimatographie Teil 1. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck
- [9] Bahrs, E.; Köhne, M. und Rust, I. (2005): Aktualisierung der Ergebnisse der Bodenschätzung – Abschlußbericht. Univ. Göttingen, Inst. f. Agrarökonomie
- [10] Rötcher, T.; Christen, O. und Spilke, J. (2006): Zusammenhänge zwischen Wertzahlen der Bodenschätzung und dem Naturalertrag auf einem Ackerschlag in Thüringen. In: Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges. Nr. 108, S. 93-94
- [11] Roth, R.; Reining, E.; Rosner, G. und Kühn, J. (2004), Ortsspezifische Aussaat von Winterweizen. In: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau, Verbundprojekt *pre agro* – Abschlussbericht, S. 101-120, www.preagro.de

Bodenphysikalische Parameter in Klima – Modellen

G. Smiatek, H.R. Knoche und H. Kunstmann

Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU)
Institute for Meteorology and Climate Research
Forschungszentrum Karlsruhe

1. Einführung

Globale Klimamodelle (General Circulation Models – GCMs) sind die wichtigsten und unverzichtbaren Hilfsmittel zur quantitativen Berechnung der Entwicklungstendenz des Erdklimas. Die derzeit verfügbaren globalen Modelle werden in erster Linie für die Quantifizierung der zukünftigen Klimaänderung eingesetzt. Damit liefern sie die Grundlage für Abschätzungen der mit dem Klimawandel verbundenen Auswirkungen auf ökologische, ökonomische und biologische Systeme.

Die Entwicklung von adäquaten Anpassungsstrategien erfordert ein grundsätzliches Verständnis der klimatologischen Zusammenhänge auf regionaler Ebene. Da sich die erwartete Klimaänderung in den einzelnen Regionen der Erde sehr unterschiedlich vollziehen wird, werden region-spezifische Informationen benötigt. Klimaszenarien aus globalen Modellen, die mit einer Auflösung von 100 bis 300 km betrieben werden, sind jedoch sehr grob. Regionale Phänomene, wie höhenabhängige Temperaturverteilung oder vom komplexen Gelände hervorgerufene Niederschlagsmuster lassen sich damit nicht ausreichend simulieren.

Mit diversen 'Downscaling'-Verfahren wird versucht, die gewünschte regionale Information zu Klimaentwicklung aus globalen Simulationen zu gewinnen. Die konsequenteste Methode, die jedoch auch extrem aufwändig ist, ist das sogenannte 'Nesting' eines regionalen Modells in ein globales Modell (dynamisches Downscaling). Das Prinzip wird in Abbildung 1 dargestellt. Das regionale Modell (Abb. 1b) wiederholt die globale Simulation für einen begrenzten Ausschnitt der Erdoberfläche. Die Auflösung dieser Simulation ist allerdings deutlich höher. Die an der Meeresoberfläche und an den seitlichen Begrenzungsflächen benötigten Randwerte werden dagegen aus der globalen Simulation übernommen. Eine höhere Auflösung der regionalen Klimamodelle erfordert allerdings auch entsprechende hochaufgelöste Eingangsdaten.

2. Modelleingangsdaten

Unter den Modelleingangsdaten können grundsätzlich Systemparameter und Zustandsgrößen unterschieden werden. Systemparameter sind konstante skalare Parameter, zeitlich konstante Felder der Orographie, Landnutzung, Bodentextur, Land-See-Maske oder einen Jahresgang aufweisende Felder des Blattflächenindizes. Einige Parameter, wie Rauigkeitslängen oder Vegetationsanteile sowie verschiedene hydraulische und thermische Eigenschaften des Bodens werden über Look-up-Tabellen aus Typklassen der Landnutzung oder Bodentextur abgeleitet.

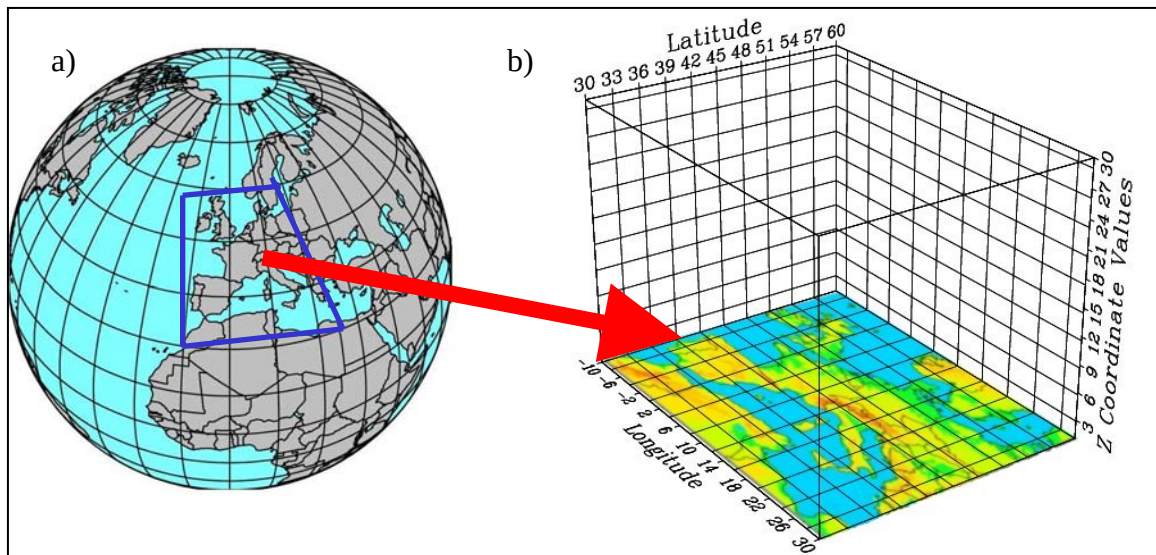


Abbildung 1 Prinzip des dynamischen Downscaling

Zustandsgrößen sind z.B. Lufttemperatur, Bodentemperatur, Windgeschwindigkeit, Druck oder Feuchtegehalte der Atmosphäre und des Bodens. Sie benötigen Anfangswerte zur Initialisierung des Modells und während der gesamten Simulation Randwerten and den lateralen Modellbegrenzungsflächen und an der Meeresoberfläche.

Eine besonders wichtige Rolle in regionalen Klima-Modellen spielen die Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer (SVAT) Submodelle, die den Austausch zwischen dem Boden, der Vegetation und der Atmosphäre beschreiben. Ein Einblick in die Komplexität eines SVAT Modells sei am Beispiel des im regionalen Modell MM5 verwendeten OSU SVAT Modell gegeben: Es werden die Temperatur und der Wassergehalt in 5 Boden-Schichten und der Wassergehalt in der Vegetationsschicht und in der Schneeschicht modelliert. Die berücksichtigten Prozesse schließen

- Strahlungsabsorption, -reflexion und -emission,
- Wärmeaustausch mit der Atmosphäre,
- Wärmediffusion im Boden,
- Akkumulation, Evaporation, Schmelzen von Schnee,
- Auffangen von Regen und Tau in der Vegetation,
- Evaporation und Abtropfen des Vegetationswassers,
- Transpiration über Wurzelschicht,
- Evaporation von unbewachsenem Boden,
- Infiltration von Wasser in den Boden,
- Oberflächenabfluß,
- Wasserdiffusion und hydrologischen Wasserfluss im Boden sowie
- den unterirdischen Abfluss (Drainage) ein.

Für den Einsatz des SVAT sind insbesondere räumliche Daten zur Bodentextur und entsprechende hydraulische und thermische Eigenschaften des Bodens nötig. Die derzeit im SVAT Modell TERRA_ML (Multi Layer Soil Model TERRA) des COSMO-CLM benutzten Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Das Community Modell COSMO-CLM (COSMO Model in CLimate Mode) (Will et al., 2008) ist Teil des COSMO (Consortium for Small-scale Modeling) Modellsystems.

Tabelle 1 Bodenparameter in TERRA_ML (Quelle: Doms et al., 2005)

Parameter	Bodentextur							
	1 Eis	2 Gestein	3 Sand	4 Sand- iger Lehm	5 Lehm	6 Lehm- iger Ton	7 Ton	8 Torf
Porenvolumen [1]	-	-	0.364	0.445	0.455	0.475	0.507	0.863
Feldkapazität [1]	-	-	0.196	0.260	0.340	0.370	0.463	0.763
Perman. Welkepunkt[1]	-	-	0.042	0.100	0.110	0.185	0.257	0.265
Residual-Feuchte [1]	-	-	0.012	0.030	0.035	0.060	0.065	0.098
Infiltrationsrate [kg/m ² s]	-	-	0.0035	0.0023	0.0010	0.0006	0.0001	0.0002
Hydraulische Diffusivität D ₀ [kg/m ² s]	-	-	18400	3460	3570	1180	442	106
Hydraulische Diffusivität D ₁ [1]	-	-	-8.45	-9.47	-7.44	-7.76	-6.74	-5.97
Hydraulische Leitfähigkeit K ₀ [10 ⁻⁹ m/s]	-	-	47900	94300	5310	764	17	58
Hydraulische Leitfähigkeit K ₁ [1]	-	-	-19.27	-20.86	-19.66	-18.52	-16.32	-16.48
Wärmekapazität [10 ⁶ J/m ³ K]	1.92	2.10	1.28	1.35	1.42	1.50	1.63	0.58
Wärmeleit Fähigkeit [W/Km]	2.26 0.0	2.41 0.0	0.30 2.40	0.28 2.40	0.25 1.58	0.21 1.55	0.18 1.50	0.06 0.50
Exponent B	1.0	1.0	3.5	4.8	6.1	8.6	10.0	9.0

3. Verfügbare Systemparameter-Daten

Topographiedaten in einer Auflösung von 30 Bogensekunden liegen für den gesamten Globus vor. Sowohl die GLOBE (Global Land One-km Base Elevation Digital Elevation Model) als auch die GTOPO30 Daten weisen eine Standardabweichung von 18m für mehr als 50% der Erdoberfläche auf und sind bis auf die Antarktis und Grönland hinreichend genau. Daten höherer Auflösung wurden für große Teile der Erde (60°N bis 58°S) mit einem Radar-Interferometer in der Shuttle SRTM Mission erhoben (Farr et al., 2007).

Mit den IGBP-DIS (International Geosphere-Biosphere Programme Data and Information System), GLCC (Global Land Cover Characteristics data base) sowie GLC2000 (Global Land Cover Map for the Year 2000) Datensätzen liegt auch die Landnutzung in einer Auflösung von 30 Bodegensekunden global vor. Als hinreichend genau können jedoch nur Daten für Teilgebiete (USA, EU, wo mit dem

CORINE (Coordination of Information on the Environment) land cover Daten mit einer Auflösung vom 30m zur Verfügung stehen) gelten.

Besonders schwierig ist die Datenlage derzeit im Bereich Bodeneigenschaften. Mit dem FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Soil Map of the World liegen globale Daten nur im Maßstab 1:5 000 000 vor. Deren Genauigkeit ist aufgrund des globalen Ansatzes jedoch gering. Daten über die tiefe Bodentemperatur sind derzeit aus Klimatologien des CRU (Climate Research Unit) im Raster $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ verfügbar. Den derzeitigen Status der Systemparameter-Daten - bezogen auf das Minimalziel einer Auflösung von 30 Bogensekunden (oder $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$) - zeigt Tabelle 2. Smiatek et al. (2008) diskutieren ausführlich die verfügbaren Daten und deren Einsatz in COSMO-CLM.

Abbildung 2 zeigt Beispiele für die Systemparameter-Daten, aufbereitet für ein COSMO-CLM Modellgebiet in einer Modellgitterweite von $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. Sie zeigen insbesondere für den Boden ein grobes Muster. Für das Gebiet der EU liegen zwar Vektordaten aus dem European Soil Information System (EUSIS) vor. Sie konnten allerdings aufgrund von rechtlichen Problemen noch nicht in das Preprocessing System des COSMO-CLM eingebunden werden. Eine Einbindung von regionalen Daten hoher Auflösung (mindestens im Maßstab 1:1 000 000) ist allerdings dringend geboten. Block (2007) quantifizierte die Unsicherheiten im Monatsmittel des latenten Wärmeflusses in Gebiet Spaniens, die auf Unsicherheit in Boden und Vegetationsdaten zurückzuführen ist, auf bis zu 23 W/m^2 . Unsicherheiten in allen Systemparameterdaten führen zu Änderungen in der mittleren 2m Jahrestemperatur in der Größenordnung von 0.25 K.

Benötigt werden ferner neben atmosphärischen Daten auch langjährige Messdaten der Bodentemperatur und der Bodenfeuchte in verschiedenen Bodenschichten und an unterschiedlichen Standorten. Diese Information ist für die Weiterentwicklung und Validierung der SVAT Modelle unerlässlich.

Es muss betont werden, dass alle Eingangsdaten in einer modell-spezifischen Karten-Projektion, geometrischen Auflösung sowie einem festgelegten thematischen Inhalt vorliegen müssen. So erwartet das TERRA_ML SVAT, das im COSMO CLM 8 Texturkategorien (siehe Tabelle 1). Zusätzlich ergibt sich noch ein Problem der summarischen Beschreibung der Systemparameter in einer Modellgitterzelle deren Größe beispielsweise $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ beträgt aus Eingangsdaten, die vielleicht in einer Auflösung von $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ vorliegen. Diverse Verfahren des „Upscaling“, (Wechsel zu größeren Skalen) wie Mittelwerte, Majorität, „Energy matching“ werden hier, oft jedoch unbefriedigend, angewandt.

Tabelle 2 Derzeitiger Status der Systemparameterdaten im COSMO-CLM

Parameter	Datenquelle	Status
Topographie	GTOPO30 GLOBE	Sehr gut
Landnutzung	GLC2000 ECOCLIMAP	Gut (in Europa)
Bodentextur	FAO	Mangelhaft
Tiefe Bodenempemperatur	CRU	Befriedigend

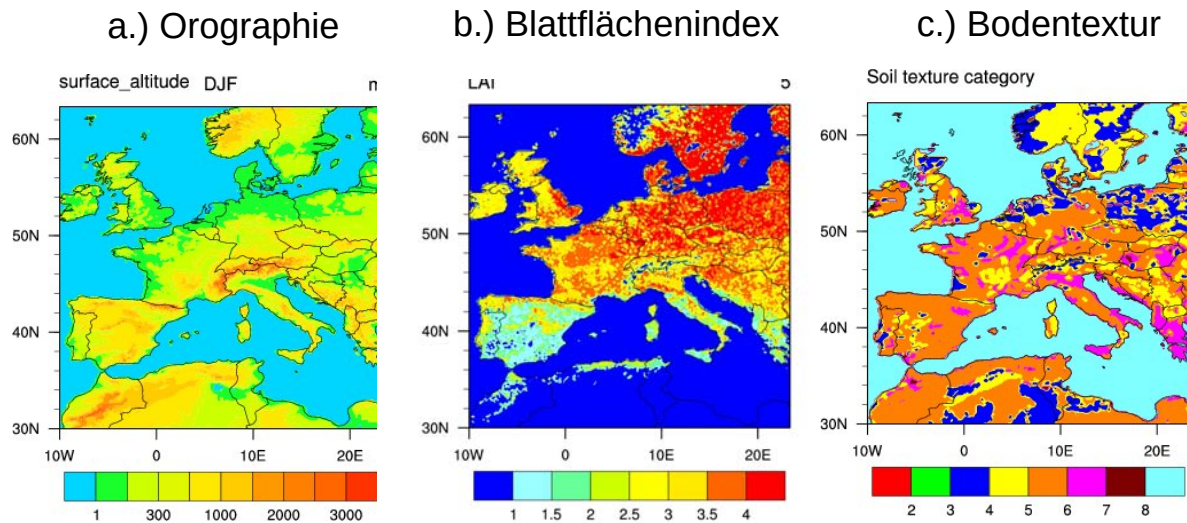


Abbildung 2 Orographie (a), Blattflächenindex für den Monat Juli (b) und Bodentextur (c) in einem COSMO-CLM Gitter von $0.5^\circ \times 0.5^\circ$

4. Zusammenfassung

Regionale dynamische Klima-Modelle sind auf hinreichend genaue System-Parameterdaten angewiesen. Während bei der Topographie, und teilweise auch bei der Landnutzung bereits hinreichend genaue Daten vorliegen, weisen die Bodendaten noch beträchtliche Lücken auf, die dringend geschlossen werden müssen. Ebenso weisen die abgeleiteten Boden-Parameter, die die hydraulischen und thermischen Bodeneigenschaften beschreiben, für gleiche Bodentexturklasse in unterschiedlichen SVAT Modellen unterschiedliche Werte auf. Benötigt werden ferner langfristige Messreihen an verschiedenen Standorten für die Modell-Entwicklung und –Validierung.

5. Literatur

- Block, A. (2007), Uncertainties of surface and soil parameters and their impacts on regional climate simulations (in german), Ph.D. thesis, BTU, Cottbus, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, 134 S.
- Doms, G., J. Förstner, E. Heise, H.-J. Herzog, M. Raschendorfer, R. Schrodin, T.-Reinhardt, and G. Vogel (2005), A description of the nonhydrostatic regional model LM, Part II: Physical parametrization., Tech. Rep., DWD, 133 S.
- Farr et al., (2007), The shuttle radar topography mission, Rev. Geophys., 45, doi 10.1029/2005RG000183
- Smiatek, G., B. Rockel und U. Schättler (2008): Time invariant data preprocessor for the climate version of the COSMO model (COSMO-CLM). Meteorologische Zeitschrift (akzeptiert)
- Will, A., U. Schättler und J. Helmert (2008), Physics and dynamics of the COSMO-CLM, Meteorologische Zeitschrift

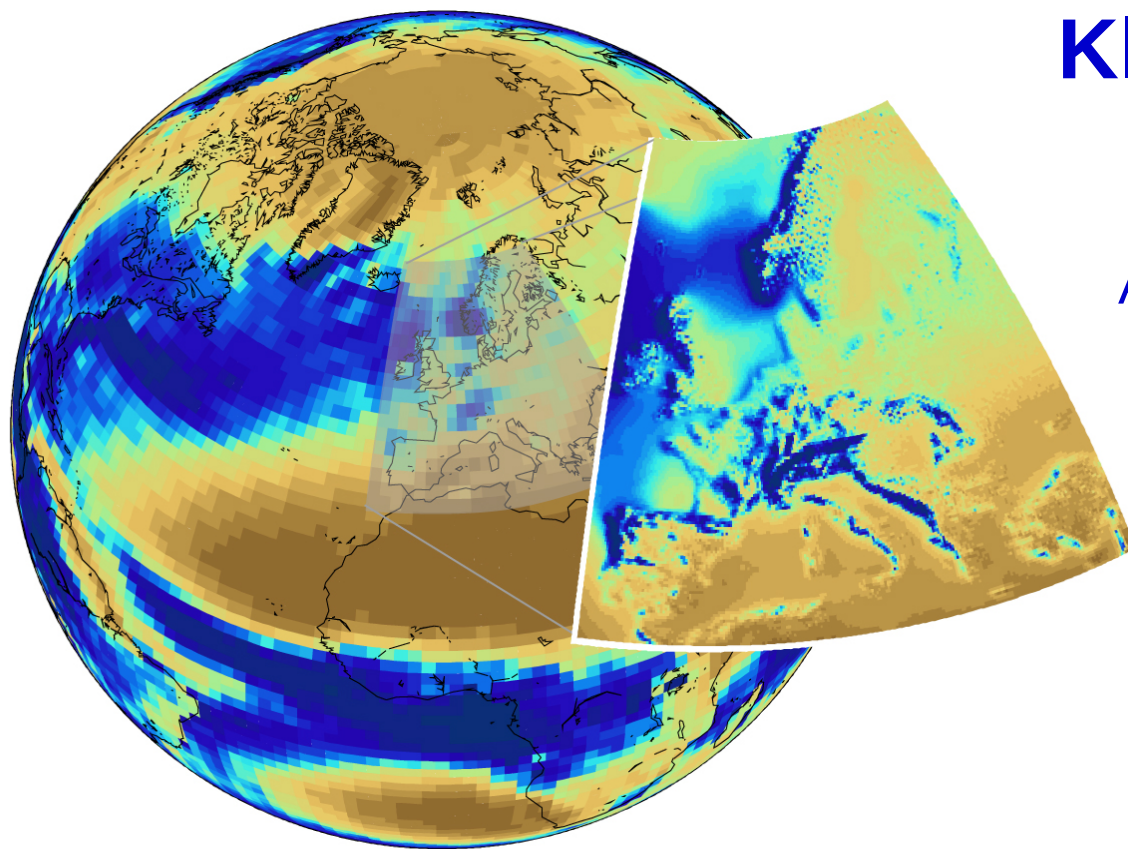


BTU

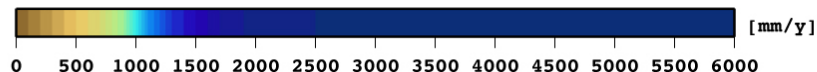
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Relevanz der Boden-Vegetations-Parameter und Bodenmessungen in der regionalen Klimamodellierung mit COSMO-CLM

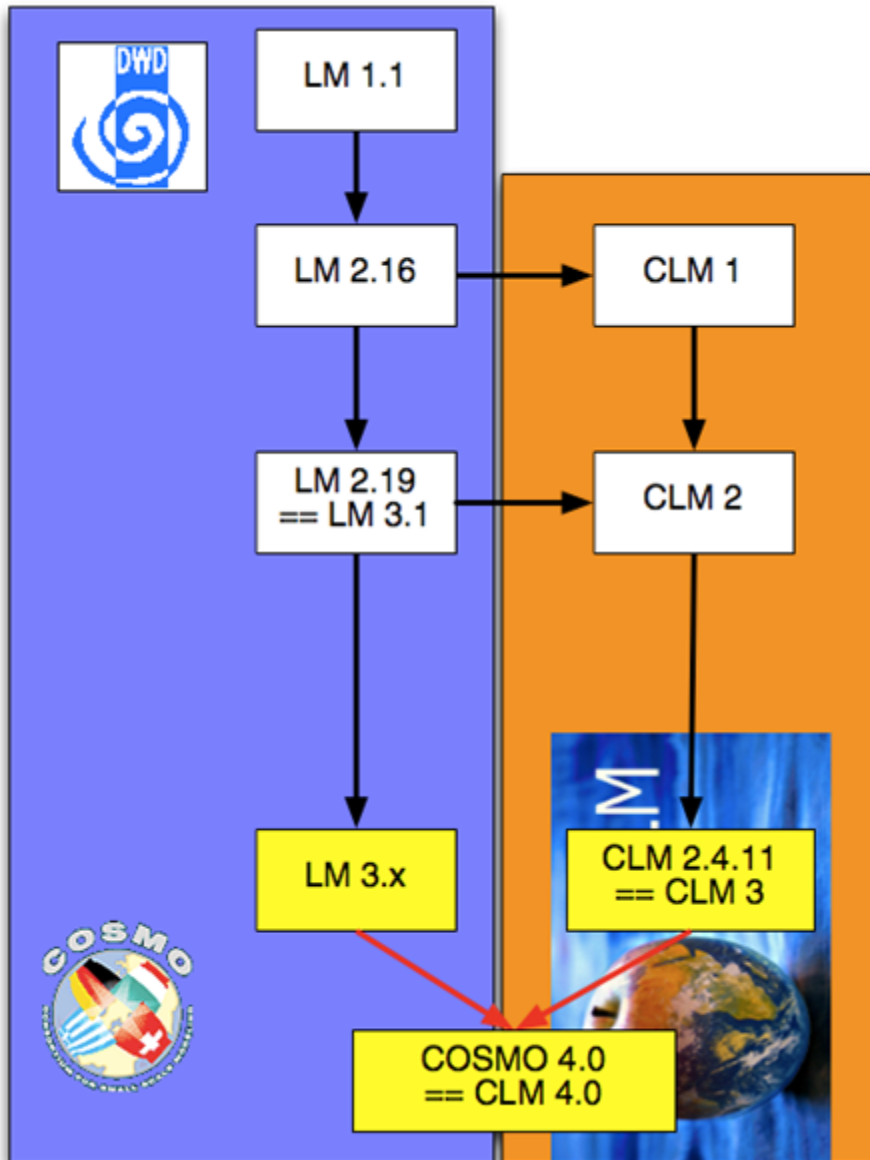
30 year mean (2001-2030) A1B_1 total precipitation
ECHAM5 and CLM



A.Block, K.Keuler und A.Will,
(BTU Cottbus)
und Ivonne Anders
(GKSS Geesthacht)



Entwicklung des COSMO-CLM



- | | |
|------|---|
| 1996 | 1. Beta LM Version |
| 1998 | 1. offizielle LM Version |
| 1999 | LM operationell |
| 1999 | Start der CLM Entwicklung am PIK |
| 2000 | Ein-Jahressimulation (Brasilien, PIK) |
| 2002 | |
| 2004 | Erste Klimaszenarienrechnung
(EU Projekt PRUDENCE, GKSS) |
| 2005 | Community Model Status |
| 2006 | Konsortialläufe |
| 2007 | Zusammenführung von LM und CLM
in COSMO 4.0 |

Unsicherheitsbereiche in regionalen Klimasimulationen infolge der Unsicherheiten der Vegetations- und Bodenparameter

Dissertation von Alexander Block
Umweltmeteorologie, BTU Cottbus

LAI30 ($\text{LAI} - \text{LAI} * 0,3$) Blattflächenindex

PLCOV (ECOCLIMAP)

ROOTDP (ECOCLIMAP)

ALBVEG (ECOCLIMAP)

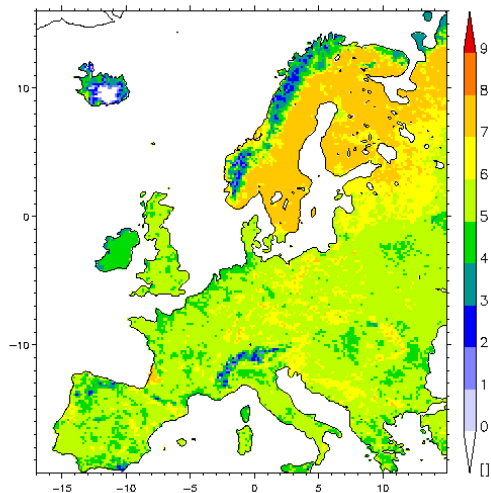
RS (Stomatawiderstand)

BK (Änderung der Bodenkennzahl)

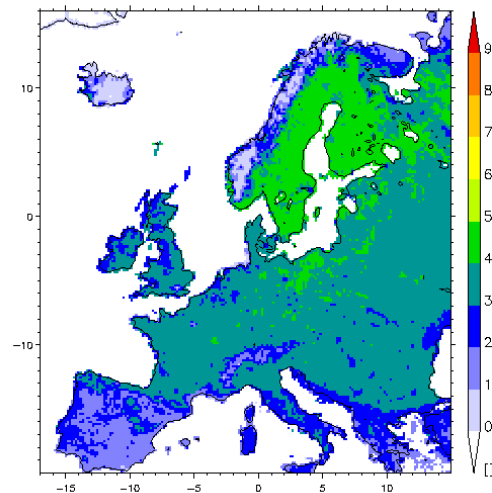
GKSS/**ECOCLIMAP**-Datensätze

Maximaler LAI

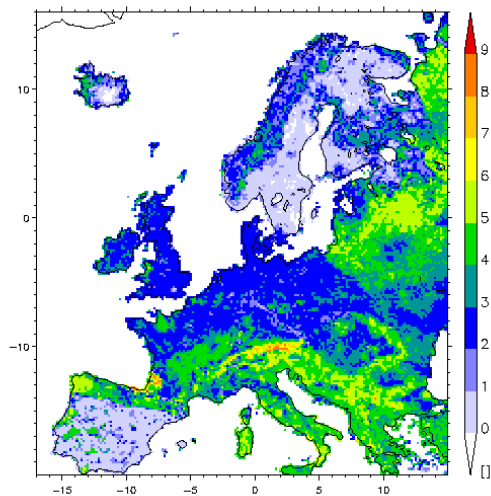
DWD



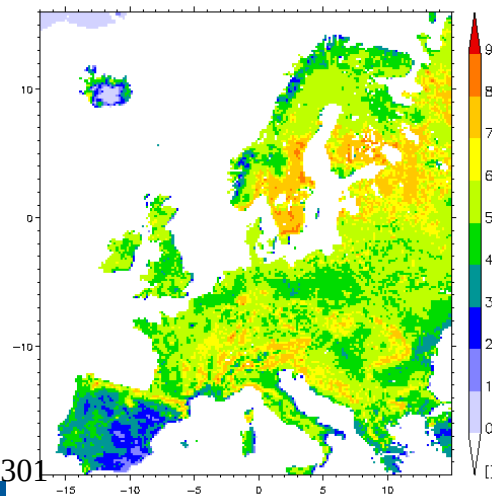
ECOCLIMAP



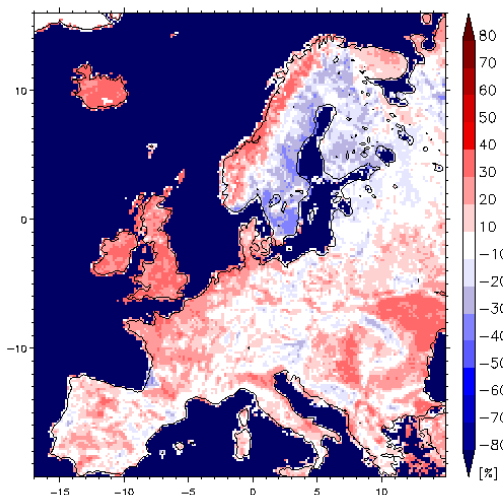
GKSS



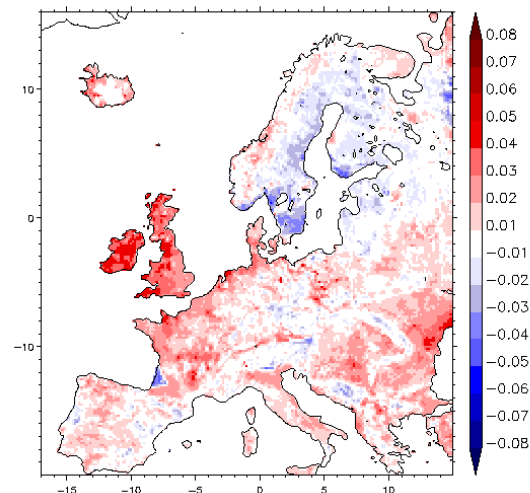
EFAI



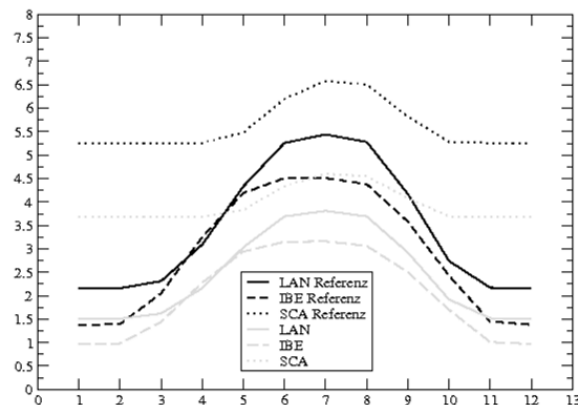
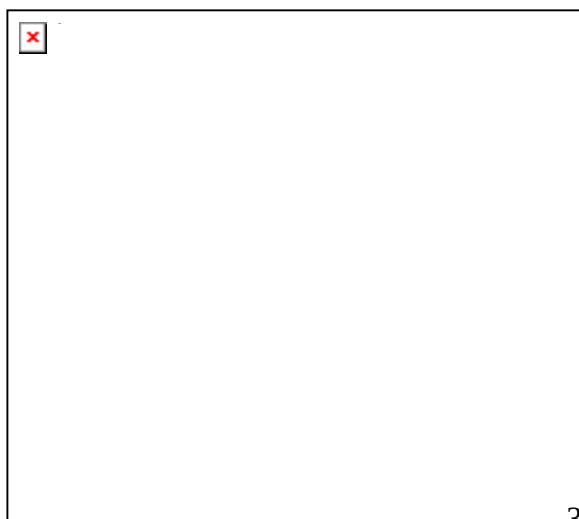
ALBVEG [%]
(ECO-DWD)



ALBVEG [-]

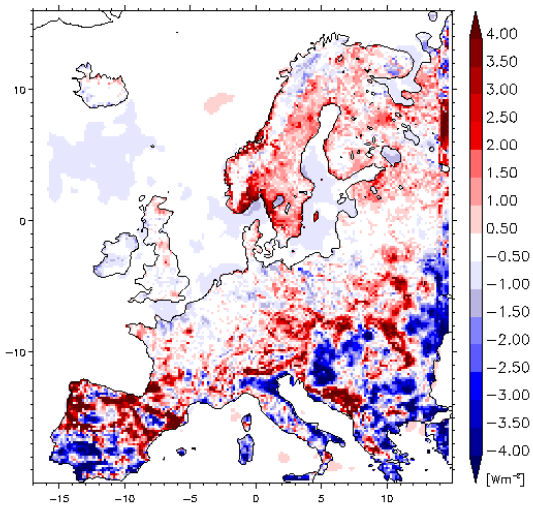


LAI30

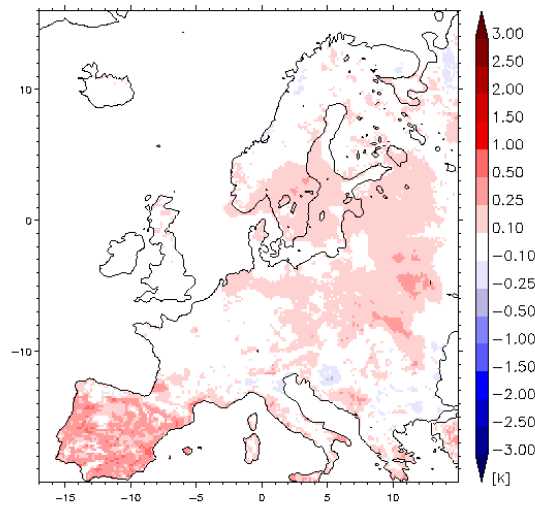


LAI30

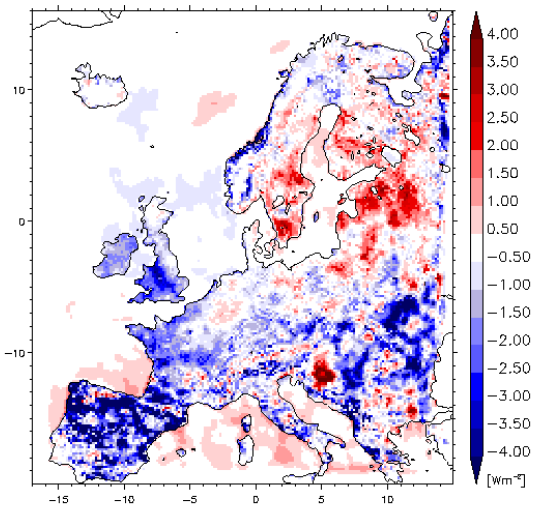
H
Year



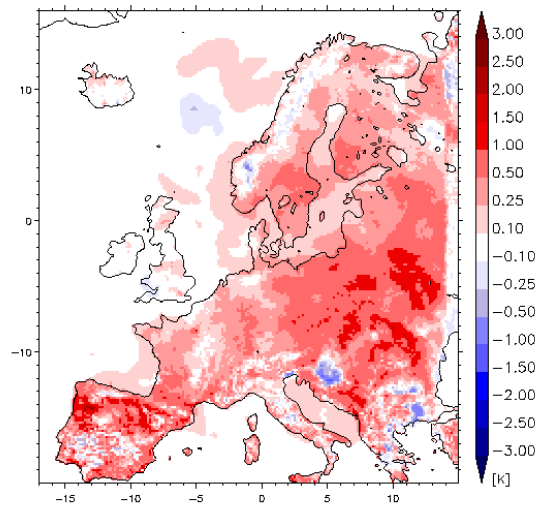
T_{2m}
Year



E
Year

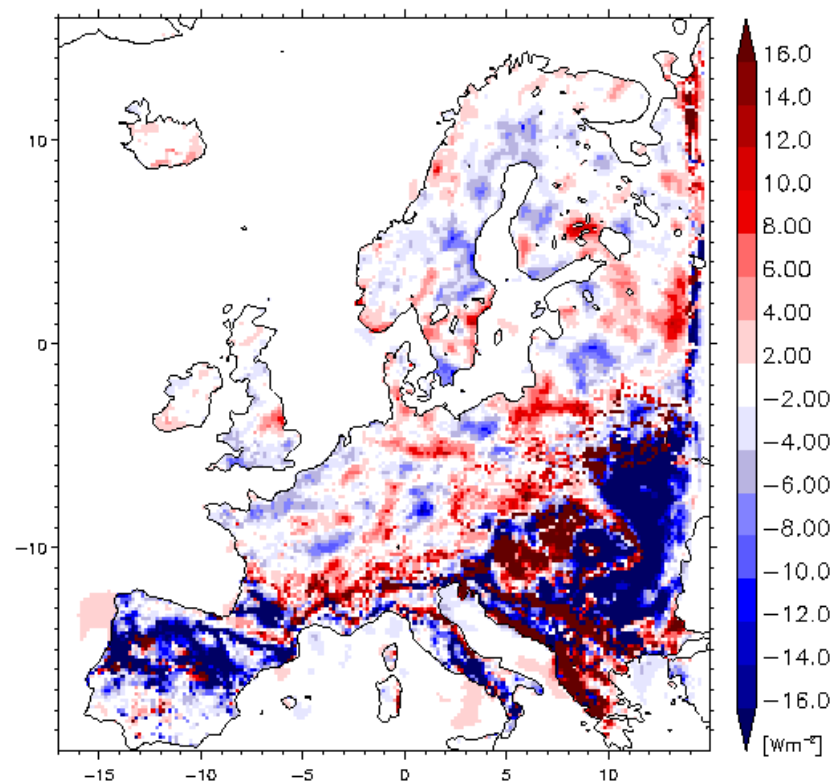
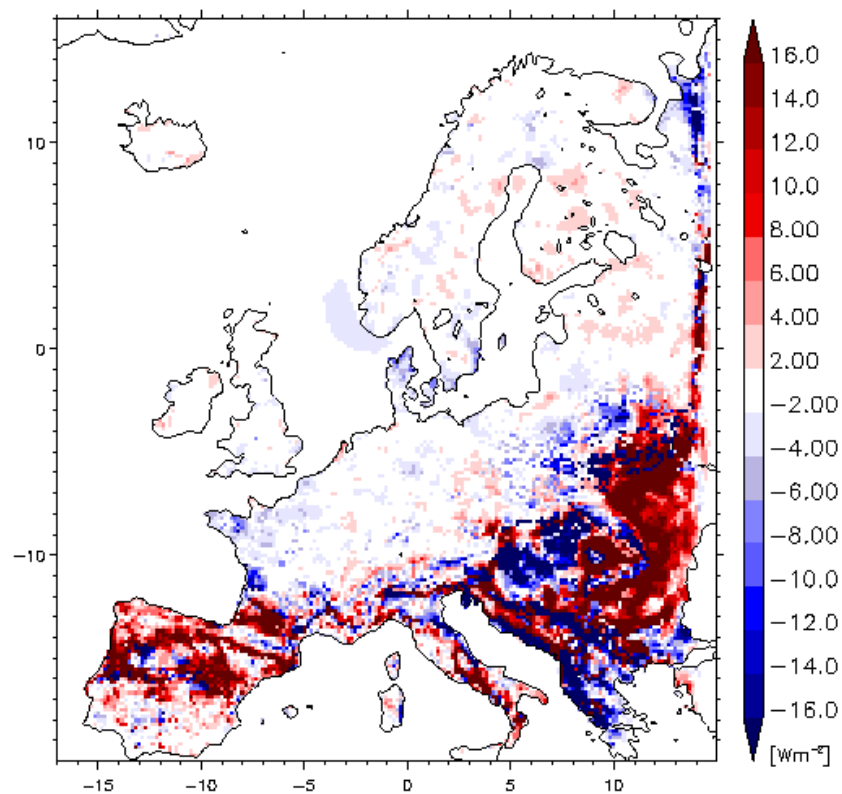


T_{2m}
July



H

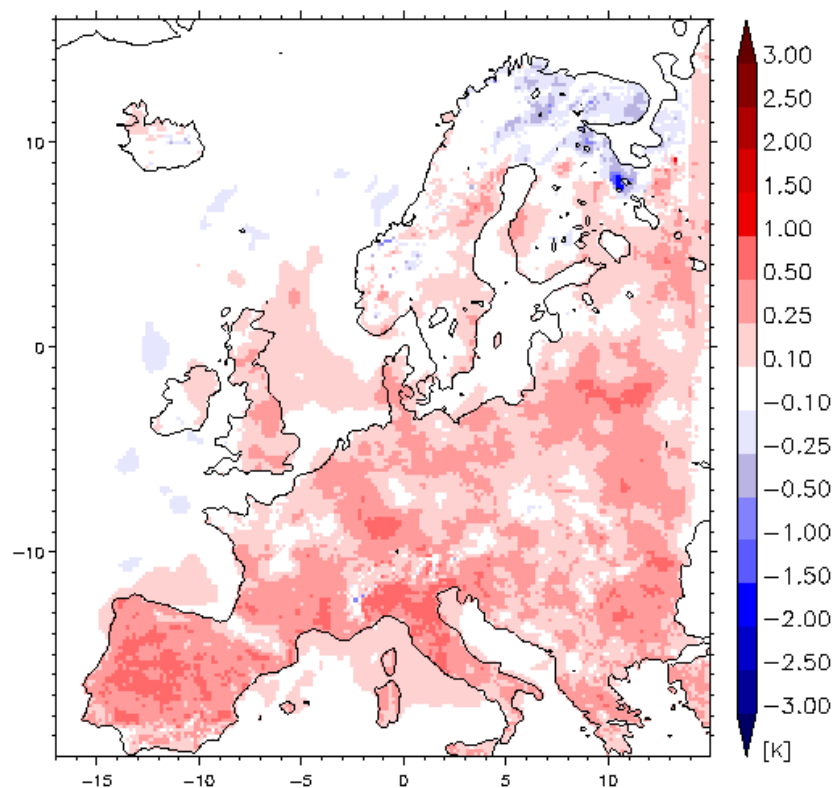
E



Diff: T_{2m} monthly average

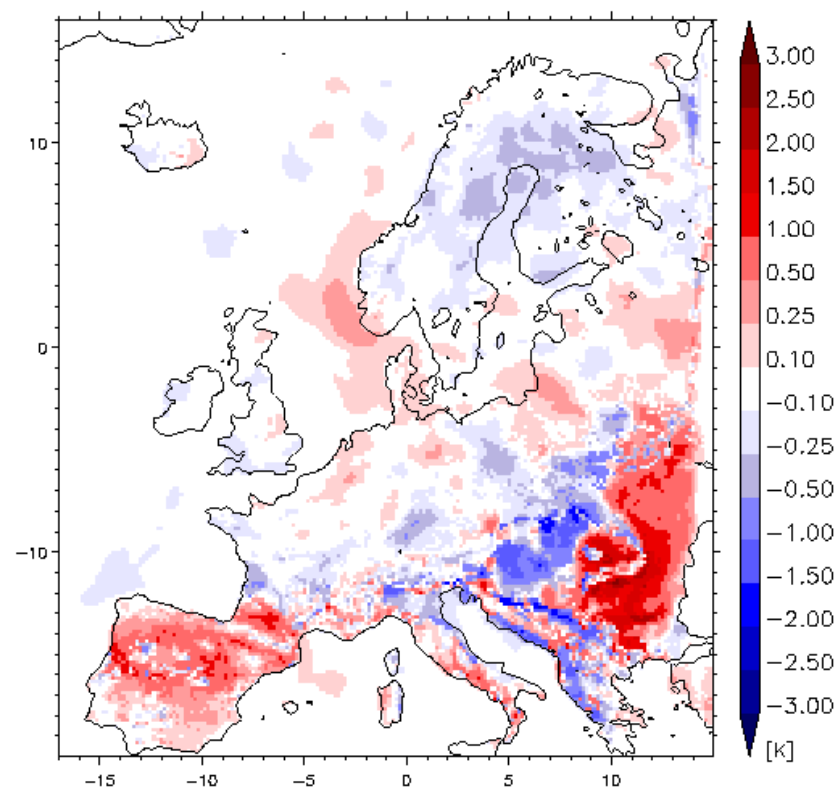
LAI30

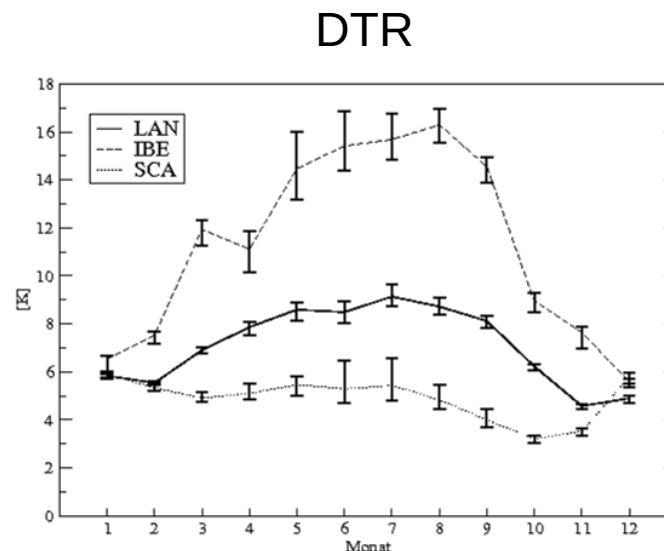
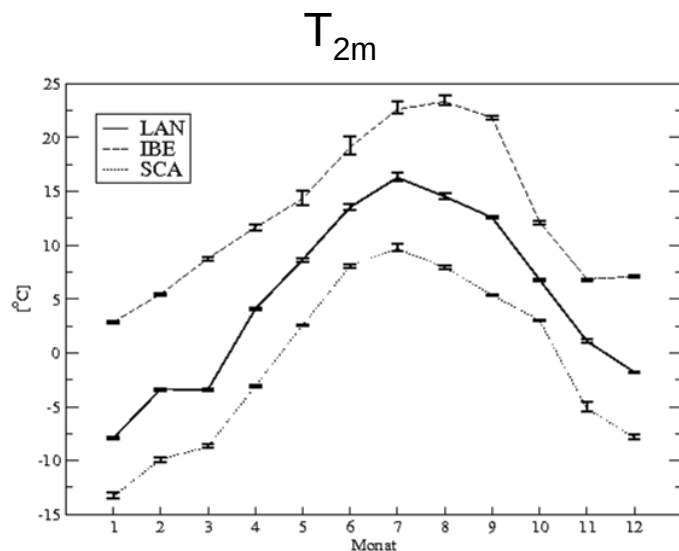
May



BK

July





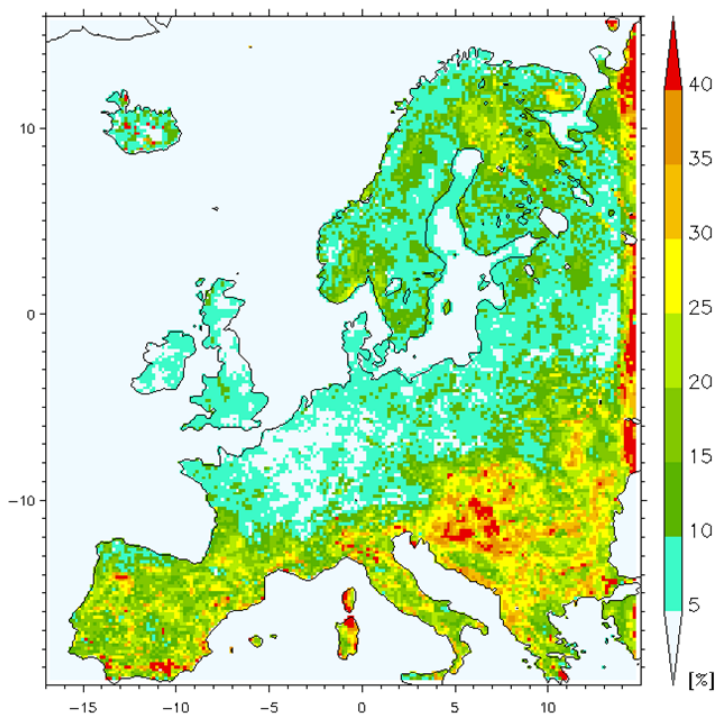
Yearly average

	LAN	IBE	SCA
$H [W m^{-2}]$	0,8	2,6	1,1
$E [W m^{-2}]$	1,4	3,0	0,8
$Q_s [W m^{-2}]$	2,0	2,8	2,5
$Q_L [W m^{-2}]$	2,0	2,0	3,1
$T_{2m} [K]$	0,1	0,4	0,1
DTR [K]	0,4	1,0	0,7

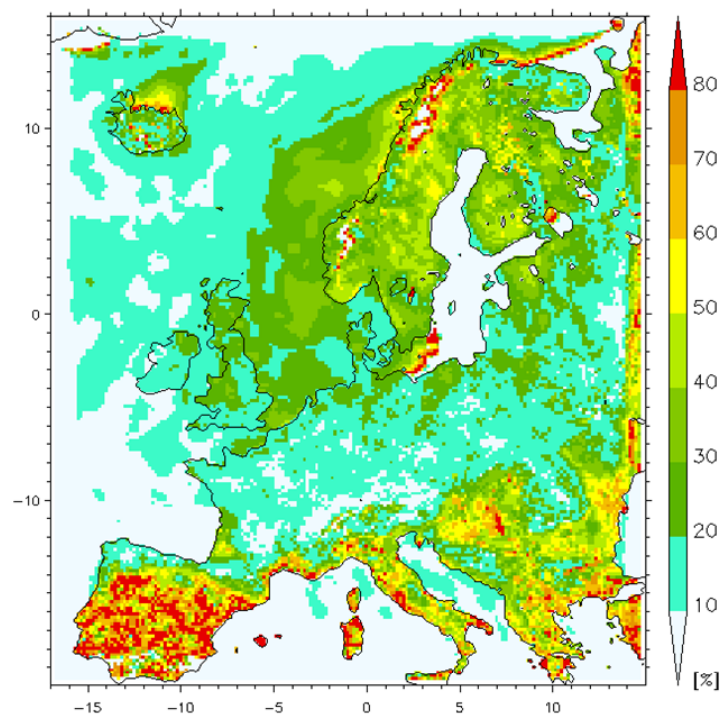
Monthly average

	LAN	IBE	SCA
$H [W m^{-2}]$	3,6	13,1	5,5
$E [W m^{-2}]$	4,6	22,3	4,3
$Q_s [W m^{-2}]$	7,4	6,2	20,4
$Q_L [W m^{-2}]$	6,1	9,2	10,0
$T_{2m} [K]$	0,7	1,5	0,9
DTR [K]	1,0	2,8	1,7

Latente Wärme, Jahr



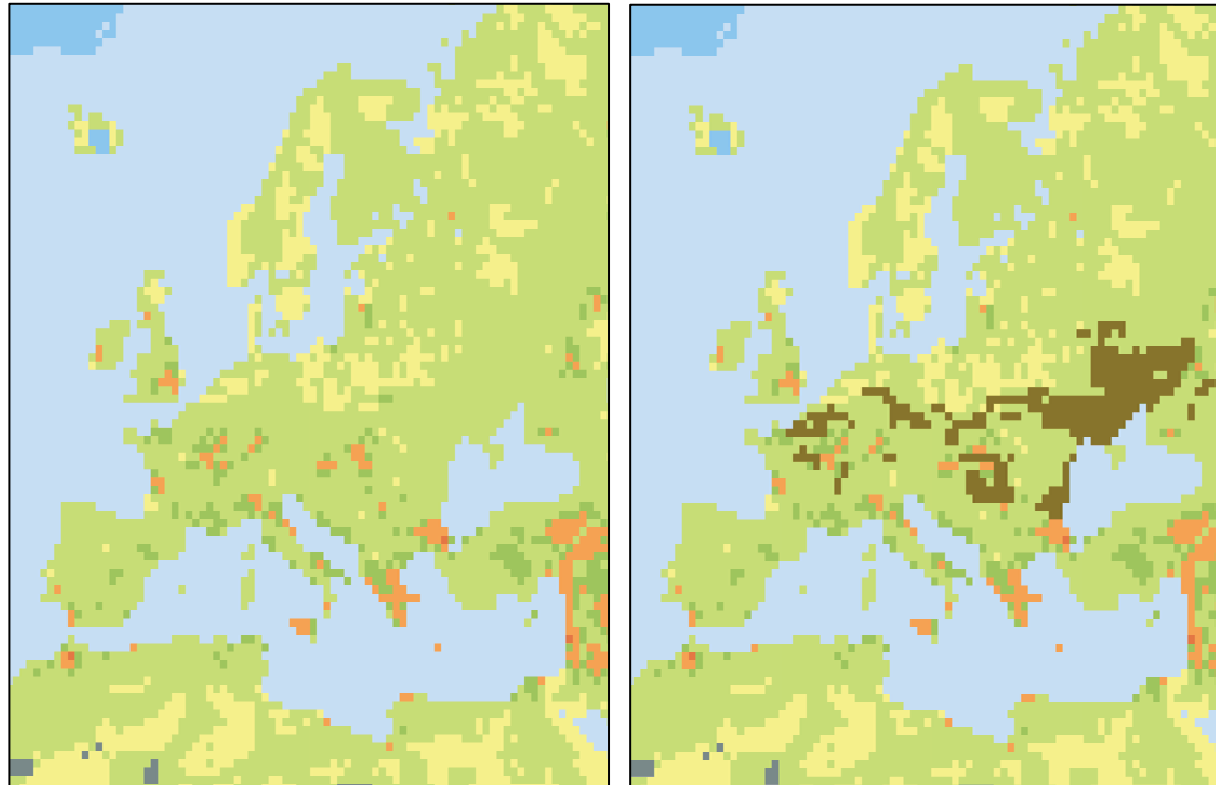
Latente Wärme, Juni



Relative Unsicherheitsbereiche

Einführung einer neuen Bodenart

**Ivonne Anders
GKSS**



1-Eis, 2-Fels, 3-Sand, 4-sandiger Lehm, 5-Lehm,
6 –toniger Lehm, 7-Ton, **8-Löss**, 9-Meerwasser

Räumliche Verteilung von Löss aus „International
soil map of Europe“ (H. Stremme) (ca.1932)

Löss

Eigenschaften im Vergleich zu
„sandigem Lehm“:

Höhere Porosität
fähig, mehr Wasser
auf zu nehmen und zu
speichern.

Damit steht in den
Sommermonaten **mehr
Feuchtigkeit im Boden** zur
Verfügung.



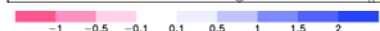
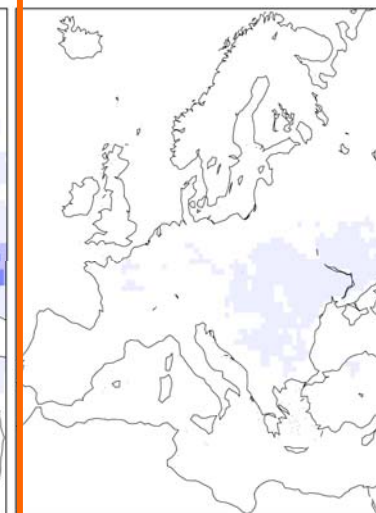
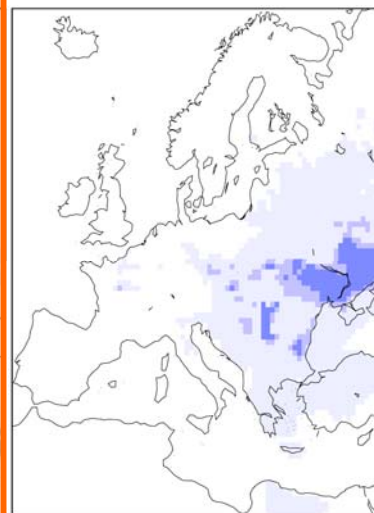
2m-Temperatur

Winter (DJF)

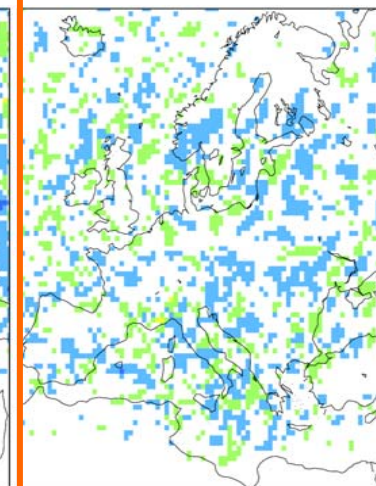
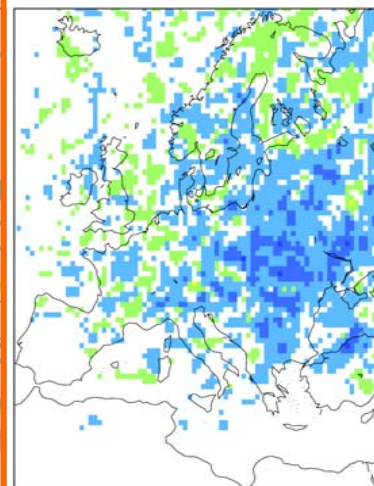
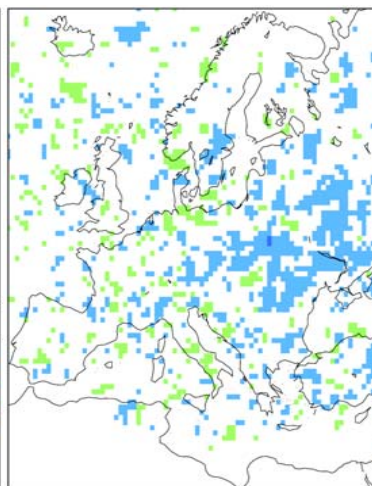
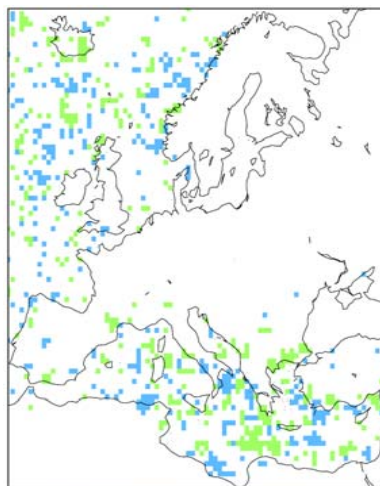
Frühling (MAM)

Sommer (JJA)

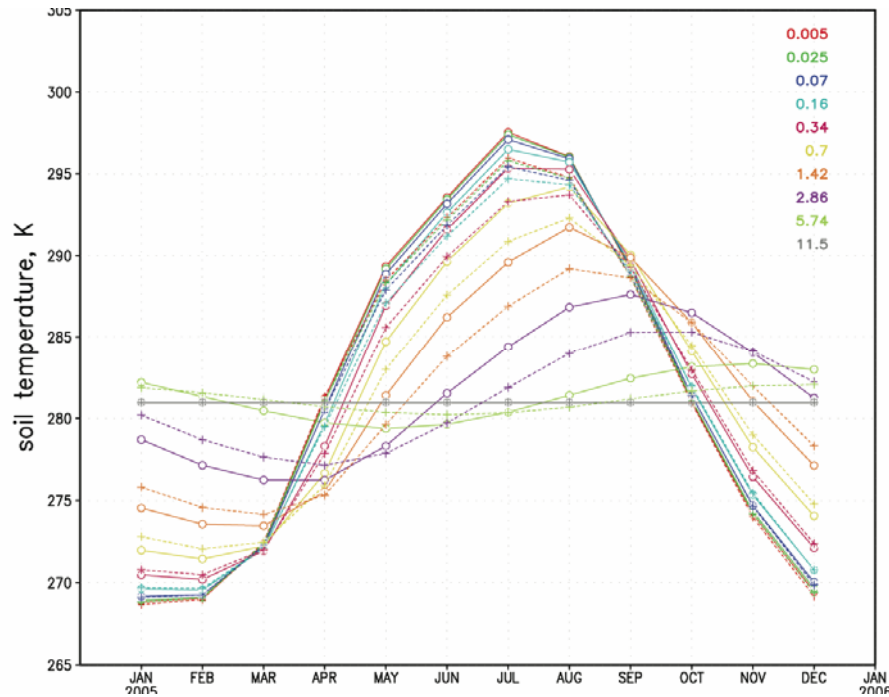
Herbst (SON)



Niederschlag

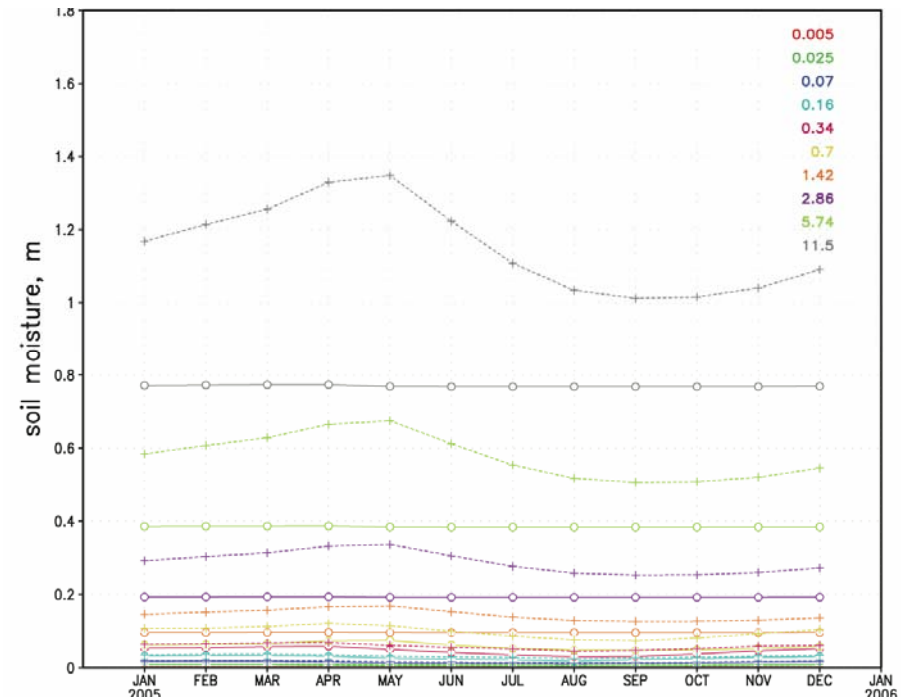


Bodentemperatur



Reduzierung der Temperatur
in allen Schichten
um 2-3K im Sommer

Bodenfeuchte

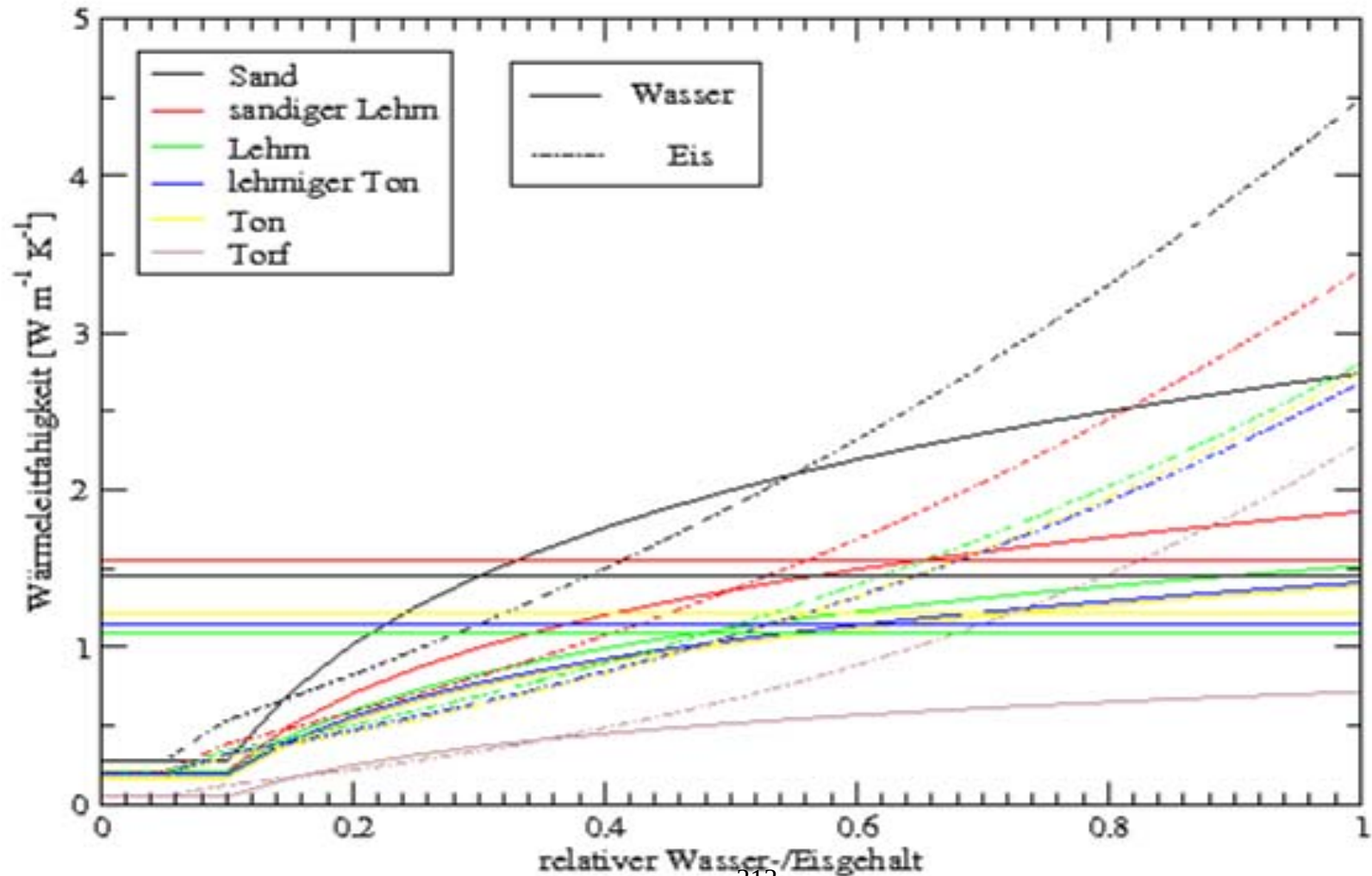


50% mehr Bodenfeuchte
in allen Schichten

Relevanz der Bodenfeuchte

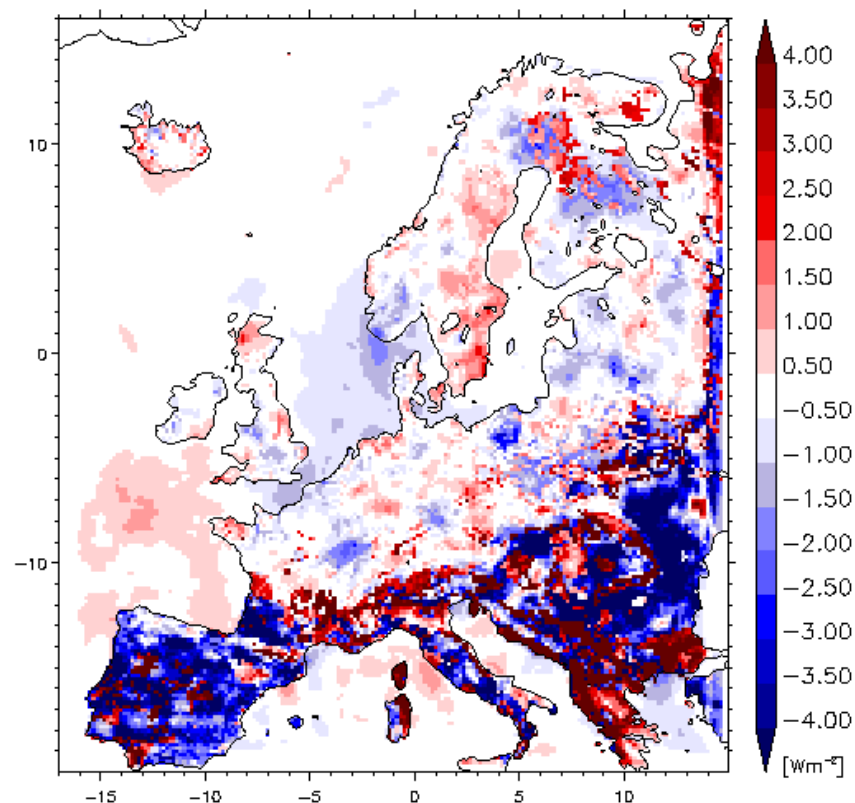
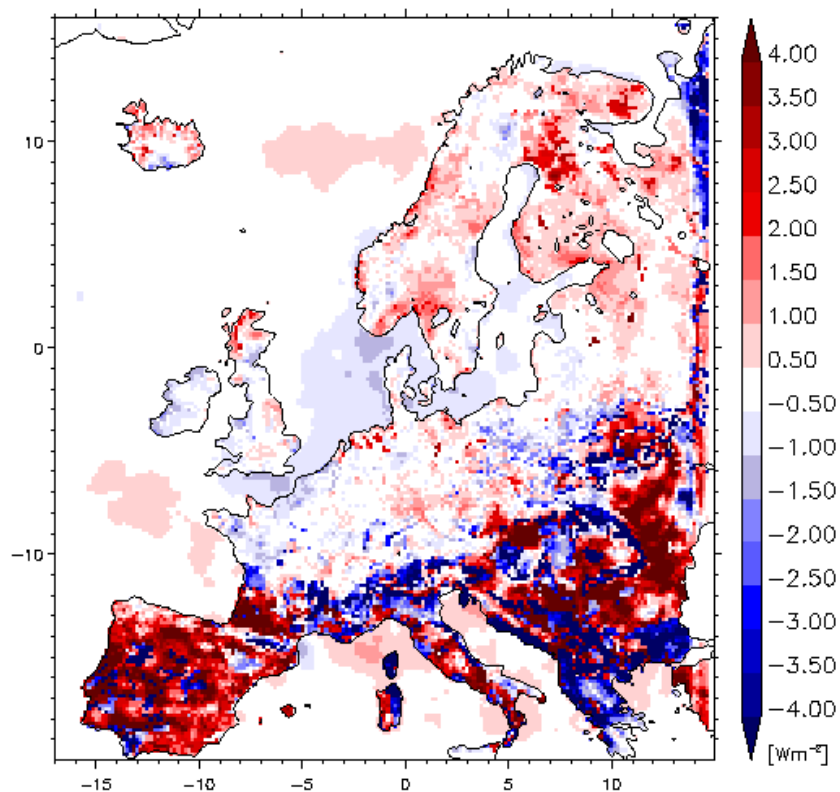
A.Block, A.Will und K.Keuler
BTU Cottbus

WL: Wärmeleitfähigkeit der Böden in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt



H

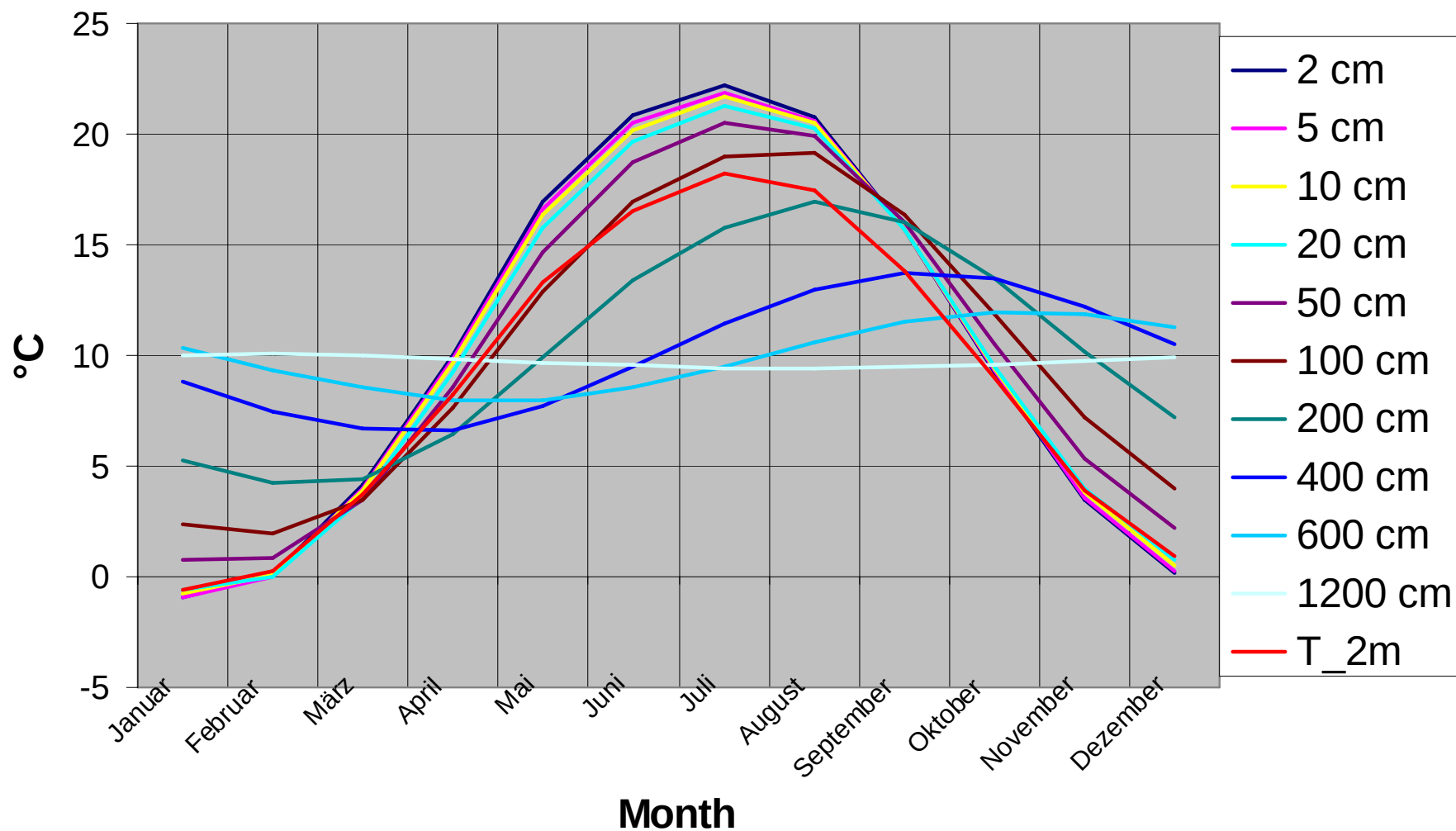
E



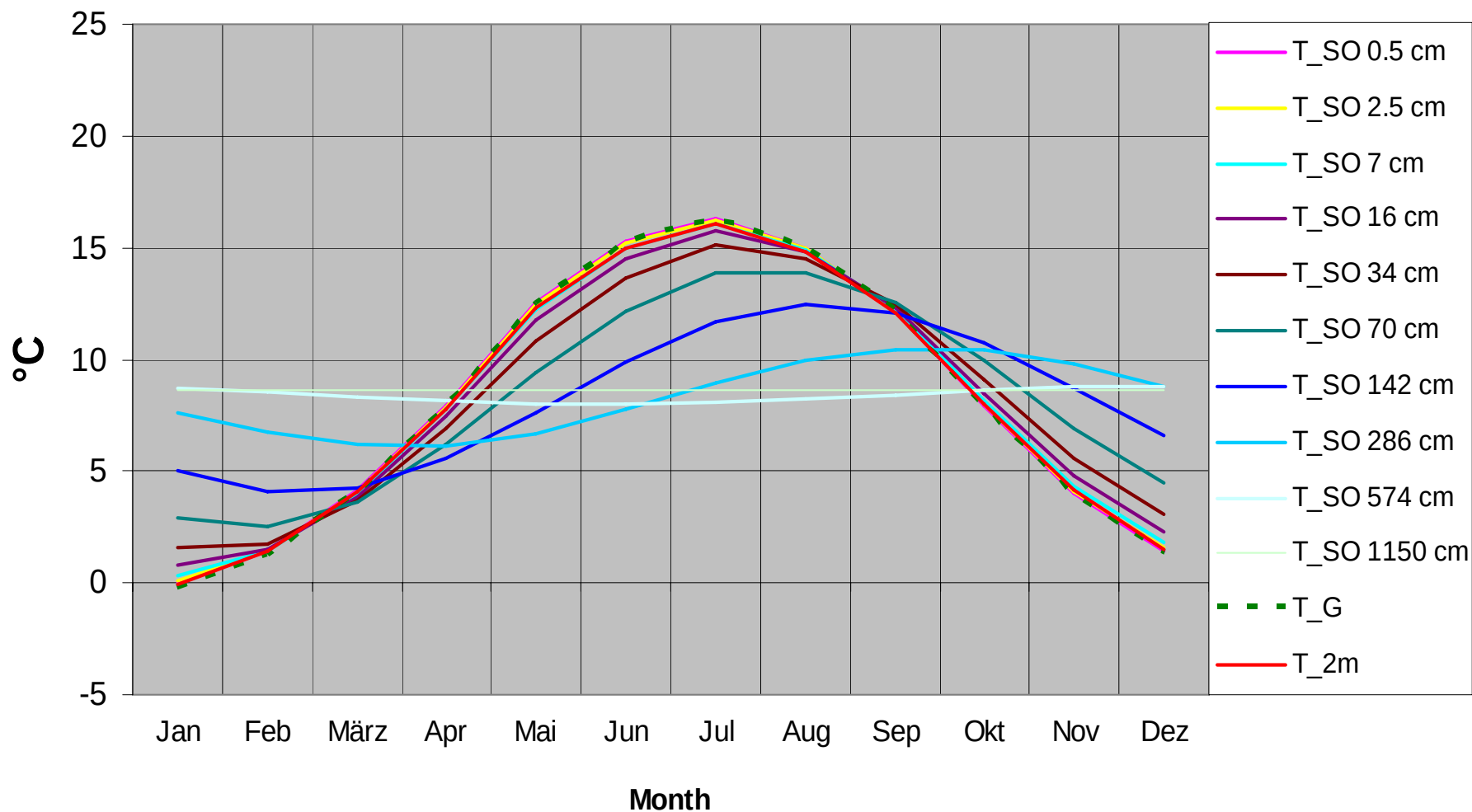
Validierung der Bodentemperaturen

A.Will und K.Keuler
BTU Cottbus

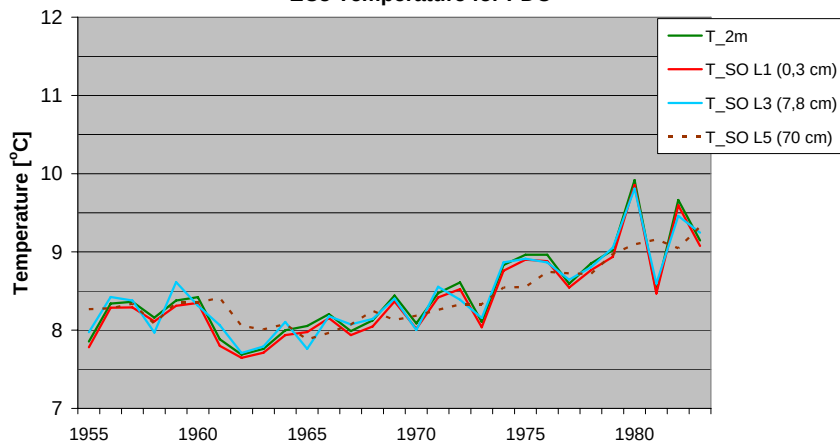
Mean annual cycle soil temperature Potsdam 1894-2004



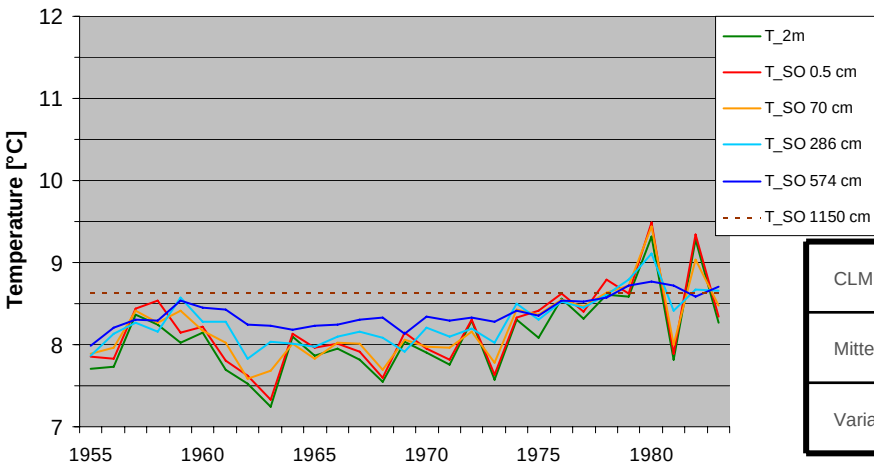
Mean annual cycle soil temperature CLM 1955-1983



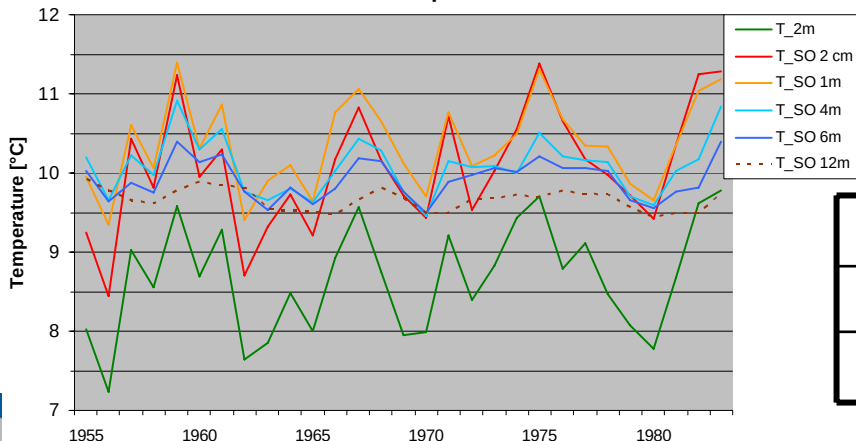
EC5 Temperature for PDC



Annual mean temperature of CLM Simulation A1B



Annual mean temperature Potsdam

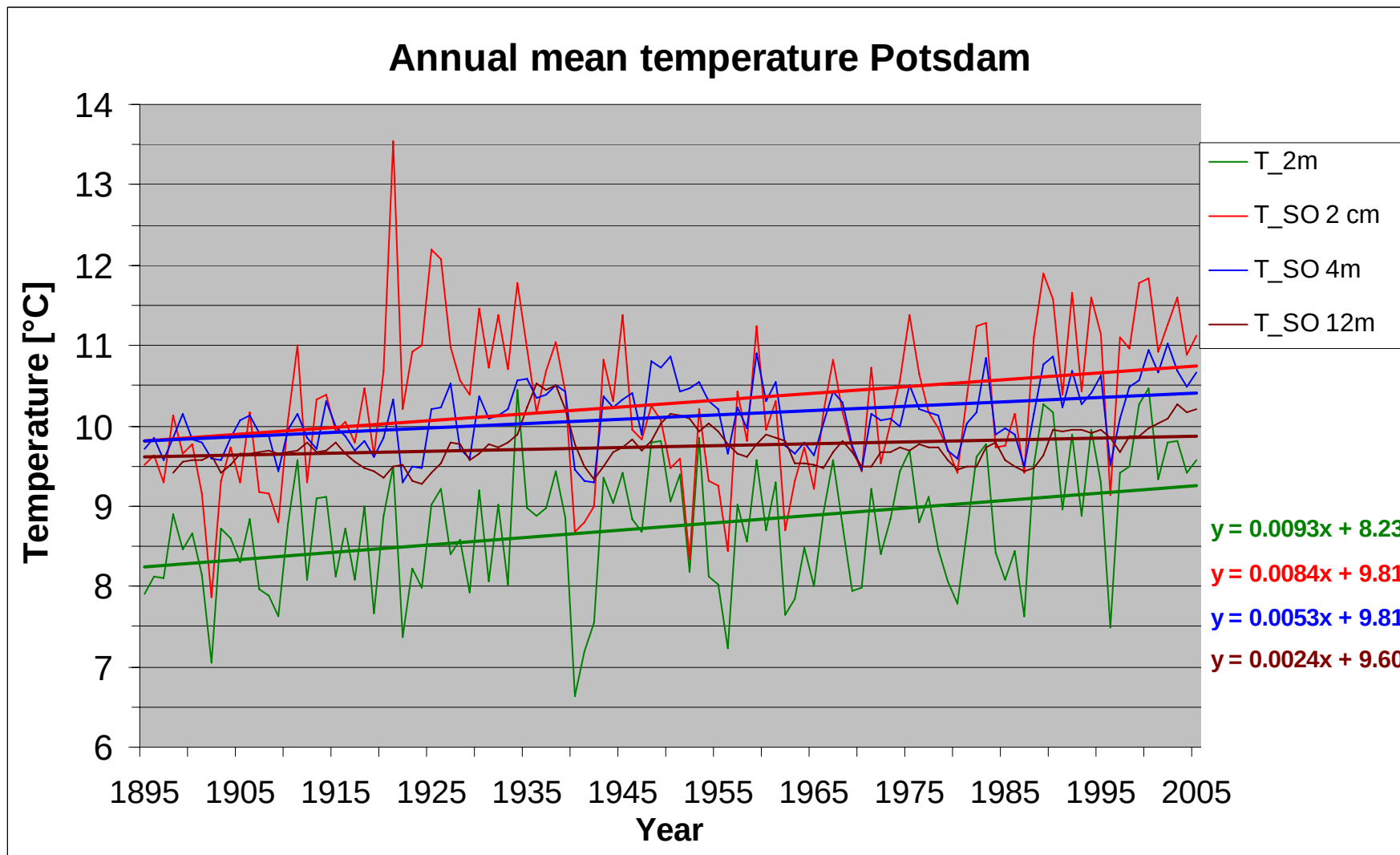


T Variability in Potsdam, CLM und ECHAM 5

EC5	T 2m	TS 0,3cm	TS 7,8 cm	TS 70 cm
Mittel	8,46	8,40	8,46	8,43
Varianz	0,47	0,47	0,45	0,30

CLM	T 2m	0,5 cm	2,5 cm	70 cm	2,9 m	5,7 m	11,5 m
Mittel	8,09	8,19	8,19	8,21	8,28	8,39	8,63
Varianz	0,47	0,49	0,48	0,42	0,30	0,19	0,0

Potsdam	T 2m	TS 2 cm	TS 4 m	TS 6m	TS 12 m
Mittel	8,67	10,06	10,08	9,92	9,67
Varianz	0,69	0,75	0,36	0,25	0,14



Zusammenfassung:

Die bestehenden Unsicherheiten der Szenariensimulationen könnten deutlich verkleinert werden, wenn:

- die Bodentypen, ihre physikalischen Eigenschaften und Vertikalprofile sowie
- die Temperatur- und Feuchteprofile bis mindestens 1 m Tiefe, zuverlässig bekannt wären und
- in Form europaweiter Datensätze auf regelmäßigem Gitter von 1km vorhanden wären.

Die CLM Community freut sich auf eine Zusammenarbeit!

www.clm-community.eu

UBA - Workshop:
Böden im Klimawandel – Was tun?! am 22. / 23. Januar 2008

Ergebnisse der Online-Abstimmung zum DAS-Fragenkatalog

- Endfassung vom 22. April 2008 -

I. Betroffenheit von Klimaänderungen

1. Wie sehen die Folgen des Klimawandels auf die Böden aus?

Empfehlungen und Anregungen aus dem UBA-Workshop: „Böden im Klimawandel - Was tun?!“ mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) vom 13.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)
- Herr Dinter (Stadtverwaltung Cottbus; SB Umweltstrategie) vom 20.2.2008 (3)
- Herr F. Wilhelm (persönliche Meinung als Workshopteilnehmer), Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vom 3.3.2008 (4)
- Frau Dr. K. Schweitzer (Humboldt Universität, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät) vom 28.3.2008 (5)
- Herr Prof. H.-C. Fründ (FH Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur) vom 2.4.2008 (6)
- Herr Dr. H. Flaig (LTZ Augustenberg, Ref. Agrarökologie) vom 29.3.2008 (7)
- Herr Dr. Seiffert (SMUL, Sachsen) vom 28.3.2008 (8)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (9)

I. Thesen über die Folgen des Klimawandels auf die Böden

1. Die Klimawirkung auf Böden ist unbestritten.
2. Die Veränderungen des Klimas lassen sich als Verschiebung von Klimazonen beschreiben. Die zu erwartenden Veränderungen der Böden und der in ihnen ablaufenden Prozesse lassen sich deshalb weitgehend durch das Studium der Verhältnisse in Gebieten vorhersagen, die heute dem bei uns erwarteten Klima entsprechen. (6)
3. Klima und Böden sind eng gekoppelt. Das Klima beeinflusst sämtliche Bodenprozesse und damit auch die Bodengenese maßgeblich. (2)
4. Klimaänderungen lassen einschneidende Änderungen für das Umweltkompartiment Boden erwarten:
 - o Veränderungen des Stoffumsatzes im Boden,
 - o Veränderung der Abbauleistungen für Schadstoffe,
 - o partiell veränderte Austragsverhältnisse von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer und das Grundwasser,
 - o veränderte Nährstoffverfügbarkeit,
 - o Dürreschäden,
 - o Umbau der Bodenlebensgemeinschaften,
 - o Veränderung der organischen Substanz im Boden (nach Menge, Zonierung und Beschaffenheit) (9),
 - o Erhöhung der Bodenerosion im Sommer durch Winderosion, im Winterhalbjahr z.B. durch Überflutungen. (2)
5. Eine Erhöhung der mittleren Temperatur und eine veränderte Verteilung von Niederschlägen wird sich auf den Wasserhaushalt, den Stofftransport und den Stoffumsatz in Böden auswirken, wodurch wesentliche primäre Bodenfunktionen (Pflanzenproduktion, Filter für Kontaminanten, Kohlenstoffspeicher) betroffen bzw. beeinträchtigt werden. (2)

6. Kurzfristig (Jahrzehnte) sind Änderungen wichtiger Steuergrößen der Böden wie Bodenfeuchte und Gehalt an organischer Substanz zu erwarten. In der Folge können mittelfristige Änderungen der Bodenstruktur und der Zusammensetzung des Edaphons auftreten, die ihrerseits zu einer Erhöhung des Erosionsrisikos führen können. (2) Langfristig sind Veränderungen durch Substratverlagerungen (flächig und vertikal) zu erwarten, die zur Beschleunigung der Bodenogenese beitragen können. (9)
7. Biotische Systeme reagieren auf Umweltveränderungen schneller als abiotische Systeme. (Boden-)organismen und Vegetation spielen deshalb eine wichtige Rolle als Indikatoren des Klimawandels. (6)
8. Die zu erwartenden Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen führen zu Einschränkungen der Nutzungsfunktionen des Bodens (Auswirkungen auf Flächen für Siedlung und Verkehr, Standorte für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, Standorte für wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen).
9. Die Konsequenzen für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Biodiversität resultieren aus den Wechselwirkungen von Boden und Klima. Konsequenz: Strategien und Maßnahmen zur Klimaanpassung müssen demzufolge auch im Boden ansetzen Ziele zum Schutz der Böden umfassen. – siehe Kommentar in Fußnote ¹ (4)
10. Die Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen können haben schädliche Bodenveränderungen zur Folge haben. siehe Anmerkungen / Kommentar * (1), (4)
11. Daneben ist zu erwarten, dass es durch Erosion und Versalzung zu quantitativen Verlusten bzw. zu Gebrauchswertminderungen der Ressource Boden kommt. (2) (9)
12. Die Komplexität des Systems Boden mit vielen internen Regelkreisen und Rückkopplungsmechanismen erschwert quantitative Vorraussagen bzw. führt zu großen Unsicherheiten in der Vorhersage. (2) Für belastbare quantitative Aussagen über die Klimawirkungen auf Böden reicht die Datenlage nicht aus.
13. Die Dauerfeldversuche, Bodendauerbeobachtung (BDF), Dauerfeldversuche, die Bodenzustandserhebung (BZE) Wald und Daten der Bodenschätzung sind geeignete und wichtige Instrumente für die Klimaschutz- und Klimafolgenforschung. (9)
14. Es gibt regional unterschiedliche Ausprägungen der Folgen des Klimawandels. Konsequenz: Eine regionale Betrachtung der Klimawirkungen ist erforderlich. ** (3) Die Wechselwirkung zwischen Klima, Boden, Nutzung / Vegetation und weiteren Standortfaktoren erfordert auch eine standortdifferenzierte Bewertung der Folgen von Klimawirkungen, ebenso wie effiziente Schutzmaßnahmen nur standortdifferenziert möglich sind. (5)

* Anmerkungen / Kommentar zur These 8:

Bei den landwirtschaftlich genutzten Böden gibt es im Prinzip keine „natürlichen“ Böden Bodenfunktionen mehr. Siehe Anmerkungen und Kommentar in Fußnote ² (4) Die Bodenfunktionen sind seit Jahrzehnten von der landwirtschaftlichen Nutzung beeinflusst. Dies hat nach unseren Erfahrungen (Bodenstrukturuntersuchungen auf über 300 Standorten in ganz Deutschland¹) in vielen Fällen zu einer negativen Beeinträchtigung der Bodenfunktionen geführt (Rückgang der organischen Substanz, Labilität der Bodenstruktur/Aggregatstabilität -> Erosionsanfälligkeit und Verdichtung). Dieser Ausgangszustand verstärkt die Folgen des Klimawandels wesentlich – wird in den Modellen bisher aber in keiner Weise berücksichtigt, da keine ausreichende Datenlage (Strukturuntersuchungen s. auch Forschungsbedarf) existiert. (1)

** Anmerkung / Ergänzung zur These 12: Es sollten nicht nur regionale Besonderheiten und Unterschiede betrachtet, sondern auch nutzungsabhängige Einflüsse stärker berücksichtigt werden. Siehe nachfolgende Tabelle. (3)

¹ Maßnahmen setzen i. d. R. nicht unmittelbar „am Boden“ an, sondern bei der Nutzung

² Anmerkung: Die ursprüngliche Aussage kann bodenschutzrechtlich nicht mitgetragen werden. Jeder landwirtschaftlich genutzte Boden erfüllt auch natürliche Bodenfunktionen gem. § 2 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG, in welchem Ausmaß, kann diskutiert werden.

II. Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen durch Klimaänderungen

Vorschlag des UBA für eine strukturierte Darstellung der Klimafolgen auf Grundlage einer Betrachtung der natürlichen Bodenfunktionen (Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen):

Folgen der Klima- änderungen aus Sicht des Bodenschutzes	Ursache	Beeinträchtigte Boden- funktion / Teilfunktion / Kriterium ²	Betroffene Nutzungsfunktion des Bodens
Änderungen im Trink- wasserangebot im Jahresverlauf	<u>Saisonale Verlagerungen</u> der GW-Neubildungsraten im Sommerhalbjahr (Verlagerung des Niederschlags vom Som- mer in das Winterhalbjahr, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr) können zu Engpässen im Trinkwasser- angebot im Sommer führen. (9)	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Beitrag des Bodens zur Grundwasser- neubildung): Fähigkeit des Bodens, Wasser aus der durchwurzelbaren Bodenzone nach unten austreten zu las- sen und dadurch zur Regene- ration des Grundwassers bei- zutragen.	Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzun- gen, Verkehr, Ver- und Entsorgung
Anstieg der Hoch- wassergefahr	Zunahme der Extremereignisse, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr → geringe Infiltrationsraten im Boden → geringe Wasserspei- cherfähigkeit Infiltrationsraten der Böden aufgrund von Ver- dichtung (1) (9) <u>Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr (7)</u>	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Abfluss- regulierung): Fähigkeit des Bodens Niederschlagswasser aufzu- nehmen, zu speichern oder ins Grundwasser abzugeben und dadurch den Abfluss zu redu- zieren.	Fläche für Siedlung und Erholung, Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzun- gen, Verkehr, Ver- und Entsorgung
Dürreschäden und Ertragsminderung auf Böden mit geringer Wasserhaltefähigkeit, Insbesondere auf grundwasserbestimm- ten Böden ³ wo ein relativ geringer Grund- wasserflurabstand das Wasserspeichervermö- gen des Bodens ersetzt (3)	Verlagerung des Nieder- schlags vom Sommer in das Winterhalbjahr, längere Tro- ckenperioden im Sommer- halbjahr, → hohe Verdun- stung, Zunahme der Extremereignisse, geringe Infiltrations- raten im Boden → geringe Wasserspeicherfähigkeit der Böden aufgrund von Verdich- tung (1) → <u>Gefahr des Austrocknens der Böden und der irreversib- len Schädigung der Aggregat- stabilität (7)</u>	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt Die Speicherfunktion dieser Böden ist gering (3)	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen
Verminderte Nährstoff- verfügbarkeit im Boden	Zunahme der Jahresmittel- temperatur, längere Trocken- perioden im Sommerhalbjahr, wechselfeuchte Phasen <u>Erhöhte Nährstoffaus- waschung im Winterhalbjahr durch zunehmende Differenz von Nährstoffaufnahme und Nährstoffmobilität (9)</u>	Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt (Nähr- stoffpotential und Nährstoff- verfügbarkeit): Fähigkeit des Bodens, insbesondere basi- sche Kationen für Pflanzen zur Verfügung zu stellen, um eine ausreichende Pflanzenernäh- rung sicher zu stellen.	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen

² Fachliche Grundlage: Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit; Planungsgruppe Ökologie und Umwelt GmbH, im Auftrag der LABO; Juli 2003

³ z. B. auf Talsanden im Urstromtal wie im Spreewald sind die Erträge generell stark vom Grundwasserflurabstand abhängig, siehe dazu Untersuchungen über 20 Jahre hinweg von: Koehler (Königl. Meliorationsbauinspektor für die Provinz Brandenburg in Potsdam) : „Die Landesmelioration des Spreewaldes“, Verlag von Paul Parey, Berlin 1885, 45. S. und eine Karte

Folgen der Klimaänderungen aus Sicht des Bodenschutzes	Ursache	Beeinträchtigte Bodenfunktion / Teilfunktion / Kriterium ²	Betroffene Nutzungsfunktion
Änderungen der GW-Neubildungsrate und der Sickerwasserraten	Verlagerung des Niederschlags vom Sommer in das Winterhalbjahr, GW-Neubildung findet überwiegend im Winterhalbjahr statt, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr	Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Beitrag des Bodens zur Grundwasserneubildung (Sickerwasserrate)): Fähigkeit des Bodens, Wasser aus der durchwurzelbaren Bodenzone nach unten austreten zu lassen und dadurch zur Regeneration des Grundwassers beizutragen.	Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung
Verringerung der Abbauleistung von Schadstoffen in Böden	Rückgang der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr, Beeinträchtigung der Mineralisierung von abbaubaren Schadstoffen; Zunahme der Verdunstung im Sommerhalbjahr: Mobilisierung von Schwermetallen bei zunehmender Salzkonzentration der Bodenlösung	Filter-, Puffer – u. Umwandlungsfunktion des Bodens: Fähigkeit des Bodens org. Schadstoffe und Schwermetalle im Boden abzubauen bzw. zu binden, damit sie nicht von Pflanzen oder Bodenlebewesen aufgenommen oder in Gewässer verlagert werden können.	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung
Mobilisierung von <u>Nähr- und</u> Schadstoffen aus Böden und Einträge in Oberflächengewässer und Grundwasser (9)	Zunahme der Extremereignisse, längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr → geringe Infiltrationsraten im Boden	Filterfunktion des Bodens für nicht sorbierbare Stoffe (Retention des Bodenwassers): Fähigkeit des Bodens, im Sickerwasser gelöste Stoffe (z.B. Nitrat) in der durchwurzelbaren Zone zu halten und damit der Gefährdung der Gewässer entgegen zu wirken.	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen, Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung
Abnahme der humusbildenden Prozesse, <u>Zunahme der Vermüllung organischer Böden (9)</u>	Rückgang der klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr, Steigende Temperaturen, Zunahme der Verdunstung, Beeinträchtigung der Mineralisierung <u>Höhere Temperaturen im Winterhalbjahr + ausreichende Bodenfeuchte beschleunigen die Mineralisierungsprozesse → Nährstofffreisetzung in vegetationslosen bzw. vegetationsarmen Zeiten.</u> <u>Folge: Auswaschung und Humusabbau (7)</u>	Lebensraumfunktion (Natürliche Bodenfruchtbarkeit): Fähigkeit des Bodens, Pflanzen, auch Nutzpflanzen, auch bei Verzicht auf anthropogene Maßnahmen gute bis sehr gute Wachstumsbedingungen zu bieten.	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	Erhöhte Bodentemperaturen und längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr, Zunahme anaerober Bedingungen, Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr: Staunässe	Lebensraumfunktion (Lebensraum für Bodenorganismen und Bodenfauna): Standortliche Eignung des Bodens, Lebensraum für typische Bodenorganismengemeinschaften zu sein.	Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen
<u>Zunehmende Freisetzung klimarelev. Gase (7) wie N₂O aus Böden</u>	<u>Verstärkte Mineralisierung und anschließende Denitrifikation durch feuchtere Winter und häufiger Trocknungs- und Wiederbefeuchtungsprozesse im Sommer (7)</u>		

² Fachliche Grundlage: Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit; Planungsgruppe Ökologie und Umwelt GmbH, im Auftrag der LABO; Juli 2003

III. Folgen des Klimawandels auf Böden aus Sicht der Biomasseproduktion unter dem Aspekt der Biomasseproduktion (8) (Chancen und Risiken)

- Food- und Bioenergieproduktion laufen grundsätzlich gleich ab, deshalb besteht primär kein höheres Risiko beim Biomasseanbau.
- Stärkere negative Auswirkungen sind bei /wegen der Ausweitung des Anbaus von Problemkulturen (z.B. Raps und Mais) zu erwarten / schon erfolgt!

Folgen des Klimawandels betrachtetes Kriterium (8)	Chance	Risiken
1. Stoffeinträge in Böden, Grundwasser und Oberflächengewässer aus Dünge- und Pflanzenschutzmitteln infolge hoher Ertragsziele	Reduzierung der Einträge beim Anbau mehrjährigen Kulturen	→ Potentiell möglich, aber durch Vorgaben des Fachrechtes (N-Saldenbegrenzung, PSM-Gesetz) nicht zwangsläufig • Erhöhte NH₃-Emissionen aus Biogasgülle (erhöhte organische N-Mengen), auf Sandböden Gefahr der Versauerung • Erweiterung der N-Begrenzung von 170 kg/ha für tierische Reststoffe auf pflanzliche Rückstände • Einträge aus Zyklonaschen ausschließen
2. Zunahme der Flächen-Konkurrenz		
3. Veränderung der Biodiversität (oberirdisch und im Boden)	Biomasseanbau bietet Möglichkeit zum Anbau alternativer Fruchtarten (KUP, Silphie, C4-Pflanzen, Zweikulturennutzung) und mehrjährigen Anbau	• Einschränkung des Anbaus auf wenige Fruchtarten oder ausgedehnter Monokulturen. • Biodiversität sinkt deutlich bei intensiver Nutzung von bisherigen Extensivflächen • Umwandlung von Brache / GL in Acker
4. Zunahme der Bodenschadverdichtung (8)	Mehrjährige Kulturen mit deutlich reduziertem mechanischen Aufwand	Erhöhte Erntemengen und eventuell schwierigere klimatische Bedingungen <u>— geringere Humusreproduktion —</u> dadurch höheres Verdichtungspotential (1) (9)
5. Bodenerosion durch Wind und Wasser durch nicht standortangepassten Anbau (8)	Kombination von Mais mit Zwischenstrukturen / Landschaftselementen (Agroforst) und – wenn klimatisch möglich - mit Zwischenfrüchten, keine Mais-Monokultur	Großflächige Monokulturen, welche ohne pflanzenbauliche Maßnahmen wie Zwischenfruchtanbau oder Untersaaten realisiert werden. NaWaRo: Mais größte flächenbezogene Erosionsgefahr.
6. Änderungen im Humushaushalt (8)	Anbau mehrjähriger Kulturen	Humusverlust infolge ständiger Aberntung und vollständiger Abfuhr organischen Materials vom Acker <u>oder infolge einseitiger Düngung mit Biogasgülle (kohlenstoffreduziert, daher geringes Humusreproduktionspotential)⁴</u> . (1)
7. Zunahme der THG-Emissionen (CO₂, N₂O, CH₄) (8)	verbesserte THG-Bilanz je Einheit Produkt bei erhöhter Produktivität je Flächeneinheit	• Moornutzung • Humusbilanz • erhöhte Emissionen durch geänderte Landnutzung je ha bei Intensivierung

Allgemeine Anregungen aus dem Workshop zum weiteren Vorgehen bei der Darstellung der Betroffenheit des Bodens von Klimaänderungen

- Nicht nur die Risiken sondern auch die Chancen des Klimawandels darstellen (siehe hierzu Punkt III: Folgen des Klimawandels auf Böden aus Sicht der Biomasseproduktion)
- Nutzungsbezogene Aspekte (wie Land-, Forst- und Wasserwirtschaft) sind prioritär.
- Konkrete Betroffenheit der Bodennutzer identifizieren.

¹ Bodenuntersuchungen des Büros für Bodenschutz in privatem Auftrag (daher nicht zur Veröffentlichung freigegeben) und Workshopuntersuchungen (Feldbegehungen in Fortbildungsveranstaltungen) einzelner Standorte der letzten 12 Jahre

² Fachliche Grundlage: Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit; Planungsgruppe Ökologie und Umwelt GmbH, im Auftrag der LABO; Juli 2003

³ z. B. auf Talsanden im Urstromtal wie im Spreewald sind die Erträge generell stark vom Grundwasserflurabstand abhängig, siehe dazu Untersuchungen über 20 Jahre hinweg von: Koehler (Königl. Meliorationsbauinspektor für die Provinz Brandenburg in Potsdam) : „Die Landesmelioration des Spreewaldes“, Verlag von Paul Parey, Berlin 1885, 45. S. und eine Karte

⁴ BESTE, A. (2007): Böden leiden unter Biogas. In: Unabhängige Bauernstimme, 06/2007
BESTE, A. (2007): Energiehunger frisst Böden auf! Führt der intensive Anbau nachwachsender Rohstoffe zum Humusabbau? In: Unabhängige Bauernstimme, 12/2007

I. Betroffenheit von Klimaänderungen

2. Welche Rolle spielen Böden im Klimageschehen?

Ergebnisse aus dem Workshop-Forum "Einfluss des Bodens auf das Klimageschehen" vom 22. Januar 2008 mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Herr Dr. Jungkunst (Universität Göttingen) v. 11.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)
- Herr F. Wilhelm (persönliche Meinung als Workshopteilnehmer), Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vom 3.3.2008 (3)
- Herr Prof. Dr. M. Körschens, MLU Halle-Wittenberg v. 14.3.2008 (4)
- Frau Dr. K. Schweitzer (Humboldt Universität, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät) vom 28.3.2008 (5)
- Herr Dr. P. Dreher (UM Baden-Württemberg), Herr R. Kohl (LUBW), Herr Dr. N. Billen (Universität Hohenheim) vom 28.3.2008 (6)
- Herr Dr. H. Flaig (LTZ Augustenberg, Ref. Agrarökologie) vom 29.3.2008 (7)
- Herr Dr. S. Seiffert (SMUL Sachsen) vom 28.3.2008 (8)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (9)

Rolle der Böden im Klimageschehen:

- Die Böden spielen eine essentielle Rolle im Klimageschehen, da sie den größten terrestrischen Pool an organo-mineralischen Komplexen beinhalten und damit wesentlich die Konzentration klimarelevanter Gase puffern. (2)
- Die Stabilität der organo-mineralischen Komplexe ist nicht konstant. Klimaveränderungen oder indirekte Effekte durch veränderte Landnutzungen können eine erhöhte Mineralisierung befördern und damit eine zusätzliche Erhöhung von CO₂-Ausstößen in die Atmosphäre auslösen. Eine besonders gravierende Rückkopplung bei steigenden Temperaturen ist in heutigen Permafrostregionen zu erwarten. (2)
- Die Rolle von Böden im Klimageschehen wird bisher zu wenig berücksichtigt. Dies ist hauptsächlich dadurch begründet, dass die charakteristische Raumskala von Klimamodellen deutlich größer ist als diejenige von Bodenmodellen bzw. Bodeninformationssystemen und eine geeignete Mittelung schwierig ist. (2) Regionale Mittelwerte ohne Angaben zur Varianz und Verteilung der Einzelwerte verdecken die Standortheterogenität. (5)
- Sensitivitätsanalysen von Klimamodellen zeigen jedoch die maßgebliche Relevanz von Bodenparametern. Insbesondere der Wassergehalt an der Bodenoberfläche und im durchwurzelten Oberboden ist eine entscheidende Größe für Energieflüsse innerhalb der bodennahen Grenzschicht. (2)
- Seit dem Anfang der Landbewirtschaftung vor ca. 12000 Jahren, hat der Mensch eine generelle Degradation der Böden verursacht. Im Ergebnis wuchs der Anteil arider und unfruchtbarer Böden, während der Anteil fruchtbarer Böden abnahm. Es ist zu befürchten, dass eine Klimaerwärmung zu einer weiteren Beschleunigung dieser Tendenz beiträgt. (2)

Methan CH₄

- Methan ist in Deutschland kein bodenbezogenes Problem in Deutschland. Die geringe Senkenfunktion gut durchlüfteter Böden wird durch Bewirtschaftung meist leicht erniedrigt. Böden stellen i. d. R. nur eine Methanquelle bei Grundwasserständen über 10 – 20 cm Tiefe (v.a. bei Überstau) dar. Die natürliche Quelfunktion hydromorpher Böden ist den gesteigerten CO₂-Emissionen bei Drainage i. d. R. zu bevorzugen. (1)

Lachgas (N₂O)

- Lachgas (N₂O) ist hauptsächlich eine Herausforderung für die Optimierung der Düngung, d.h. für die Landwirtschaft. (1)
- N-Düngung erhöht i. d. R. die N₂O-Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Jedoch ist die produktionsbezogene Emission (N₂O pro produzierter Menge) nicht direkt von der Düngemenge abhängig.
- Oberstes Gebot zur Minderung der N₂O-Emissionen ist die Vermeidung von N-Überhängen, vor allem aus leicht freisetzbaren N-Quellen! (1) (9)
- Die N₂O-Freisetzung ist stark abhängig vom Standort und von der Abbaustabilität organischer Bodensubstanz! (1) (9)
- Die N₂O-Freisetzung aus Böden steigt i.d.R.:
 - mit dem Wassergehalt von Böden d.h. bei O₂-Limitation (0.1 – 5%) von Böden jedoch bei Überstau (O₂ = 0%) bzw. bei hydromorphen Böden wieder starker Rückgang der Emissionen bei sehr hohen Wassergehalten (1)
 - der Häufigkeit an Trocknen / Wiederbefeuchtungszyklen
 - Mit der Temperatur & Häufigkeit an Frost / Tau-Zyklen
 - Mit der Substratverfügbarkeit (NO₃⁻, NH₄⁺; C-Quellen)
- Maßnahmen zur C-Anreicherung können die N₂O-Emissionen erhöhen und so das CO₂-Einsparpotential der zusätzlichen Festlegung im Humus überkompensieren.
- Es gibt keine signifikante Senkenfunktion für N₂O (bei Böden) (1)

Kohlendioxid (CO₂)

- Böden sind keine geeignete Langzeit-Senke für CO₂. Sie eignen sich nicht für den Ausgleich von Sünden bei der CO₂-Freisetzung. Mineralische Böden sind aufgrund ihres labilen C-Gleichgewichtes keine geeignete Langzeit Senke (ohne Störung ca. 20-50 Jahre) für CO₂ und eignen sich deshalb nicht für den Ausgleich von Sünden bei der CO₂-Freisetzung. (6)¹
 - Langzeit-Senke für CO₂ ergeben sich nur einmalig bei Landnutzungswechsel von Acker in Gras und v. a. Wald. Ist aber ein sehr langwieriger Prozess und nicht irreversibel. (1) (9)
 - Bei einem dauerhaften Landnutzungswechsel von Acker in Grünland oder Wald können mineralische Böden eine signifikante Senke für CO₂ über ca. 20 bis 50 Jahren sein (6)¹

¹ Ergebnisse aus Forschungsarbeiten der Universität Hohenheim, die im Auftrag des UM Baden-Württemberg gefördert wurden.

- Maßnahmen zur Humusanreicherung (Umstellung auf Minimalbodenbearbeitung oder Ökologischen Landbau) sind nur Überleitung zu einem neuen Gleichgewicht, bringen also Zeitaufschub, aber keine Lösung und können durch gleichzeitig erhöhte N₂O Freisetzung hinfällig sein- die Speicherung von C in den Böden in der Klimagasbilanz konterkarieren. (1) (7)
- Die Nutzung des Bodens als Kohlenstoffsенke ist für Ackerland, von Ausnahmefällen abgesehen, auszuschließen. Die Nutzung mineralischer Böden als Kohlenstoffsенke ist für Ackerland nach Umstellung des Bewirtschaftungssystems auf z.B. pfluglose Bodenbearbeitung oder vermehrte organische Düngung in Abhängigkeit der Standortbedingungen zwar in 20 bis 50 Jahren geringfügig möglich, aber sehr labil und damit in der Praxis oftmals nicht erreichbar. (6) ¹
- Die jährlichen Veränderungen der C_{org}-Gehalte im Boden betragen selbst bei extremer Änderung der Bewirtschaftung nur etwa 0,01 % C_{org} und liegen damit weit innerhalb der Fehlergrenzen von > 0,1 % C_{org}. (4) (9) Die jährlichen Veränderungen der C_{org}-Gehalte in mineralischen Ackerböden betragen bei Änderung der Bewirtschaftung etwa 0,01 % C_{org} (entspricht in 0-25 cm Oberboden 0,3 t C/ha*a bzw. 1,1 t CO₂/ha*a). Dies liegt zwar weit innerhalb der Fehlergrenze von > 0,1 % C_{org}, kann in Abhängigkeit der Standortbedingungen bei konsequenter Beibehaltung des geänderten Bewirtschaftungssystem in der Summe von 20 Jahren aber signifikant sein. (6) ¹
- Der Schutz bestehender C-Vorräte (v.a. unter Wald / Grasland und hydromorpher Böden) ist weitaus effektiver als der Aufbau neuer.
 - Auf Böden mit hohem Humusgehalt ist das CO₂- Minderungspotenzial Abbaurisiko durch Umstellung der Bodenbearbeitung am höchsten. (8)
 - Bei Hydromorphe Böden (d.h. nicht nur Moore sondern auch Auenböden und Stauwasserböden) sollte die Nutzung am stärksten angepasst werden (z.B. Schilf, Erlen, Torfmoos, Paludikultur) oder ganz aus der Nutzung gehen. (1)
- Regionalisierte THG-Minderungspotenziale können modellmäßig errechnet werden. Sie ermöglichen eine Lenkung der Klimaschutzmaßnahmen an geeignete / effiziente Standorte!
- Humusrichtwerte (Cross Compliance) für Böden sind fachlich nicht zu halten. Erforderlich sind mehrgliedrige Fruchtfolgen und/oder ausgeglichene Humusbilanzen.
- Die Grenzwerte für den Erhalt der organischen Substanz im Boden bei der Bodenhumusuntersuchung (lt. DirektzahlVerpflV) (Tongehalt im Boden <13% : Humusgehalt > 1,0 Prozent) (Tongehalt im Boden >13%: Humusgehalt > 1,5 Prozent) sind nicht begründet, ihre Anwendung ist irreführend !!! (4).

¹ Ergebnisse aus Forschungsarbeiten der Universität Hohenheim, die im Auftrag des UM Baden-Württemberg gefördert wurden.

- Es ist unstrittig, dass es eine obere Grenze für einen optimalen Humusgehalt gibt. Man kann heute vielleicht noch darüber streiten, **wo** diese liegt, aber nicht mehr darüber, dass es diese Grenze gibt, deren Überschreiten ökonomisch und ökologisch nachteilig ist. - siehe Anmerkungen in Fußnote.¹ (4).
- Eine Einschätzung des Versorgungszustandes des Bodens mit OS ist gegenwärtig nur mit der Humusbilanzierungsmethode möglich. – siehe Anmerkungen in Fußnote² (4)

Die Aufrechterhaltung eines standort- und nutzungstypischen Humusgehaltes (Humusreproduktion) kann durch Anwendung abbaustabiler organischer Primärsubstanzen (z.B. Bioabfallkomposte) mit geringerem Einsatz an organischem Kohlenstoff erfolgen als bei Anwendung leicht abbaubarer organischer Primärsubstanzen (z.B. Gründüngung, Stroh, Gülle). Reziprok verhält sich die CO₂-Freisetzung bei der Humusreproduktion (9)

¹ 1986 wurden erste Orientierungswerte für den Gehalt an organischem Kohlenstoff für grundwasserferne Sand- und Lehmböden veröffentlicht. Sie basieren u. a. auf Untersuchungen in 20 Dauerfeldversuchen und auf 12000 Bodenuntersuchungen in der Praxis. Diese Werte sind heute noch zutreffend und unbestritten, sie gelten jedoch nur für die genannten Standorte. Die Anwendung von Richtwerten scheitert jedoch generell an der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität des C_{org}- Gehaltes im Boden. Der Fehler ist mit > 0,1 % C_{org} etwa 10-mal größer als die erforderliche Präzision mit 0,01 % C_{org} und teils auch größer als die Differenzen im C_{org}- Gehalt zwischen "gut versorgten" und verarmten Böden.

² Diese wurde auf der Grundlage von Dauerfeldversuchsergebnissen erarbeitet. Sie bietet u. a. dem praktischen Landwirt, auch im Rahmen von Cross Compliance, die Möglichkeit zu entscheiden, wie viel organische Substanz, in der Praxis betrifft dies überwiegend Stroh, für die Reproduktion der organischen Substanz des Bodens eingesetzt werden muss und was als Energieträger zur Entlastung der Umwelt verwendet werden kann

Moore

- Genutzte Moore sind bezüglich Rate und Dauer deutlich stärkere Emittenten für Kohlendioxid als Mineralböden. Die Emission aus Moorböden nimmt einen signifikanten Anteil an den Gesamtemissionen Deutschlands ein (ca. 2,8 %)
- Maßnahmen müssen an der Wasserführung und an der Bodenbearbeitung ansetzen, bzw. alternative Nutzungsverfahren fördern.
- Instrumente stehen über Cross Compliance zur Verfügung, sind aber möglicherweise politisch nicht umzusetzen.
- Mit der Ausweisung von prioritären Gebieten können gezielt Fördermaßnahmen auf freiwilliger Basis umgesetzt werden.

Empfehlungen des Workshop-Forums "Einfluss des Bodens auf das Klimasgeschehen"

- Die BRRL schafft die Voraussetzungen zur Ausweisung prioritärer Gebiete zum Boden-Klimaschutz und ist daher weiter zu verfolgen. Siehe Anmerkungen und Kommentare in den Fußnoten ¹ und ² (3) – siehe Kommentar in Fußnote ³ (8)
- Bodendauerbeobachtungsflächen und Dauerfeldversuche sind zu erhalten. Sie bilden eine unerlässliche Grundlage für die Klimawirkungs- und anpassungsforschung.
- Die Auswertung der Daten aus den oben genannten Richtlinien, Flächen und Versuche muss stärker gefördert werden und zu mehr internationalen Publikationen führen. Weiterhin sind Forschungsprojekte welche regionalisierte THG-Inventare und Minderungspotenziale zum Ziel haben besonders förderungswürdig. Dabei sind bei den gegebenen Unsicherheiten möglichst unterschiedliche Ansätze zu verfolgen. (1)

¹ Prioritäre Gebiete zum „Boden-Klimaschutz“ sind nur im Beschluss des Europäischen Parlaments enthalten, nicht im Kommissionsvorschlag oder in dem im Ergebnis der Ratsberatungen im Dezember 2007 von der portugiesischen Ratspräsidentschaft vorgelegten Kompromissvorschlag. Es erscheint diskussionsbedürftig, ob gesonderte prioritäre Gebiete zum „Boden-Klimaschutz“ sinnvoll sind, wenn schon solche auch „klimarelevanten“ wie für Erosion und Verlust organischer Substanz ausgewiesen sind. Welche Bodengefährdung soll damit noch berücksichtigt werden?

² Die Erfahrungen und aktuellen Diskussionen um die Cross Compliance-Anforderungen zeigen, dass diese nur Mindeststandards festlegen, die in den meisten Fällen hinter den Anforderungen der guten fachlichen Praxis zurückbleiben dürften. Es steht zu befürchten, dass dies bei der nationalen Festlegung von Zielen/Maßnahmen für „prioritäre Gebiete“ einer etwaigen EU-Bodenrahmenrichtlinie ähnlich laufen würde, da es schwierig sein dürfte, im Rahmen der von der EU geforderten „Maßnahmenprogramme“ die für die landwirtschaftliche Praxis erforderliche Flexibilität zu gewährleisten. Insofern steht in Frage, ob die mögliche Wirksamkeit den bürokratischen Aufwand einer EU-BRRL rechtfertigt.

³ Verweis auf die Protokollerklärung Sachsens in der 33. LABO zu TOP 10 „Die dargelegten Ergebnisse des Workshops bilden nicht die Meinung aller Teilnehmer ab, insbesondere nicht beim Punkt 5.4 „Unterstützung und Förderung der BRRL“.

II. Handlungsbedarf / Anpassungsstrategien

1. Lassen sich Planungs- / Leitziele für den Boden im Rahmen der Klimadiskussion definieren?

Empfehlungen und Anregungen aus dem UBA-Workshop: „Böden im Klimawandel-Was tun?!“ mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) v. 13.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)
- Herr F. Wilhelm (persönliche Meinung als Workshopteilnehmer), Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vom 3.3.2008 (3)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (4)
- Herr Dr. S. Seiffert (SMUL Sachsen) vom 28.3.2008 (5)
- Frau R. Isermann, Herr Dr. K. Isermann (BNELEK, Hanhofen) vom 28.3.2008 (6)

A) Kohlenstoffspeicherung und Emissionen klimarelevanter Gase

- Ja, es ist möglich die Funktion von Böden jeder Region und jeden Klimas mit Bezug auf Kohlenstoffspeicherung und Emissionen klimarelevanter Gase (CO₂, Methan, N₂O) im Zusammenhang mit der Nutzungsart zu charakterisieren. Diese Funktionen sollten bei der Nutzungsstrategie berücksichtigt werden. (2)
- Entsprechende Planungsziele sollten sein (2):
 - Erhaltung ~~und Verbesserung~~ bzw. standort- und nutzungstypische Anpassung des C-Status der Böden (Anmerkung: der standort- und nutzungstypische C-Status lässt sich nicht verbessern) (4).
 - Erhaltung bzw. standort- und nutzungstypische Anpassung der Bodenstruktur (Maximierung der oberflächennahen Wasserspeicherung und Minimierung von Oberflächenabfluss) (4).
 - Vermeidung von schadhafter Bodenverdichtung.
 - Reduzierung von Flächenversiegelungen.
 - Vermeidung von Erosion und Desertifikation sowie die
 - Minderung des Treibhauspotentials.
- Eine umfassende Berücksichtigung der klimarelevanten Emissionen (z. B. Lachgas-N₂O) ist für die Bewertung der Klimabilanz von Landnutzungen unerlässlich. Dies gilt insbesondere auch für die Produktion von Energiepflanzen. (2)

Anmerkungen (6):

- Zufuhr von organischer Substanz (OBS) über das Ausmaß zur Erhaltung der optimalen OBS zur angeblichen „Speicherung“ nicht nur von CO₂-C, sondern auch von N, P und S sind gänzlich zu verwerfen, weil:

- a) diese übermäßige Zufuhr ständig aufrechterhalten werden müsste und eine „end of the pipe“- Maßnahme darstellt
- b) diese Vorhaben nur einmalig sein können
- c) keine Speicherung von C, N, P und S stattfindet, sondern nur eine kurzfristige Retention durch Anreicherung der umsetzbaren OBS

- d) Infolgedessen diese C-, N-, P-, S-Sequestrierung Zeitbomben hinsichtlich zukünftig vermehrter C-, N-, P-, S-Emissionen darstellt, belasten also nachfolgende Generationen umso mehr. Extrembeispiele sind die Moorbewirtschaftung und der Grünlandumbruch
- e) CO₂-C lässt sich für den benötigten Zeitraum von 1000 – 5000 Jahren nur festlegen als Kohle, Diamant oder Carbonat, doch dafür sind die Umsetzungsbedingungen, Zeiträume und Ausmaße vom Menschen nicht beherrschbar bzw. nicht hinreichend.

B) Gesetzliche Grundlagen und Richtlinien für die Ableitung von Planungs- / Leitzielen für den Boden im Rahmen der Klimadiskussion:

- **BBodSchG §1:** Nachhaltige Sicherung und Wiederherstellung der Bodenfunktionen. Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der natur- und Kulturgeschichte sollen vermeiden werden.
- **BBodSchG §17:** Gute fachliche Praxis in der LW – Grundsätze definieren (1), siehe Anmerkungen in Fußnote ¹ (3)
- **BNatSchG §5:** Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege
- **BMELV:** Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz – Grundsätze
- **„Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung“**, veröffentlicht im Bundesanzeiger vom 20.4.1999 – Anmerkung: reichen aus unserer Sicht nicht aus. Bestes Papier bisher: BMVEL (2001): Standpunktpapier zur Definition „gute fachliche Praxis“ im Bundesbodenschutzgesetz (1)
- **Nationale Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung**
- **EG: Verordnung (EG) Nr. 1259/1999 vom 17. Mai zur Festlegung von Gemeinschaftsregeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik** (Horizontale Verordnung)
- **Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz** (zur Umsetzung von Cross-Compliance enthalten Maßnahmen zum Erhalt der organischen Substanz im Boden.
Anmerkungen:
- Die innerhalb der nationalen Umsetzung ² aufgestellten, den Bereich Bodenschutz betreffenden Grundanforderungen an die Betriebsführung (Kapitel 2, Punkt 1. „Erosionsvermeidung“ und 2. „Erhaltung der organischen Substanz im Boden und der Bodenstruktur“ sowie Kapitel 5, Punkt 1. „Vorgaben zur Düngung mit Stickstoffhaltigen Düngemitteln“) stellen leider keine wirklich neuen Maßnahmen für ein effektives Bodenschutzmanagement zur Bedingung.
- Da die genannten Forderungen (zeitliche Einschränkung des Pflugeinsatzes, Mindestbedeckung der Oberflächen über Winter, Mindestfruchtwechsel oder Humusbilanz) im Detail gegenüber der bisher herrschenden Praxis - bis auf die jetzt vorgesehene Kontrolle und Sanktionierung bei Nicht-Einhaltung - kaum Veränderungen beinhalten, wurde hier leider die Möglichkeit wirksame Bodenschutzmaßnahmen einheitlich und für alle verbindlich einzuführen nicht genutzt. Die Frage bleibt offen, warum die konkreten Kriterien und Empfehlungen für eine „gute fachliche Praxis“ des Bodenschutzmanagements, die im oben genannten Standpunktpapier dargelegt sind, nur extrem verdünnt Eingang in die Cross-Compliance-Kriterien gefunden haben, anstatt noch weiter konkretisiert zu werden ³ (1)
- Die CC-Kriterien sollten vor allem zu Fragen der humusreproduktionsorientierten Kreislaufwirtschaft ausgebaut werden. (4)
- **ELER-Verordnung:** Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raums vom 20. September 2005

¹ Grundsätze sind in § 17 Abs. 2 BBodSchG definiert, diese könnten allerdings - wegen der „insbesondere“-Aufzählung - ergänzt werden. Die Grundsätze sind, auch entsprechend dem fortschreitenden Erfahrungs- und Erkenntnisstand, fortlaufend zu Handlungsempfehlungen weiterzuentwickeln, die regional- und standortspezifisch konkretisiert werden können.

Weitere Anregungen aus den Gesprächsforen des UBA-Workshops:

- BRRL wäre hilfreich! Sie schafft die Voraussetzung zur Ausweisung prioritärer Gebiete zum Boden-Klimaschutz und ist daher weiter zu verfolgen^{3 4} (3). – siehe Kommentar in Fußnote ⁵ (5)
- Das Umweltgesetzbuch sollte den Boden als zentrales Element aufnehmen (Hinweis des UBA: Ist langfristig vorgesehen (nach Abschluss des Gesetzgebungsverfahrens für den 1. UGB-Teil in 2009).
- Umweltqualitätsziele und Umwelthandlungsziele grundsätzlich beibehalten, ggf. konkretisieren und qualifizieren. siehe Anmerkung in Fußnote ⁶ (3)

² BLAG CC (2004), BEERBAUM (2004)

³ BESTE, A. (2005): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in der Praxis. Grundlagen, Analyse, Management. Erhaltung der Bodenfunktionen für Produktion, Gewässerschutz und Hochwasservermeidung. Verlag Dr. Köster

⁴ siehe Fußnote 2 zu Dokument „Frage I.2“. Dort auch Versuch der Beantwortung der letzten Ergänzung in diesem Dokument von Frau Dr. Beste

⁵ Verweis auf die Protokollerklärung Sachsens in der 33. LABO zu TOP 10 „Die dargelegten Ergebnisse des Workshops bilden nicht die Meinung aller Teilnehmer ab, insbesondere nicht beim Punkt 5.4 ‚Unterstützung und Förderung der BRRL‘.“

⁶ Dies erscheint mir am wichtigsten für die Frage II.1.! - darunter ist aber schon zu viel von Maßnahmen die Rede

II. Handlungsbedarf / Anpassungsstrategien

2. Liegen bereits konkrete Maßnahmen bzw. Anpassungsstrategien zum Umgang mit Böden im Klimawandel vor? Wenn ja, welche Maßnahmen sind notwendig?

Empfehlungen der Gesprächsforen aus dem UBA- Workshop am 22. / 23. Januar 2008 mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) v. 13.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)
- Herr Prof. Dr. M. Körschens, MLU Halle-Wittenberg v. 14.3.2008 (3)
- Herr Dr. H. Flaig (LTZ Augustenberg, Ref. Agrarökologie) vom 29.3.2008 (4)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (5)
- Frau A. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) vom 28.3.2008 (6)

I. Allgemeine Punkte

A) Anpassungsstrategien:

- Alle aktuellen präventiven Maßnahmen zur Verringerung/Vermeidung von Bodenversauerung, Bodenerosion, schadhafter Bodenverdichtung oder Bodenkontaminationen tragen zum Erhalt der Pufferkapazität der Böden bei und sind damit geeignete Maßnahmen im Hinblick auf eine Anpassung an sich verändernde Klimaverhältnisse. Es ist allerdings erforderlich, den Bodenschutz in Hinblick auf Versalzung, Erosion und Humusgehalt zu intensivieren (2).
- Landwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen sind:
 - Abstimmung der Fruchtfolgen und Sicherung mehrgliedriger Fruchtfolgen (2).
 - erosionsmindernde, bodenschonende Bewirtschaftung (konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat, nur mit *intensiviertem / erweiterten Zwischenfruchtanbaufrüchte*), (2) (6)
 - Anpassung des Be- und Entwässerungsregimes. (2)
- Kontraproduktiv ist die Entwässerung und Kultivierung von Moor- und Feuchtflächen. (2)

B) Handlungsbedarf:

- Bodendauerbeobachtungsflächen sind in die Auswertung einzubeziehen und um qualitative Bodenstrukturuntersuchungen zu erweitern. (1)
- Erhalt und umfassende Nutzung der Dauerfeldversuche: Sie sind eine unverzichtbare, eigentlich die einzig experimentelle Basis, wenn es um die Problematik Boden-Umwelt-Klima geht. Es gibt keine andere Möglichkeit, die Auswirkungen der Klimaänderungen zu quantifizieren. Eine entsprechende „Konzeption zum Erhalt und zur umfassenden Nutzung von Dauerfeldversuchen“ liegt seit 2006 vor. - siehe: <http://www.igzev.de/IOSDV/Aktuelles.htm#Konzeption> (3).

- Länder sollen Risikogebiete (z.B. für Erosion) benennen und der Bund sorgt für die methodische Vergleichbarkeit.
- Schutzziele und Zusammenhänge für den Bodenschutz mit anderen Akteuren (Land-, Forst-, Wasserwirtschaft..) kommunizieren, Maßnahmen abstimmen, Zielkonflikte vermeiden.
- Möglichkeiten der verbesserten Grundwassernutzung prüfen.
- Künstliche Wasserspeicher: eine zukunftsweisende Lösung ? (Synergien zur Wasserkraftnutzung?)
- Forschungsergebnisse / Anpassungsstrategien anderer Länder recherchieren / berücksichtigen. Diese werden in Deutschland zu wenig miteinbezogen. (1)

II. Blickwinkel: Anbau der Biomasse / NawaRo:

Der Anbau der Biomasse hat nicht nur Risiken. Unter der Voraussetzung, dass Umweltqualitätsziele eingehalten werden bietet er auch Chancen. Kommentar: Bei der hier geführten Diskussion sollte neben dem Boden als Standort für die Pflanze die Pflanze selbst, d. h. der Ertrag, stärker einbezogen werden. Die Produktion pflanzlicher Biomasse ist die einzig praktikable Möglichkeit, CO₂ aus der Atmosphäre zu binden. (Außerdem ist die Bodenfruchtbarkeit durch den Ertrag definiert !! – geringer Ertrag – geringe Bodenfruchtbarkeit – verminderte CO₂ – Bindung).- Es ist zwar richtig, dass durch die Umwidmung von Ackerland in Grünland im Laufe von Jahrzehnten der Boden um 10 bis 20 t C/ha angereichert werden kann, das hätte jedoch nur einen Sinn, wenn das Grünland mindestens die gleichen Trockenmasseerträge bringt wie vorher das Ackerland. (3)

A) Anpassungsstrategien:

- Der Anbau mehrjähriger Kulturen kann bis zu 1 t/ha Humus einlagern.
- Ökologischer Landbau: Er kann eine bis zu doppelt so hohe C-Speicherung erlangen, bei deutlich geringeren CO₂ und NO₂-Emissionen.¹ (1), siehe Anmerkung in Fußnote ² (3) siehe Anmerkungen in den Fußnoten ² und ³ (4)
- Kontraproduktiv sind die Maximierung des C- und Wasserentzuges zur Bioenergiegewinnung (2)

¹ Hülsbergen/Küstermann (2007)

² Diese Aussage ist ein Widerspruch in sich. Es ist unbestritten, dass die Erträge im ÖL nur etwa 60 % der anzustrebenden ökologisch und ökonomisch vertretbaren Höchstserträge erreichen (siehe Anmerkungen von Frau Beste unter Punkt A) (vergl. auch 4. Bericht des IPCC, 2007). D. h. ein CO₂ – Bindungspotenzial von rund 5 t/ha/a bleibt ungenutzt. Dieser Minderertrag betrifft jedoch nicht nur die geerntete Pflanzenmasse, sondern auch die Ernte- und Wurzelrückstände, was meist völlig unberücksichtigt bleibt. D. h. es wird nicht nur weniger geerntet, sondern es verbleibt auch weniger OS im Boden als bei den Erträgen im integrierten Landbau (siehe Anmerkungen von Frau Beste unter Punkt B). Darüber hinaus wird für den ÖL eine wesentlich höhere Zufuhr an OS verlangt (mindestens die oberen Werte der Humusbilanzierungsmethode bzw. deutlich darüber) um den Stickstoffbedarf der Pflanzen abzusichern. Diese OS wird jedoch nicht im Boden akkumuliert, sondern zu 80 bis 90 % wieder in die Atmosphäre zurückgegeben (s. Anlage), stellt also eher eine Belastung dar. Diese Problematik sollte sehr sorgfältig und nicht nur von den Vertretern des ÖL untersucht werden, damit sich Fehlorientierungen der Vergangenheit nicht wiederholen.

Anmerkungen von Frau Beste (6): Die Erträge des Ökologischen Landbaus in den Tropen und Subtropen liegen z.T. bei bis zu 120 % des konventionellen Landbaus (mit weitaus geringeren Umweltbelastungen und geringerer Bodendegradation), hier ist eine Gesamtsichtweise wichtig.

B) Diese Aussage unterschlägt in dieser Form die wichtige Funktion des Zwischenfruchtanbaus in der Gesamtfruchtfolge des ökologischen Landbaus für die Bindung der OS und widerspricht der Mehrzahl der Ergebnisse internationaler Forschungsvorhaben zu den Themen Humusgehalt, Bodenfruchtbarkeit und gesamtes Klimaschutzpotential im Vergleich konventioneller/integrierter (wo ist die letztere Bewirtschaftungsform für Deutschland definiert?) und ökologischer Landbau.

Vergleiche hierzu unter anderem: Raupp, J. et al. (2006): Long-term Field Experiments in Organic Farming. Berlin oder Stolze, M. et al. (2000): The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe. Hohenheim oder Kotschi, J. und Müller-Sämann, K. (2004): The Role of Organic Farming in Mitigating Climate Change. Bonn

³ Der Bezug von THG-Emissionen nicht nur auf die Fläche (pro ha) sondern auch auf das geerntete Produkt (z.B. Dezitonne Getreide) würde die Bilanzen des ökologischen Landbaus anderes (i.e. schlechter) aussehen lassen.

B) Handlungsbedarf:

- Optimierte Humusbilanzierung (hinsichtlich des Humusreproduktionspotentials und der Humusqualität) für die Landwirtschaft verpflichtend machen, regionale Gegebenheiten sind dabei zu berücksichtigen. (6) siehe Anmerkungen in Fußnote ⁴ (3)
- Humusbilanz in Lößregionen i.d.R. positiv, auf Sandböden muss sie hoch (>0) bleiben.
- Aus Klimagründen (CO₂) ist die Nutzung von Humusüberschüssen regional anzustreben?
- Anwendung der CC-Humusbilanzierung nicht nur für den Fruchtartenanteil.
- Die Arbeiten der VDLUFA-AG „Präzisierungen zur Humusbilanzierung“ sind zu berücksichtigen und einzubeziehen (5)

III. Blickwinkel: Minderung der THG-Emissionen:

1. Kohlendioxid - CO₂

Böden sind keine geeignete Langzeit-Senke für CO₂. Sie eignen sich nicht für den Ausgleich von Sünden bei der CO₂-Freisetzung. Auch Maßnahmen zur Humusanreicherung (Umstellung auf Minimalbodenbearbeitung oder Ökologischer Landbau) sind nur eine Überleitung zu einem neuen Gleichgewicht, bringen also Zeitaufschub, aber keine Lösung und können durch gleichzeitig erhöhte N₂O-Freisetzung die Speicherung von C in Böden in der Klimagasbilanz konterkarieren. (4) Letzteres (Ökologischer Landbau beinhaltet ein deutlich höheres Potential zur CO₂-Bindung als Minimalbodenbearbeitung, welche – konventionell – eher ein erhöhtes Verdichtungspotential beinhaltet) wäre für eine Vorbereitung der Böden (Bodenstrukturqualität – Wasserhaushalt) auf den Klimawandel von hoher Bedeutung.⁵ (1) - siehe hierzu Kommentar in Fußnote ²

A) Anpassungsstrategien:

- Im Bereich der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung ist eine Förderung der CO₂-Bindung im Boden durch eine an der Humusbilanz orientierte Bewirtschaftung zu erreichen. (2)
- Der Schutz bestehender C-Vorräte ist weitaus effektiver als der Aufbau neuer.
- Humusverarmte Böden können dagegen durch Einsatz abbaustabiler organischer Primärschubstanzen kurzfristig und effizient auf einen standort- und nutzungstypischen Humusgehalt angehoben werden. (5)
- Humusrichtwerte (Cross Compliance) für Böden sind fachlich nicht zu halten. Erforderlich sind mehrgliedrige Fruchtfolgen und/oder ausgeglichene Humusbilanzen, ermittelt mit einer optimierten Bilanzmethode (s. auch Forschungsbedarf). (1)
- Hydromorphe Böden sollten ganz aus der Nutzung gehen oder die Nutzung ist stark anzupassen (Schilf, Erlen, Torfmoos, Paludikultur).

⁴ Der Forderung, die Humusbilanzierungsmethode verpflichtend zu machen, ist unbedingt zuzustimmen.

⁵ Agricultural Research (2007), BESTE (2005)

B) Handlungsbedarf:

- Modellmäßige Errechnung regionalisierter THG-Minderungspotenziale. Sie können Klimaschutzmaßnahmen an effiziente Standorte lenken.

2. Lachgas - N_2O

- Lachgas ist hauptsächlich eine Herausforderung für die Optimierung der Düngung. Oberstes Gebot zur Minderung der N_2O -Emissionen ist die Vermeidung von N-Überhängen.
- Lachgas (N_2O) ist auch abhängig von der Bodenbearbeitung: Minimalbodenbearbeitung bringt im konventionellen Anbau in der Regel höhere Emissionen mit sich.⁶ (1)
- Durch die zeitliche oder räumliche Synchronisation der N-Düngung mit dem Pflanzenbedarf kann die annuelle N_2O -Emission um bis zu 35% vermindert werden.
- Der Einsatz von NI oder von Applikationen mit ähnlichen Effekten (CULTAN) verspricht hohe Einsparpotenziale, muss jedoch noch auf annueller Basis getestet werden (Frost/Tau)!

3. Methan - CH_4

- Methan ist in Deutschland kein bodenbezogenes Problem.

⁶ Kotschi/Müller-Sämann (2004)

Maßnahmen bzw. Anpassungsstrategien zum Umgang mit Böden im Klimawandel

- Vorschlag des UBA für eine zusammenfassende Darstellung

Quellen (Stand 13.12.2007):

- Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Wege zu einer Anpassungsstrategie, LUMNV NRW; 2007
- Klimawandel und Boden; Papier des Bayerischen Landesamtes für Umwelt; 2007
- Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick; SMUL Sachsen; 2005
- FuE-Vorhaben „Anpassungsstrategien bei Bodenutzungssystemen an den Klimawandel“; FKZ: 206 71 202, laufendes Vorhaben im Auftrag von BMU/UBA
- Forschungsvorhaben „Vorstudie - Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen“; LfUG Sachsen; 2006
- SRU-Gutachten: Klimaschutz durch Biomasse, Drucksache 16/6340

Landwirtschaftliche Bodennutzung - Allgemein-	Blickwinkel: THG-Emissionen	Blickwinkel: Anbau der Biomasse / NawaRo
1. Standortangepasste und nachhaltige	Bodenbewirtschaftung	
Anbau nach den Regeln der guten fachlichen Praxis, Standortangepasste Anbausysteme, Konservierende Bodenbearbeitung.	Standortangepasste und nachhaltige Bodenbewirtschaftung, Einhaltung der guten Regeln der fachlichen Praxis in der Landwirtschaft	Anbau nach den Regeln der guten fachlichen Praxis, standortangepasste Anbausysteme, ständige Bodenbedeckung mit Ernteresten
Entwicklung verbesserter Verfahren zur Nutzung und Konservierung des Bodenwassers, Einsatz wassersparender Beregnungsverfahren	Die Beregnung so bemessen, dass der Schwellenwert für stark erhöhte N ₂ O-Emissionen aus der Denitrifikation nicht überschritten wird.	
2. Optimierung der Düngung zur Vermeidung von Stoffeinträgen in Böden, Grund- und Oberflächengewässer und zur Minderung der Emission		
- Räumliche und zeitliche Anpassung der Düngung - Optimierung der Stickstoffdüngung, bessere Ausnutzung von org. Dünger, verbesserte Beratung, Kooperation zwischen Wasser- und Landwirtschaft - Wachstumshemmung von Pflanzen bei der Düngungsstrategie bedenken.	- Räumliche und zeitliche Anpassung der N-Düngung an den Pflanzenbedarf zur Reduzierung der N₂O-Emissionen. Berücksichtigung der N_{min}-Gehalte der Böden zu Vegetationsbeginn oder auch während der Vegetationsperiode sowie Berücksichtigung der N-Nachlieferung des Standorts und aus den Ernterückständen der Vorfrucht. - Rechtzeitige Winterweizensaat zur Unterstützung der Stickstoff-Konservierung. - Keine zeitnahe N-Düngung in Phasen mit viel frischem, leicht umsetzbarem organischem Material. - Harnstoffdüngung auf feuchten Grünlandstandorten. - Ausbringung von Flüssigmist mit dem Schleppschlauchverfahren auf Grünlandstandorten. - Verzicht auf NH₃-Injektion, da sie mit hohen N₂O-Emissionen	Bedarfsgerechte Stickstoff-Düngung unter Beachtung des Ertragsniveaus, Vorrang von Nützlingen und Pflanzenstärkungsmitteln und Bindung des Einsatzes von PSM an Schadschwellen. Bevorzugter Anbau von Kulturen mit geringem Nährstoffbedarf.

	verbunden ist.	
--	----------------	--

Landwirtschaftliche Bodennutzung - Allgemein-	Blickwinkel: THG-Emissionen	Blickwinkel: Anbau der Biomasse / NawaRo
3. Wahl geeigneter Fruchtfolgen,	Pflanzenbau	
Wahl geeigneter Fruchtfolgen, Änderung des Anbau- und Sortenspektrums, Zwischenfruchtanbau ⁷ , Anbau mehrjähriger Kulturen - <u>siehe Kommentar in Fußnote 6 (4)</u>	Anbau von mehrjährigen Kulturen zur Steigerung des Humusgehaltes im Boden. Zwischenfruchtanbau: Zwischenfrüchte sind eine wichtige C-Eintragsquelle in Böden. Integration mehrjähriger Fruchtarten und Förderung der Fruchtfolgediversität, da die Treibhausgasbelastung mit zunehmender Diversität der Fruchtfolge abnimmt. Integration tiefwurzelter Pflanzen in die Fruchtfolge bzw. Nutzung des Sortenspektrums zur C-Anreicherung im Unterboden.	Auswahl geeigneter Fruchtfolgen, Nutzung alternativer Kulturarten: Weg vom Mais als Hauptquelle für Biomasse, Ablösung durch andere geeignete Kulturarten, Zwischenfruchtanbau, Anbau mehrjähriger Kulturen. Anbau widerstandsfähiger und standortgerechter Sorten. <u>Verengung</u> <u>Erweiterung</u> der Fruchtfolge (Einhaltung einer mindestens dreigliedrigen Fruchtfolge ohne Ausnahmerecheinungen), um einen Ausbau bestimmter Kulturen entgegen zu wirken. (4)
4. Schutz vor Erosion		
Erosionsmindernde Bewirtschaftungsverfahren: - Umsetzung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft		Minderung des Risikos von Bodenerosion und -verdichtung ohne Ertragseinbußen durch: - Verfahren pflugloser, konservierender Bodenbearbeitung - Mulchsaat - Erosionsschutzstreifen - Zwischenfruchtanbau - Bestellung der Schläge entlang der topografischen Höhenlinien
5. Schutz vor Bodenverdichtung		
- Vermeidung von Bodenschadverdichtung (breitere Reifen, Reduzierung der Radlasten der Landmaschinen) - Umsetzung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft	Vermeidung des Befahrens bei hoher Bodenfeuchte und Verzicht auf die Applikation von N-Dünger auf verdichtete Teilflächen, um extrem hohe Emissionen von N ₂ O zu vermeiden.	
6. Reduzierung der Flächenversiegelung		
Reduzierung der Flächenversiegelung, insbesondere in Teileinzugsgebieten, die		

⁷ Die Forderung nach Zwischenfruchtanbau ist fachlich richtig, kann aber unter den Rahmenbedingungen des Klimawandels scheitern, dass durch die Folgefrucht zu viel Wasser entzogen wird (insbs. bei Sommerzwischenfrüchten denkbar).

ohnehin stark hochwassergefährdet sind		
--	--	--

Landwirtschaftliche Bodennutzung - Allgemein-	Blickwinkel: THG-Emissionen	Blickwinkel: Anbau der Biomasse / NawaRo
7. Schutz der organischen Substanz im Boden		
Schutz der organischen Substanz im Boden Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität nach der Ernte	Schutz des Bodens als wichtigen C-Pool Integration tiefwurzelnder Pflanzen in die Fruchtfolge bzw. Nutzung des Sortenspektrums zur C-Anreicherung im Unterboden. Minimalbodenbearbeitung zur Verbesserung des C-Anreicherungspotentials von Ackerböden.	Nachweis einer Humusbilanzierung bei Entnahme org. Materials, insbesondere von Reststoffen (Stroh, Laub, Totholz), Beibehaltung einer ausgeglichenen Humusbilanz Vermeidung der vollständigen Aberntung der gesamten (oberirdischen) Biomasse bzw. ausreichende Rückführung von Reststoffen aus der Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Beim Eintrag externer Kohlenstoffquellen aus Wirtschaftsdüngern und Komposten sind die Vorgaben des vorsorgenden Bodenschutzes zu beachten. Zwischenfruchtanbau, sie haben einen positiven Einfluss auf den Humusgehalt. Anbau mehrjährige Kulturen: Führt zu einem steigenden Humusgehalt, da während ihres Anbaus keine Bodenbearbeitung erfolgt.
8. Minderung der Emission		
	Grundsätzliche Vermeidung des weiteren Grünlandumbruchs, <u>insbesondere durch verstärkte energetische Nutzung des Biomasseaufwuchses</u>: 1. Es werden hohe Mengen an CO₂ (zwischen 73 und 128 t CO₂ ha⁻¹) freigesetzt. 2. Er trägt maßgeblich zur Erhöhung der N₂O-Emission bei (Emissionen erhöhen sich um das 8fache). (5) Überprüfung der bestehenden Regelung zur Umwandlung des Status von ‚Ackerfutterflächen‘ bei mehr als 5jähriger Nutzung in ‚Dauergrünland‘. Insbesondere im Hinblick auf die C-Freisetzung bei	Verbot des Umbruchs von Dauergrünland auf allen Standorten Für eine NaWaRo-Nutzung ist der Grünlandumbruch nicht erforderlich. Grünland gehört zu den produktivsten Landnutzungssystemen.

	Umbruch nach 5jähriger Ackerfütternutzung.	
	Renaturierung der Moore ⁸ zur Emissionsminderung, Erhalt der wachsenden Moore und Initiierung von Torfwachstum. - <u>Siehe Kommentar in Fußnote 6 (4)</u>	

⁸ Renaturierung der Moore ist insofern kritisch, als durch Wiedervernässung zwar CO₂-Freisetzung verringert wird, dafür aber u.U. die Emission von CH₄ deutlich steigt.

II. Handlungsbedarf / Anpassungsstrategien

3. Wo wird Handlungsbedarf beim Umgang mit Böden im Klimawandel gesehen?

Empfehlungen und Anregungen aus den Gesprächsforen des UBA- Workshops vom 22. / 23. Januar 2008 mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Hurst; LfUG Sachsen v.13.2.2008 (1)
- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) v. 13.2.2008 (2)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (3)
- Herr Dinter (Stadtverwaltung Cottbus; SB Umweltstrategie) vom 20.2.2008 (4)
- Herr Prof. Dr. M. Körschens, MLU Halle-Wittenberg v. 14.3.2008 (5)
- Frau Dr. K. Schweitzer (Humboldt Universität, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät) vom 28.3.2008 (6)
- Herr Dr. S. Seiffert (SMUL Sachsen) vom 28.3.2008 (7)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (8)
- Frau R. Isermann, Herr Dr. K. Isermann (BNELK, Hanhofen) vom 28.3.2008 (9)

A) Inhaltliche Konzeptionen / Handlungsempfehlungen:

Landwirtschaft:

- Konkretisierung und Ergänzung der Grundsätze zur guten fachlichen Praxis
→ Definition einer guten fachlichen Praxis für den Energiepflanzenanbau
- Maßnahmenplanung zur Steuerung der Energiepflanzenproduktion im Zusammenhang mit der Umsetzung der WRRL
- ~~Erarbeitung von Maßnahmen für eine möglichst hohe C-Speicherung in Böden~~
Anmerkung: undifferenziertes Ziel, der nachfolgende Anstrich bringt das Aussageziel besser auf den Punkt. (7)
- Maßnahmen zur Verminderung von C-Verlusten, eine Minderung der Produktion klimarelevanter Gase, eine Intensivierung des Erosionsschutzes und die Prävention gegenüber Versalzung (in ariden Gebieten). (3)
- Initiierung einer BZE Landwirtschaft (neben der bestehenden BZE Wald), um Modelle validieren zu können und die Klimaberichterstattungspflichten zu erfüllen.
- Einheitliche Regelungen für alle Düngemittel nach Frachten (nicht nur nach Gehalten) und im Hinblick auf ihr Humusreproduktionspotential. (2)
Frage: Welche Frachten sind hier gemeint? (Nährstoff- oder Schadstoff-)? (7)
- Entwicklung neuer Fruchtfolgestrategien unter Einbeziehung nachwachsender Rohstoffe bei gleichzeitiger Sicherung der ~~generellen~~ Bodenfunktionen. (3) (7)
- Anpassung an sich ein verändertes Bodenwasserdargebot (z. B. Verbesserung des Wasseraufnahmevermögens von Böden durch Verringerung von Oberflächenverschlammungen) und
- Intensivierung der Förderung des integrierten Pflanzenschutzes. (3)
Frage: Warum werden nicht auch andere Empfehlungen wie z.B. „ökologischer Landbau“ ausgesprochen? Siehe auch Nennung ‚integrierter Pflanzenschutz‘ an anderer Stelle. (7)

- Definition von Schutzzielen für C, N, P, S und ihrer reaktiven Verbindungen zugleich für alle Umweltbereiche und Maßnahmen zu deren Einhaltung oder besser Unterschreitung mit Zeithorizonten (9)

Biomasseanbau

- Überprüfung der politischen Ziele (Kabinettsbeschluss 5.12.07) auf praktische Umsetzbarkeit.

Frage: Wieso wird hier auf „praktische Umsetzbarkeit“ abgezielt und nicht auf die Folgen für das Schutzgut Boden? (7)

Anmerkungen des UBA: Die Kommission Bodenschutz beim UBA hat ein Papier zum Thema: „Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe“ erarbeitet. Es wird Ende April 2008 veröffentlicht. In diesem Papier werden auf die Gefahren für Böden beim Anbau nachwachsender Rohstoffe verwiesen und es werden Empfehlungen für den sorgsamen Umgang mit Böden ausgesprochen.

Gefahren für Böden beim Anbau nachwachsender Rohstoffe: - Erosion, Verdichtung, Kontamination, Verlust an org. Substanz, Eutrophierung, Rückgang der biologischen Vielfalt, Flächenverbrauch und Flächenkonkurrenz.

Empfehlungen der KBU für den sorgsamen Umgang mit Böden beim Anbau

nachwachsender Rohstoff: Beim Anbau der NaWaRo darf sich der physikalische, chemische und biologische Zustand der Böden nicht verschlechtern.

1. Die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit gilt es zu gewährleisten.

2. Anbaubiomasse ist so zu nutzen, dass die Böden innerhalb der Fruchtfolge keine organische Substanz verlieren.

3. Mit neuen Anlagen zur Lagerung und Verwertung nachwachsender Rohstoffe sollten ein möglichst geringer Flächenverbrauch und keine zusätzliche Flächenversiegelung einhergehen.

4. Die zum Anbau der NaWaRo genutzten Böden müssen jederzeit wieder für den Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln nutzbar sein.

5. Die Anforderungen der „guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft sind beim Anbau nachwachsender Rohstoffe ohne Abstriche gegenüber der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln einzuhalten. Dies gilt insbesondere für die Standortwahl und die Begrenzung von Grünlandumbruch.

6. Insbesondere mehrjährige Kulturen sollten stärker als Energiepflanzen in den Mittelpunkt gestellt werden, da sie bei positiven Umweltwirkungen gleichzeitig hohe Energieerträge pro Hektar ermöglichen können.

Diese Textbausteine aus dem KBU-Papier können in die Dokumente zur DAS integriert werden

- Flächen müssen in einem Zustand gehalten werden, der Lebensmittelerzeugung immer ermöglicht.

Anmerkungen (9): Biomasseanbau für die Gewinnung von Bioenergie ist:

- o Nicht hinsichtlich Nahrungs- und Futtermittelpflanzen der 1. Generation zu unterstützen, da:
 - diese mit Nahrungs- und Futtermitteln konkurrieren → Preisanstiege
 - deren THG-Bilanz (mehrfach) positiv ist, also mehr an THG'e emittiert als eingespart werden
 - deren Umweltschädigungspotentiale insgesamt nicht tolerierbar sind
- o Günstiger beurteilt wird die Bioenergiegewinnung aus Bioabfällen der 2. Generation (Klärschlamm, Siedlungsabfälle, (Holz-)Reste, etc.) (u.a. SRU 2007)

Datenmodellierung:

- Klimamodellierung: Boden-Eingangsdaten sollten mit Hilfe von Bodenkundlern verbessert und unter Einbeziehung der Auswirkungen der Bewirtschaftungspraxis¹ erhoben werden. (2)
- Regionale Mittelwerte ohne Angaben zur Varianz und Verteilung der Einzelwerte verdecken die Standortheterogenität. Insbesondere bei hoher Varianz der Einzelwerte sind zunächst Standortmerkmale zu analysieren und Standortgruppen zu definieren. Zusätzlich zur umfassenden Auswertung vorhandener Standortdaten (incl. Bodendaten) kann ggf. eine zielgerichtete Erhebung von Daten weiterer, möglicherweise für eine Region nicht repräsentativer und daher bisher wenig untersuchter, aber für die jeweilige Problemstellung relevanter Standorte notwendig werden. (6)

Politik / Recht:

- Gesetzeslücken schließen:
 - CC-Standards (Humus)
 - EEG-Vergütung, DÜV: 170 kg Grenze, Bindung an Umweltstandards
 - Bodenschutz VO: Boden als Lebensraum definieren
- Weitere Unterstützung / Förderung der BRRL. Sie schafft die Voraussetzung zur Ausweisung prioritärer Gebiete zum Boden-Klimaschutz. - Siehe Anmerkungen in Fußnote¹ (7)
- Direktzahlungen an ganzheitliche Nachhaltigkeitskriterien insbesondere an fachlich fundierte Umweltkriterien (Humusbilanz, Erosionsschutz) binden. (7)
- Förderprogramme auch für den Bodenschutz auflegen (Agrarumweltmaßnahmen – hier nicht nur technische Lösungen fördern, sondern Schwerpunkt auf Bodenschutzberatung, ~~und~~ Fruchtfolagemanagement und Humuswirtschaft legen² (2) (8)
- Schutzziele und Zusammenhänge für den Bodenschutz mit anderen Akteuren (Land-, Forst-, Wasserwirtschaft....) kommunizieren, Maßnahmen abstimmen, Zielkonflikte vermeiden.

Umweltplanung:

- Klimaschützende Maßnahmen in die Umweltplanung einbeziehen.

Allgemein:

- Verbesserung der Kommunikation zwischen den Akteuren (zielgruppengerecht).
- Risiken **und** Chancen des Klimawandels darstellen.
- Nutzungsbezogene Aspekte (wie Land-, Forst- und Wasserwirtschaft) sollten Priorität haben.
- Konkrete Betroffenheit der Bodennutzer identifizieren.

¹ Verweis auf die Protokollerklärung Sachsens in der 33. LABO zu TOP 10 „Die dargelegten Ergebnisse des Workshops bilden nicht die Meinung aller Teilnehmer ab, insbesondere nicht beim Punkt 5.4 „Unterstützung und Förderung der BRRL“.

- Die Forschung zur Verbesserung des Prozessverständnisses und darauf aufbauend die Entwicklung und Verbesserung von Modellen, die tatsächlich prognosefähig sind (das Anpassen empirischer Modelle ist nicht zielführend), sind weiter zu intensivieren. (3)
- Da sich die Wirkung des Klimas auf die Böden hauptsächlich über den Wasserhaushalt vermittelt, sollten hierzu zielgerichtete Untersuchungen für einzelne Flusseinzugsgebiete bzw. Teile davon geführt werden. Dabei spielt auch das natürliche Rückhaltevermögen der Landschaft eine Rolle, das in den Teileinzugsgebieten unterschiedlich ist. Die derzeit laufenden Verfahren zu Bewirtschaftungsplänen als Folge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie bietet hierfür gute Ansätze! (4)

THG- Emission

- Einbeziehung der Erkenntnisse aus hydrogeochemischen Studien zur CO₂-Gesteins-Wasser-Wechselwirkung³ (1)

B) Förderung:

- Des integrierten Pflanzenschutzes, wassersparender Beregnungsverfahren, Erweiterung des Kulturarten- und Sortenspektrums für den Energiepflanzenanbau (Entwicklung alternativ konkurrenzfähiger Anbausysteme) (2)
- Erhalt der Bodendauerbeobachtungsflächen und Dauerfeldversuche (Erweiterung um Untersuchungen zur Bodenstrukturqualität) (2). Sie sind eine unerlässliche Grundlage für die Klimawirkungs- und –anpassungsforschung. Eine „Konzeption zum Erhalt und zur umfassenden Nutzung von Dauerfeldversuchen“ liegt seit 2006 vor. – siehe: <http://www.igzev.de/IOSDV/> (5).
- Schaffung und Erhalt von langfristig arbeitenden Institutionen für die Forschung zu Humus, Humusreproduktion und Biodiversität. (8)

C) Beratungsangebote:

- zur Anpassung an den Klimawandel, Fortbildung und Beratung zum Bodenmanagement in der Landwirtschaft. (2)
- zur umweltgerechte Ausgestaltung der Biogasförderung

¹ BESTE, A. (2007): Bewertung von Flächen. Die Pauschalierung verschiedener Flächennutzungstypen ist unsinnig. In: Wohnung und Gesundheit. Fachzeitschrift für Baubiologie und Ökologie. Nr. 123

² BESTE, A. (2007): Boden und Bodenschutz. Fortbildung und Beratung zu Humusmanagement und Strukturaufbau notwendig. In: B&B Agrar 6/07.

³ Begründung: die tatsächlichen Möglichkeiten der Immobilisierung, (Sequestrierung?), Migration Richtung Grundwasser als Hydrogenkarbonat, Präzipitation (als Karbonat, Eisenoxid etc.) von C werden in den landwirtschaftlichen Studien, auf denen die meisten Annahmen der Diskussionen beruhen, kaum berücksichtigt. Die Möglichkeiten diese hydrogeochemischen Prozesse durch entsprechende Bewirtschaftung oder andere Maßnahmen zu unterstützen scheinen ebenfalls nicht ausreichend bedacht zu sein. Die Ergebnisse des DFG SPP 1090 zeigen z.B. "that significant amounts of SOM even though at low concentrations can be stored in the subsoil (B and C horizons)." (Rumpel, C. and Kögel-Knabner, I. (2006): Storage and chemical composition of organic carbon in subsoils). Internationale Studien der BGR an Bergbauhalden und Tailings und eigene Studien in unserem Haus zeigen Möglichkeiten der Karbonatbildung ([Sekundärmineralisation](#))

III. Informationsbedarf

1. Auf welchen Wissensfundus können wir beim Umgang mit Böden im Klimawandel aufbauen?

Anregungen aus dem UBA-Workshop: „Böden im Klimawandel – Was tun?!“ vom 22. / 23. Januar 2008 mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen vom:

- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (1)
- HU Berlin, LGF (Frau Prof. J. Zeitz, FG Bodenkunde und Herr Prof. F. Ellmer, FG Acker- und Pflanzenbau) vom 2.4.2008 (2)
- Herr Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (3)

Vorhandener Wissensfundus beim Umgang mit Böden im Klimawandel:

- Vorhandene Bodeninformationssysteme
- Digitales Höhenmodell (muss mit dem Geländemodell verknüpft werden)
- Bodendaten (Karten und Flächendatensätze)
- Daten aus der Bodendauerbeobachtung
- Dauerfeldversuche / Intensivmessfelder
- Bodenzustandserhebung (BZE) Wald
- CarboEurope, Bodenmonitoringprogramm
- Ökologische Raumgliederung
- Phänologisches Monitoring
- Aktuelle Landnutzungsinformationen (müssen detaillierter einfließen)
- Geologische und Hydrogeologische Daten
- Hydrologische Daten
- Grundwasserstandsdaten
- Informationen über den Boden als Kohlenstoffspeicher? (Klimaänderung verändert den Humusvorrat (Abbau und Aufbau der Vorräte möglich))
- Bodenwasserhaushaltsmodelle
- Modelle des Stoffumsatzes in Böden
- Bodenerosionsmodelle
- Regionalisierte THG-Minderungspotenziale können modellmäßig errechnet werden. Sie können Klimaschutzmaßnahmen an effiziente Standorte lenken.
- Regionale Klimaszenariendaten
- Moor- und Gewässersedimenterkundung (3)

Zusammenfassende Einschätzung zum vorhandenen Wissensfundus:

- Es gibt einen umfangreichen Wissensfundus zum Effekt von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Humuslevel und die Produktion klimarelevanter Gase in Böden sowie über die Stabilität der Bodenstruktur in Abhängigkeit der Bodenart. Wir wissen jedoch wenig über die Reaktion und Stabilität des Gesamtsystems Boden auf eine nachhaltige Verschiebung von klimatischen Randbedingungen. (1)
- Besondere Bedeutung haben die Bodendauerbeobachtungsflächen, die Dauerfeldversuche und Intensivmessfelder sowie Bodenzustandserhebungen im Wald. Zur Steigerung der Effizienz dieser Versuche sollten neue langfristige Monitoringkonzepte entwickelt und muss die gegenwärtige Zersplitterung überwunden werden. (1)
Dauerfeldversuche müssen erhalten bleiben und für diese Fragestellungen genutzt werden (siehe Vortrag Ellmer: http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/veranstaltungen/ws080122/20_ellmer.pdf). (2)
- Die Kenntnisse der allgemeinen Bodenökologie, (C_{org} , Metabolische Quotienten, Aktivitätsmessungen, Enzymaktivitäten, Stoffkreisläufe) sind zu berücksichtigen (1)
- Angesichts der Langfristigkeit der prognostizierten Klimaänderungen und Effekte des Globalen Wandels sind langfristige Feldexperimente und multiskalige Langfrist-Monitoringprogramme (z. B. DFG-Exploratorien, Jena Experiment, BIOLOG, TERENO, LTER-D) eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung von entsprechenden Anpassungsstrategien. (1)

III. Informationsbedarf

2. Welche Informationen werden benötigt, um zu konkreten Aussagen zu kommen?

- a) zur Betroffenheit des Bodens durch den Klimaänderungen**
- b) zu erforderlichen Maßnahmen-/ Anpassungsstrategien**

Anregungen aus dem UBA-Workshop: „Böden im Klimawandel – Was tun?!“ vom 22. / 23. Januar 2008 mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) v. 13.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)

zu a) zur Betroffenheit des Bodens durch den Klimaänderungen:

- Bedarf besteht an Aussagen zu Extremereignissen (Niederschläge) in höherer zeitlicher Auflösung
- Häufigkeitsverteilungen für Klimaszenarien werden eher benötigt als Mittelwerte
- Eine Definition sinnvoller Grenzen für die Auflösung der Daten ist erforderlich.
- Gebraucht werden Aussagen über Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Biodiversität in Böden.
- Hilfreich wäre ein intensives Monitoring von Stoffumsatz und Wasserhaushalt auf charakteristischen Standorten mit bekannter Historie. Wichtig dabei ist die Trennung der Effekte von Bewirtschaftungsmaßnahmen und klimatischen Bedingungen (2)
- Wesentlich für eine verbesserte Vorhersage klimawandelbedingter Effekte und die Entwicklung regional differenzierter Anpassungsstrategien ist die Weiterentwicklung prozessorientierter Bodenmodelle. (2)
- Darüber hinaus besteht der Bedarf an Informationen aus:
 - der Bodenphysik (Aggregatbildung, Vernässung),
 - der Bodenbiologie (Biomasse, Aktivitätsprofile, Biodiversität) und
 - der Bodenchemie (Stoffpools, Dynamik ihrer Umwandlung) (2)

zu b): zu erforderlichen Maßnahmen-/ Anpassungsstrategien

- Informationen zur Qualität der Bodenstruktur (biologische Strukturbildung und – stabilisierung im Zusammenhang mit dem Humusgehalt / der Humusqualität und der biologischen Aktivität) in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (s. auch Forschungsbedarf.) (1)
- Anpassungsstrategien sind in Bezug auf die unter 2.1. genannten Kriterien zu bewerten, wobei das Gesamtsystem betrachtet werden muss. (2)
- Wesentlich für eine verbesserte Vorhersage klimawandelbedingter Effekte und die Entwicklung regional differenzierter Anpassungsstrategien sind verbesserte regionale Vorhersagen von Klimabedingungen und –extremen. (2)

- Benötigt werden Feld-Experimente in direkter Kopplung mit Monitoring-Programmen. Dies ist eng verknüpft mit der Notwendigkeit, neue Monitoring-Ansätze und entsprechende Indikatoren (Biochips, Phytometer) zu entwickeln. (2)
- Darüber hinaus muss weiter an einer Verbesserung des Prozessverständnisses (physikalisch, chemisch, biologisch) und der Entwicklung angepasster Methoden (z. B. Bodenmetagenomik) gearbeitet werden. (2)

III. Informationsbedarf

3. Wo werden Schnittstellen zu anderen Bereichen gesehen?

Empfehlungen aus dem Workshop „Böden im Klimawandel – Was tun?!“ vom 22. / 23. Januar 2008 mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) v. 13.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)
- Herr Prof. Dr. M. Körschens, MLU Halle-Wittenberg v. 14.3.2008 (3)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (4)

Fachliche Schnittstellen:

- Wesentliche Schnittstellen sind:
 - die Wasserwirtschaft und Hydrogeologie,
 - die Atmosphären- und Klimaforschung,
 - der Naturschutz, die Geobotanik sowie die Biodiversitätsforschung,
 - die Land- und Forstwirtschaft, und
 - der Garten- und Landschaftsbau,
 - die Düngemittel- und Humuswirtschaft und (4)
 - die Technologien der Fernerkundung. (2)
- Umweltmonitoring muss stärker kompartimentübergreifend integriert werden
- Informationen für die Validierung von Prognosen (aus anderen Klimaregionen)
- Kopplung von Bodenwasserhaushaltsmodellen einschließlich der Vegetation mit Klimamodellen. (2)
- Landschaftsbezogene Stoffflüsse als Ergebnis von Klima- Politik und ökonomischer Aktivitäten sichtbar machen. (2)
- Referenzsysteme, Referenzzustände – ist die Reichsbodenschätzung ausreichend? Anmerkung / Kommentar (1)*

Ressortübergreifende Zusammenarbeit:

- Landwirtschaft- und Umweltressort sollten bei der Festlegung der Maßnahmen und bei deren Umsetzung stärker kooperieren.
- Wasserwirtschaft und Bodenschutz
- Dialog mit der Landwirtschaft suchen
- Schutzziele und Zusammenhänge für den Bodenschutz mit anderen Akteuren (Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Landschaftsbau..) kommunizieren, Maßnahmen abstimmen, Zielkonflikte vermeiden. (4)

Internationale Zusammenarbeit

- Die internationale Abstimmung und Einbindung der Arbeiten sollte stärker betont werden. (3)

*Anmerkung / Kommentar:

Bei der Orientierung an Richtwerten basierend auf Bodenart, Bodentyp, Bodengenese, wie es bei der landwirtschaftlichen Bodenschätzung der Fall ist, wird der Einfluss jahrelang angewandter unterschiedlicher Bewirtschaftungs*maßnahmen* auf Boden und Wasserhaushalt ignoriert. Dieser Einfluss ist allerdings für die Qualität und Belastbarkeit der Bodenstruktur im Hinblick auf den Klimawandel maßgebend. Böden gleicher Punktzahl können nach jahrelanger unterschiedlicher Bewirtschaftung nach unserer Erfahrung völlig unterschiedliche Strukturqualitäten ausbilden. Daher reicht die Bodenschätzung für Referenz- bzw. Orientierungswerte bei weitem nicht aus.ⁱ

ⁱ BESTE, A. (2007): Bewertung von Flächen. Die Pauschalierung verschiedener Flächennutzungstypen ist unsinnig. In: Wohnung und Gesundheit. Fachzeitschrift für Baubiologie und Ökologie. Nr. 123

III. Informationsbedarf

4. Wo sehen Sie zukünftige Forschungsschwerpunkte zum Thema: Böden im Klimawandel

Empfehlungen und Anregungen aus dem UBA-Workshop: „Böden im Klimawandel - Was tun?!“ mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Hurst; LfUG Sachsen v.13.2.2008 (1)
- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) v. 13.2.2008 (2)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (3)
- Herr Dinter (Stadtverwaltung Cottbus; SB Umweltstrategie) vom 20.2.2008 (4)
- HU Berlin, LGF (Frau Prof. J. Zeitz, FG Bodenkunde und Herr Prof. F. Ellmer, FG Acker- und Pflanzenbau) vom 2.4.2008 (5)
- Herr Prof. H.-C. Fründ (FH Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur) vom 2.4.2008 (6)
- Herr J. Reinhold (Förderverband Humus e.V.) vom 27.3.2008 (7)
- Frau R. Isermann, Herr Dr. K. Isermann (BNELK, Hanhofen) vom 28.3.2008 (8)

I. Boden / Klimamodellierung

- Boden-Submodelle in Klimamodellen sollten verbessert werden
- Boden-Eingangsdaten sollten mit Hilfe von Bodenkundlern verbessert werden.
- Boden als dynamischen Teil des Klimasystems modellieren – über die Zusammenhänge auf höherer Raumskala (>1 km) bestehen nur unzureichende Kenntnisse.

II. Boden

- Edaphon – wie reagiert es auf den Klimawandel? ((Bodenorganismen angepasst?)
- Biotische Systeme reagieren auf Umweltveränderungen schneller als abiotische Systeme. (Boden-)organismen und Vegetation spielen deshalb eine wichtige Rolle als Indikatoren des Klimawandels. Regenwürmer haben einen wesentlichen Einfluss auf die Bodeneigenschaften und die Bodenfunktionen. Ihre Populationen reagieren aber auch empfindlich auf Veränderungen des Wasserhaushalts, der chemischen Bodenqualität und der Qualität der im Stoffkreislauf anfallenden organischen Substanz.
→ Als Mediatoren klimabedingter Bodenveränderungen sollten Regenwürmer deshalb zu den besonders beachteten Bodenkomponenten zählen.
Die geografische Verbreitung und Diversität der Regenwürmer in Deutschland ist nur unzureichend bekannt. Dies steht in scheinbarem Widerspruch zu der Tatsache, dass es eine umfangreiche Literatur über die Leistungen und Funktionen von Regenwürmern im Funktionsgefüge des Bodens gibt. Die Untersuchungen wurden jedoch nur an einer sehr kleinen Zahl von modellhaft ausgewählten Arten durchgeführt. Die Kenntnisse über die geografische Verbreitung der Lumbriciden ließen sich durch eine Länderübergreifende Auswertung von Daten aus der Bodendauerbeobachtung erheblich verbessern. Diese Aufgabe sollte dringend in Angriff genommen werden und auch klären, ob die Repräsentanz der BDF für eine Prognose der Klimafolgen hinsichtlich der Populationen wichtiger Bodenorganismen ausreicht. (6)

- Bodenstruktur (biologische Strukturbildung und –stabilisierung im Zusammenhang mit dem Humusgehalt / der Humusqualität und der biologischen Aktivität) in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (s. auch III).¹(2)
- Bodenprozesse werden zu oft allein durch physikalische, chemische oder biologische Parameter beschrieben. Da fast alle Umsetzungsprozesse auf biologischem Wege stattfinden, ist eine Hauptlücke in der Forschung im diesem Bereich zu sehen, dies insbesondere im Zusammenhang mit der Entwicklung des Humus und der Freisetzung von CO₂ und anderen klimarelevanten Gasen. (3)
- Verstärkt untersucht werden muss der Einfluss von sich ändernden Niederschlagsverteilungen auf den gesamten Wasserhaushalt von Böden und die verschiedenen Abflusskomponenten (Oberflächenabfluss, Speicherung, tiefe Infiltration). Standardmodelle können das nicht realistisch abbilden. (3)
- Da Klimawandelprozesse langfristige Prozesse sind, bedarf es auch des Langzeitmonitorings der Böden, insbesondere der Bodenbiologie, Bodenphysik und der Emission von Spurengasen. Es besteht darüber hinaus ein Bedarf an Feldexperimenten mit der Möglichkeit der Manipulation von Faktoren (Niederschläge, Temperatur). (3)
- Systemische Modellierung von Stoff- und Energieflüssen im Boden durch Kopplung von biologischem mit physikalischem Verständnis. (3)
- Entwicklung von Werkzeugen zur Bewertung von Landnutzungsoptionen. (3)
- Methodenentwicklung zum remote sensing von Bodenparametern und Zustandsgrößen. (3)
- Untersuchungsbedarf besteht zur Beeinträchtigungen einzelner Bodenfunktionen unter den sich verändernden klimatischen Bedingungen und zwar in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur und deren jahreszeitlicher Verteilung, mit Einzelthemen wie z. B.:
 - Wirkung auf das Wasserrückhaltevermögen, den mikrobiellen Abbau von Nähr- und Schadstoffen, chemische Prozesse, die Verdunstung, die Fruchtbarkeit der Böden, etc;
 - Wirkung auf die Länge der Wachstumsperiode und / oder Reifezeit der Pflanzen. Bereits heute sind Verschiebungen hinsichtlich der Dauer dieser Prozesse nachweisbar, statistisch belegt und haben z. T. zur Verschiebung von Aussaat- und Ernteterminen geführt. Vielleicht kommen wir bei zunehmender Erwärmung auch noch einmal zu einer Fruchtfolge mit drei Ernten im Jahr, wie in einigen asiatischen Ländern, wo allerdings die Verfügbarkeit von Wasser der begrenzende Faktor ist. Der dort weit verbreitete Roterdeboden (Laterit) hat allerdings ein besseres Wasserrückhaltevermögen;
 - standortabhängige vertiefende Untersuchungen, zum Beispiel zur Wirkung von Starkregen auf Anbauflächen in besonders exponierten Lagen;
 - Folgen für die Fauna im und am Boden, unter dem Aspekt der Artenvielfalt. (4)
- Deutschland hat umfangreiche Dauerfeldversuche in allen Klimabereichen und einer weite Spanne an Böden. Die Forschungspotentiale sind folgende: Entwicklung der Organischen Bodensubstanz unter verschiedenen Boden- und Klimabedingungen bei differenzierter Intensität der Bodennutzung. (5)
- Humusanreicherung auf devastierten Standorten (Grün- und Parkanlagen, Bergbaufolgelandschaften) einschließlich Ableitung von Humus-Sollwerten und Anwendungsempfehlungen für organische Bodenverbesserungsmitteln (7)

III. Landwirtschaft

- Angewandte Forschung zu neuen Sorten und Pflanzen.
- Gärrestausrückführung – Technik.
- Gärrestlagerung – N-Verluste.
- Gärrest – Inhaltsstoffe (Clostridienbelastung, Schwermetalle, Bewertung aller Dünger nach Frachten und nach ihrem Humusreproduktionspotential. (2))
- Lebenszyklusanalyse für alle Fruchtarten einführen (THG-Bilanzen).
- Humusbilanzierung (Forschung anhand von Feldversuchen, Überprüfung der Effizienz der bestehenden CC-Regelung). Verbesserung der Bilanzierungsmethodik hinsichtlich der Einschätzung des Humusreproduktionspotentials der auf den Acker zurückfließenden / auf dem Acker verbleibenden Stoffe. (2)
Hinweis: Die VDLUFA-AG „Präzisierungen zur Humusbilanzierung“ entwickelt derzeit ein kleineres Forschungsprogramm im Auftrag des BMVEL. (7)
- Bodenstruktur (biologische Strukturbildung und –stabilisierung im Zusammenhang mit dem Humusgehalt/der Humusqualität und der biologischen Aktivität) in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (s. auch II).¹ (2)

IV. Biomasseanbau

- Forschung zur Abschätzung der Folgen der vermehrten Biomassenutzung und der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus für die Gewässer und den Humushaushalt der Böden.
- Der Anbau von neuen Rohstoffen sowie die Nutzung und die Rückführung neuartiger Abfallprodukte (z. B. aus der Biogaserzeugung) haben Konsequenzen für alle Bodenprozesse. Deshalb ergibt sich erhöhter Forschungsbedarf zum Einfluss dieser neuen Landnutzungen auf den Boden. (3)
- Rolle von Biomasse in Böden als aktiver Kohlenstoffpool (3)

Anmerkungen (8): Biomasseanbau für die Gewinnung von Bioenergie ist:

- o Nicht hinsichtlich Nahrungs- und Futtermittelpflanzen der 1. Generation zu unterstützen, da:
 - diese mit Nahrungs- und Futtermitteln konkurrieren → Preisanstiege
 - deren THG-Bilanz (mehrfach) positiv ist, also mehr an THG'e emittiert als eingespart werden
 - deren Umweltschädigungspotentiale insgesamt nicht tolerierbar sind
- o Günstiger beurteilt wird die Bioenergiegewinnung aus Bioabfällen der 2. Generation (Klärschlamm, Siedlungsabfälle, (Holz-)Reste, etc.) (u.a. SRU 2007)

V. Biodiversität:

- Wirkungen des Anbaus biogener Rohstoffe auf die Biodiversität
- Biodiversität auch im Boden differenzieren (nach Art / Genetik / Gemeinschaft und nach Prozessen / Leistungen im Boden, Reversibilität von Veränderungen z.B. nach Intensivierungen)
- Boden als Lebensraum
- Die funktionelle und strukturelle Biodiversität von Bodenorganismen als Puffer für die Anpassung von Böden an neue Klimaverhältnissen (Entwicklung von Indikatorensystemen wie Biochips). (3)

VI. Treibhausgasemissionen

- Weitergehende Untersuchungen zur gezielten N-Applikation in den Boden. Ziel: Minimierung der düngungsindizierten N₂O-Emissionen.
- Langzeitmessungen zur (Netto-) Emission von Lachgas, Methan und Kohlendioxid und Kopplung mit standortspezifischen, ökophysiologischen und biogeochemischen Prozessmodellen. → Entwicklung geeigneter Messmethoden; → Isotopenstudien² (1)
- Verbesserung von Prognosen und Modellen zur Lachgasemission.
- Die Verbesserung des Prozessverständnisses bei der Akkumulation von Kohlenstoff und dem Gasaustausch mit der Atmosphäre. (3)
- Untersuchungen zu internen Stoff- und Regelkreisläufen. (3)
- Humusreproduktion mit minimaler Kohlendioxidfreisetzung (7)

VII. Bodenbewusstsein

- Wissenstransfer – Beratungsinstrumente
- Nicht nur für Konsumenten sondern vor allem für die landwirtschaftliche Praxis (2)

¹ In der Diskussion und Forschung zur Bodenphysik und hier besonders zur Vermeidung von Bodenverdichtung nahmen die Themen des landtechnischen Bereiches und deren Optimierungspotenzial (Begrenzung der Radlast, Verringerung des Kontaktflächendrucks mit Breitreifen, verschiedenste Vorschläge zur Bodenbearbeitung) in den letzten Jahrzehnten einen breiten Raum ein. In den letzten Jahren wurde aber mehr und mehr deutlich, dass die Versorgung mit organischem Material und die Biodiversität im Agrarökosystem (Fruchtfolgen/Zwischenfrüchte) ein deutlich höheres Potenzial für die Förderung einer gesunden Bodenstruktur beinhaltet. Systemischen Lösungen zeigen sich den rein technischen deutlich überlegen (BESTE 2005).

Für die Ausbildung eines optimalen Gefüges zur Erhaltung der Bodenfunktionen sind Humus, anorganische Kolloide sowie Bodenorganismen und Wurzeln unentbehrlich (SCHELLER 1994, HAMPL 1996, SCHINNER/SONNLEITNER 1996 a/b). In der Denkschrift „Für eine umweltfreundliche Bodennutzung in der Landwirtschaft“ des Schwäbisch-Haller Agrarkolloquiums (Vertreter und Mitglieder der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft) wurde 1994 zur Frage der Förderung einer gesunden Bodenstruktur folgendermaßen Stellung bezogen:

„So spielt bei der Nährstoffzugänglichkeit für die Pflanze das Bodengefüge und die Durchwurzelung eine entscheidende Rolle. Je intensiver die Durchwurzelung und je günstiger das Bodengefüge sind, umso besser ist die Ausnutzung von Boden- und Düngernährstoffen.

Wann welche Nährstoffe für die Pflanzen verfügbar sind, wird stark von der Aktivität der Bodentiere und Mikroorganismen bestimmt. Diese steuern nahezu sämtliche Abbau- und Umsetzungsvorgänge im Boden und beeinflussen dadurch neben dem Humushaushalt auch die Nährstoffnachlieferung an die Wurzeln. Bodentiere und Mikroorganismen unterscheiden sich in Anzahl und Zusammensetzung je nach Art der Düngung.

So fördert organische Düngung das Bodenleben wesentlich stärker als ausschließliche Mineraldüngung.“ (RBS 1994)

In dieser Richtung ist dringender Forschungsbedarf gegeben, wie die genannten Mechanismen auch im konventionellen Landbau verstärkt unterstützt werden können um die Böden fit für den Klimawandel zu machen. Die Qualität des Bodengefüges ist hier Dreh- und Angelpunkt.

BESTE, A. (2005): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in der Praxis. Grundlagen, Analyse, Management. Erhaltung der Bodenfunktionen für Produktion, Gewässerschutz und Hochwasservermeidung. Verlag Dr. Köster

HAMPL, U. (1996): Gründüngung Grundlage der Bodenfruchtbarkeit. Graz

RBS, ROBERT BOSCH STIFTUNG (Hg.) (1994): Schwäbisch Haller Agrarkolloquium zur Bodennutzung, den Bodenfunktionen und der Bodenfruchtbarkeit. Denkschrift für eine umweltfreundliche Bodennutzung in der Landwirtschaft. Gerlingen

SHELLER E. (1994): Pflanzenernährung und Düngung im organischen Landbau. In: Springer Loseblatt System Ökologische Landwirtschaft. Pflanzenbau, Tierhaltung, Management 1, Lünzer, I.; Vogtmann, H. (Hg.), Heidelberg, New York, Sektion 02.02, S. 1-21

SCHINNER, F.; SONNLEITNER, R. (1996 a): Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Bodenökologie 1: Grundlagen, Klima, Vegetation, Bodentyp. Berlin

SCHINNER, F.; SONNLEITNER, R. (1996 b): Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Bodenökologie 2: Bodenbewirtschaftung, Düngung und Rekultivierung. Berlin

2

Begründung:

z.B. direkte (in-situ) Online-Messungen von CO₂ und N₂O in repräsentativen Böden, bei gleichzeitiger regelmäßiger Bestimmung der C-Isotope wären hilfreich zur Unterscheidung des biogenen von atmosphärischem CO₂ sowie N-Isotopenbestimmungen zur Unterscheidung der verschiedenen N-Quellen (und –Senken). Auch die Bestimmung der C-Isotope im Bodenwasser kann Erkenntnisse zum Verbleib des von CO₂ bringen.

IV. Schlussvotum: Welche Rolle sollen Böden zukünftig in der Klimadiskussion einnehmen?

Hinweis: Bisher wird der Boden vorrangig über die Nutzungsfunktionen (Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen) in die Klimadiskussion eingebracht).

Empfehlungen und Anregungen aus dem UBA-Workshop: „Böden im Klimawandel - Was tun?!“ mit nachfolgenden Ergänzungen aus der Online-Abstimmung der Dokumente:

Ergänzungen und Anmerkungen von:

- Frau Dr. Beste (Büro für Bodenschutz; Mainz) vom 13.2.2008 (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH vom 18.2.2008 (2)
- Herr F. Wilhelm (persönliche Meinung als Workshopteilnehmer), Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vom 3.3.2008 (3)
- Frau U. Anacker (persönliche Meinung als Workshopteilnehmerin), LfU Sachsen-Anhalt vom 13.3.2008 (4)
- Herr Prof. Dr. M. Körschens, MLU Halle-Wittenberg v. 14.3.2008 (5)
- HU Berlin, LGF (Frau Prof. J. Zeitz, FG Bodenkunde und Herr Prof. F. Ellmer, FG Acker- und Pflanzenbau) vom 2.4.2008 (6)
- Herr Dr. S. Seiffert (SMUL Sachsen) vom 28.3.2008 (7)

Welche Rolle sollen Böden zukünftig in der Klimadiskussion einnehmen?

- Böden müssen als ein aktiver, bestimmender Faktor des Klimas betrachtet werden. Neben ihrer Funktion als Träger der Land- und Forstwirtschaftlichen Produktion und der Strukturierung von Landschaften sollte der Beitrag zum Klima entsprechende Berücksichtigung finden. (2)
- Der Boden muss als gefährdetes Umweltkompartiment mit essentiellen Funktionen für den globalen Stoffkreislauf, die Wasserqualität und den Lebensraum für Organismen betrachtet werden. (2)
- Die Diskussion um veränderte Bodenprozesse muss eng mit der Biodiversitätsforschung verknüpft werden, da Bodenprozesse primär von der Leistung der verschiedenen Organismengruppen abhängen. (2)

Soll der Boden zukünftig als eigenständiges Handlungsfeld definiert und betrachtet werden? Ja / nein?

Resümee nach dem UBA-Workshop "Böden im Klimawandel – Was tun?!" am 22. / 23. Januar 2008:

Eine endgültige Positionierung zur Rolle des Bodenschutzes in der Klimadiskussion wurde im Workshop nicht erreicht. Folgende zwei konträre Auffassungen standen sich gegenüber:

1. Der Bodenschutz sollte in die DAS als explizites Schutzziel Handlungsziel aufgenommen werden. Auf diese Weise wird es möglich, angesichts der durch den Klimawandel beeinflussten die Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen durch den Klimawandel Schutzziele und Maßnahmen zur Erhaltung dieser Funktionen festzuschreiben. Siehe Kommentare in Fußnote ¹(3) siehe Anmerkungen in Fußnote ²(7)
Der Boden sollte zukünftig als eigenständiges Betrachtungsfeld in der Klimadiskussion definiert werden!

Ja:

- Büro für Bodenschutz, Mainz (13.2.2008) (1)
- UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (18.2.2008) (2)
- Herr F. Wilhelm (persönliche Meinung als Workshopteilnehmer) vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (3)
- Frau U. Anacker (persönliche Meinung als Workshopteilnehmerin) vom LfU Sachsen-Anhalt (4):
 - Die Beschäftigung mit dem Boden / dem Bodenschutz erfordert immer auch eine komplexe Betrachtung des Bodens als Element des Naturhaushalts. Gerade deshalb sollte der Boden als eigenständiges Betrachtungsfeld in der Klimadiskussion definiert werden.
- Herr Prof. Dr. M. Körschens, MLU Halle-Wittenberg v. 14.3.2008 (5):
Der Boden sollte zukünftig unbedingt als „eigenständiges Handlungsfeld“ betrachtet werden, weil:
 - 1. die jährlichen CO₂-Emissionen in Deutschland rd. 500 Mio. t betragen und allein die Biomasseproduktion von etwa 12 Mio. ha Ackerland in Deutschland 250 Mio. t CO₂ jährlich bindet, also eine durchaus relevante Größenordnung. -
 - 2. noch sehr große Wissenslücken bestehen (Änderungen der Boden-C-Gehalte in den letzten Jahrzehnten, Boden als C-Senke bzw. - Quelle, ÖL und Boden-C-Haushalt.....)
- HU Berlin, LGF: Eigenständiges Themenfeld ja. Voraussetzung: Keine sektorale Arbeit. Besonders nachteilig ist dies bei hydromorphen Böden, die sowohl im Konflikt Landnutzung - Bodenschutz (Verlust an OBS durch Entwässerung) als auch im Konflikt Klimaschutz - Biodiversität usw. stehen. Maßnahmen zum Schutz /Renaturierung mit sektoralen Zielen (Bodenschutz ODER Klimaschutz ODER Biodiversität ODER nachhaltige Landnutzung) sind nicht zielführend. (6)



2. Keine singuläre Herangehensweise verfolgen, Böden sind als Landschaftselemente siehe Kommentare in Fußnote ³(3) zu betrachten.
Boden als System verändert sich mit dem Klimawandel siehe Kommentare in Fußnote ⁴(3)

¹ Obwohl Maßnahmen in der Regel bei der Nutzung ansetzen müssen, wird die für die DAS gebrauchte Formulierung „Handlungsfeld“ befürwortet, wenn mit diesem Begriff alle „Handlungen“ von der Untersuchung der bodenbezogenen Aspekte des Klimawandels über die Definition von Zielen zum Schutz des Bodens bis zu den Maßnahmen gemeint sind.

² Die Frage „eigenständiges Handlungsfeld ja/nein“ und/oder „Betrachtungsfeld“ ist m.E. zu kurz gesprungen. Sie kann erst diskutiert werden, wenn klar ist, wie in der DAS ein Handlungsfeld definiert ist. Vom allgemeinen Begriffsverständnis eines Handlungsfeldes her fällt es schwer, „den Boden“ als Handlungsfeld zu begreifen. Bodenschutz erscheint hier schon eher als ein solches in Frage zu kommen. In Folge dieser Überlegungen kann ich auch die Anmerkungen von Herrn Wilhelm (ST) nachvollziehen. Es wäre dann zu betrachten, was im Handlungsfeld Bodenschutz im Zusammenhang mit Klimawandel/Klimafolgen zu tun ist, und ansonsten wie das Schutzgut Boden in den übrigen Handlungsfeldern zu berücksichtigen ist. Ob dies im Rahmen eines „Betrachtungsfeldes“ geschieht, sei dahin gestellt, hängt dies doch wiederum von der Konzeption der DAS im Ganzen ab.

Anmerkung UBA: In der DAS ist die „Betroffenheit“ ausschlaggebend, um Sektoren oder Themenbereiche als Handlungsfelder einzustufen. Die Notwendigkeit zu agieren (z.B. Schutz vor einer Beeinträchtigung, Maßnahmen zur Anpassung) ist ein weiteres wichtiges Kriterium. Die in der DAS bisher definierten Handlungsfelder lassen sich nicht in ein vorgefertigtes Schema pressen. Aus diesem Grund ist die Liste sehr heterogen. Siehe: <http://www.wasklim.de/BMU-Konferenz.htm>

³ statt „Landschaftselemente“ wohl besser: „Elemente des Naturhaushalts“

⁴ ja, und mit der Nutzung! Angesichts der Komplexität der das Klima und die Lebensgrundlagen bestimmenden Systeme sollten auch Zielgrößen für das wichtige Element Boden bestimmt werden, nicht nur für „End-Zielgrößen“ wie maximaler Temperaturanstieg oder versorgungssichernde landwirtschaftliche Produktion.

UBA - Workshop:
Böden im Klimawandel – Was tun?! am 22. / 23. Januar 2008

Posterausstellung

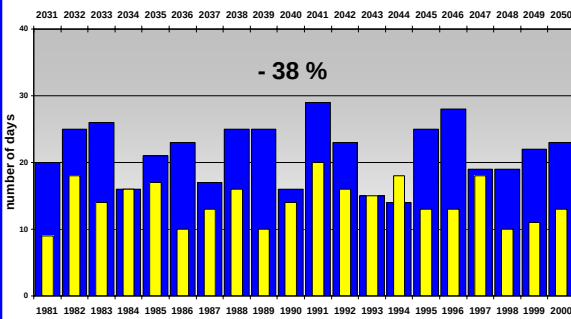
Klimawandel und Bodenerosion – Ergebnisse Simulation Hölzelbergbach



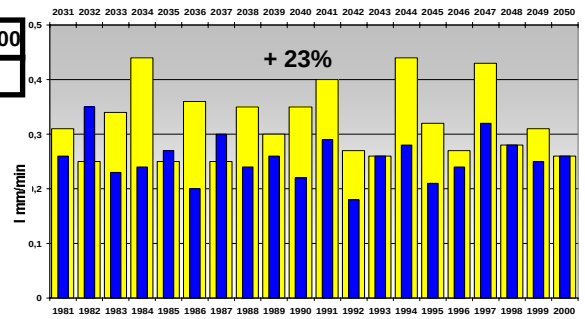
A. Michael * J. Schmidt * W. Enke * Th. Deutschländer * G. Malitz

Vergleich der Starkregenhäufigkeit / Starkregenintensitäten

Juli – August 1981 – 2000 und 2031 – 2050 (> 0,1 mm/min) für die Station Chemnitz

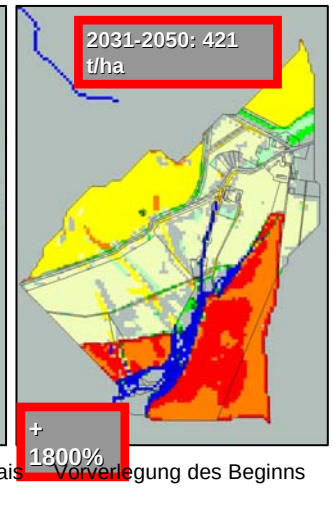
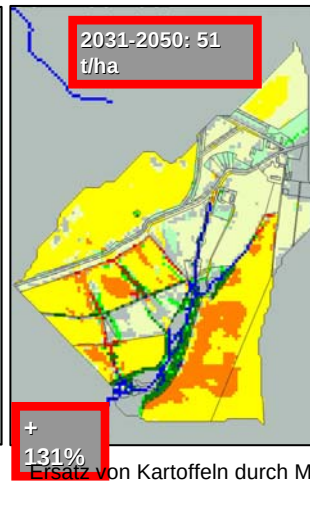
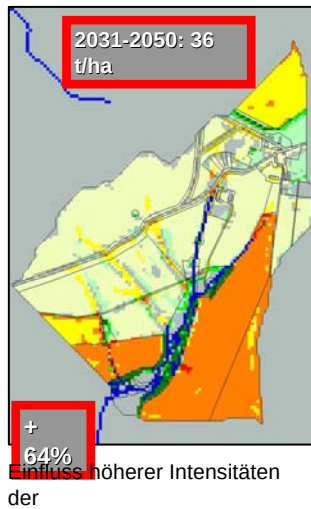


Vergleich der Anzahl der Starkregen > 0,1 mm/min



Vergleich der maximalen Intensitäten der Starkregen

Simulationsergebnisse mit EROSION 3D



Ausgangsbedingungen

der

und Winterweizen durch

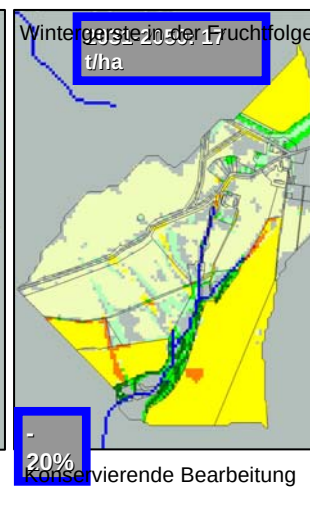
Vegetationsperiode und

Datengrundlagen:

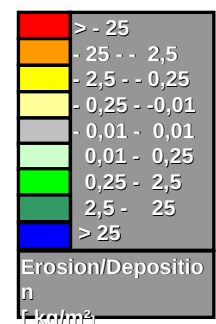
DGM:
10x10m (Geognostics Berlin)

Boden- und
Landnutzungsdaten:
Bodenerosionsmessprogramm
Parameterkatalog EROSION 3D
(LfL, LfUG, Michael et. al 2000)

Niederschlagsdaten:
Meteoresearch Potsdam
DWD



Ernte um 10 Tage



im gekennzeichneten Bereich
zwischen den Boden- und Gewässersystemen

Mulchsaat und

UNTERSUCHUNGSGEBIETE

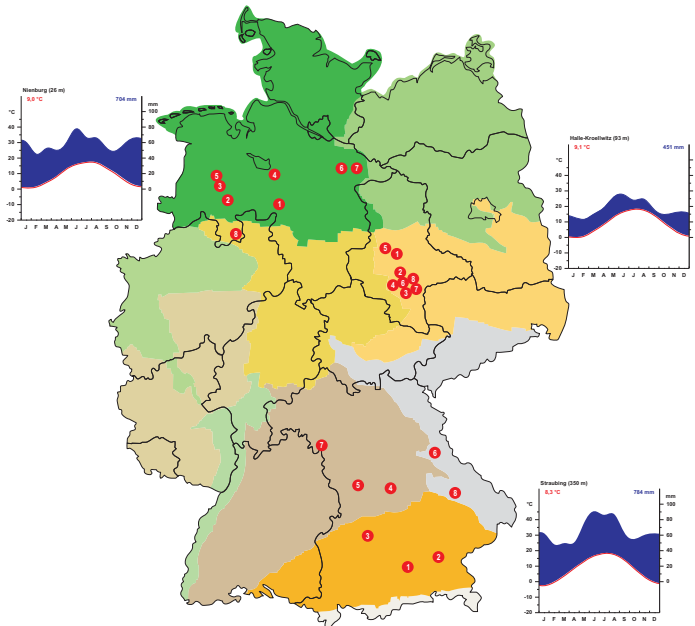


Abb. 1: Betrachtete Modellregionen

Auswahl dreier Modellregionen nach ZEBISCH et al. (2005) auf Basis der IPCC-Szenarien (IPCC, 2001) teilweise von Klimaänderungen betroffen sein werden (vgl. Abbildung 1).

• nordwestdeutsches Tiefland

- ⇒ nach ZEBISCH et al. (2005) kaum von Dürre betroffen
- ⇒ Referenz bzw. Vergleichsregion

• Alpenvorland und nordbayerisches Hügelland

- ⇒ nach ZEBISCH et al. (2005): Region mittlerer Beeinträchtigung bezüglich Dürre und Landwirtschaft

• mitteldeutsche Trockenregion

- ⇒ bereits heute vorliegendes Wasserdefizit
- ⇒ zukünftig zu erwartenden Dürre mit einhergehender Beeinträchtigung der Landwirtschaft

Innerhalb dieser drei Regionen:

- ⇒ je acht Standorte (Boden-Dauerbeobachtungsflächen)
- ⇒ landwirtschaftlich Nutzung
- ⇒ gute Datengrundlage hinsichtlich Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen

MODELL und SZENARIEN

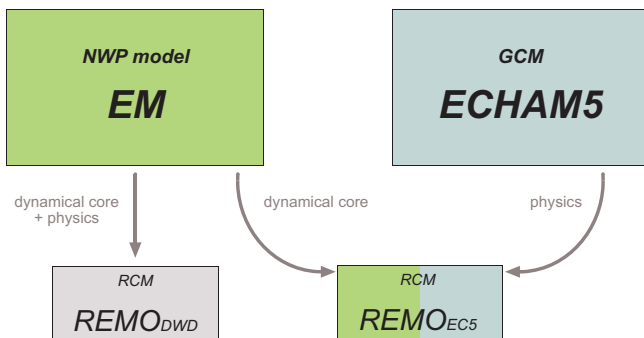


Abb. 2: Das regionale Klimamodell REMO_{EC5} (nach: URL <http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/the-remo-model/the-regional-model-remo.html>)

- hoch aufgelöste Modellrechnungen durch Max-Planck-Institut für Meteorologie (Hamburg) mit Hilfe des regionalen Klimamodells REMO auf Basis der IPCC-Szenarien B1 und A1B (im Auftrag des UBA)

- Antrieb für REMO: gekoppeltes Ozean-Atmosphärenmodell ECHAM5/MPI-OM (vgl. Abbildung 2)

- projektierte Abschnitte: Zeitraum 1950 - 2100

- 30jährige Klimanormalperiode C20 (1961 - 1990) als Referenz- und Validierungszeitraum

Klimaparameter

- Lufttemperatur
- Niederschlag
- Globalstrahlung
- Windgeschwindigkeit
- potenzielle Evaporation

IPCC-Szenarien (Abb. 3)

- B1 (moderat)
- A1B (business-as-usual)

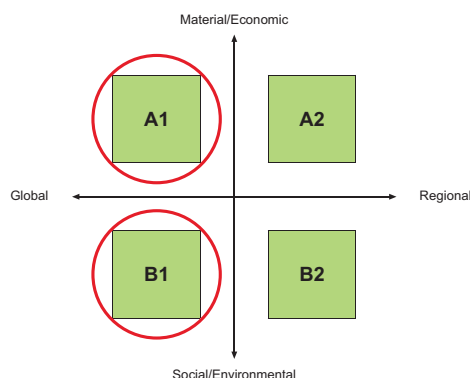


Abb. 3: SRES-Szenarien (IPCC 2001, 2007)

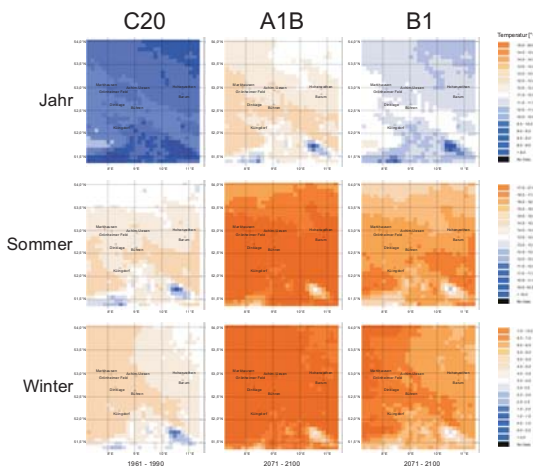
LITERATUR

IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York 2001.

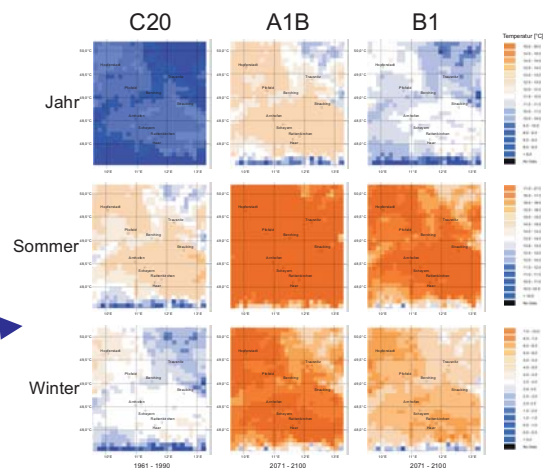
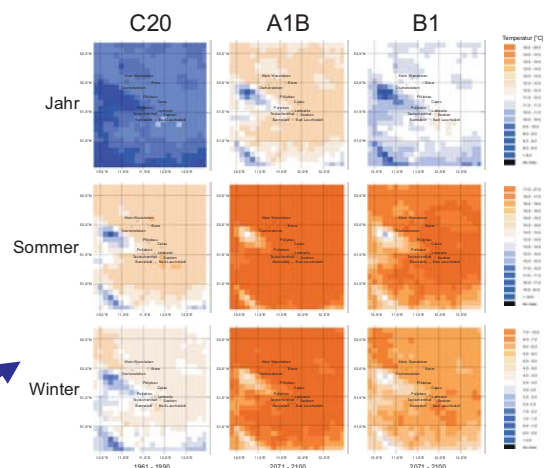
IPCC (2007) Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York 2007.

ZEBISCH, M., T. GROTHMANN, D. SCHRÖTER, C. HAËSE, U. FRITSCH & W. CRAMER (2005) Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. UBA-Forschungsvorhaben Nr. 201 41 253.

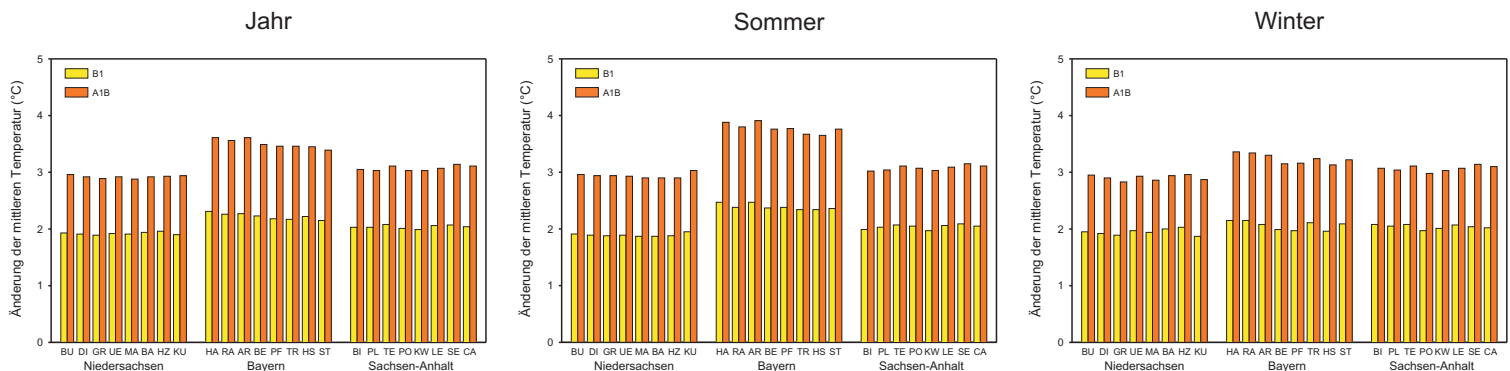
TEMPERATUR



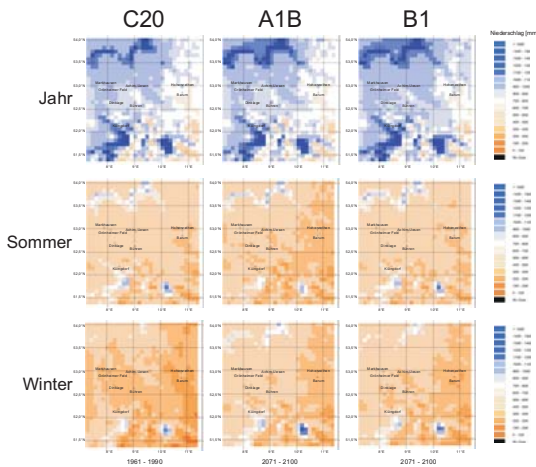
Die Werte der Jahresmitteltemperatur werden nach den Ergebnissen aus REMO in Abhängigkeit des gewählten SRES-Szenarios deutlich steigen. Im Vergleich zum Kontrolllauf C20 (1961 - 90) erhöhen sich die Temperaturen bis 2071 - 2100 an den ausgewählten Standorten des süddeutschen Alpenvorlandes um ca. 2,2° K (B1) bzw. 3,5° K (A1B). Nur geringfügig niedriger werden die zukünftig zu erwartenden Lufttemperaturen in den beiden anderen Modellregionen von REMO projiziert. So liegt die Erwärmung in Niedersachsen bei 2,0° K (B1) bzw. 3,0° K (A1B), in Sachsen-Anhalt bei 2,1° K (B1) bzw. 3,1° K (A1B).



VERÄNDERUNGEN GEGENÜBER AKTUELLEM KLIMA



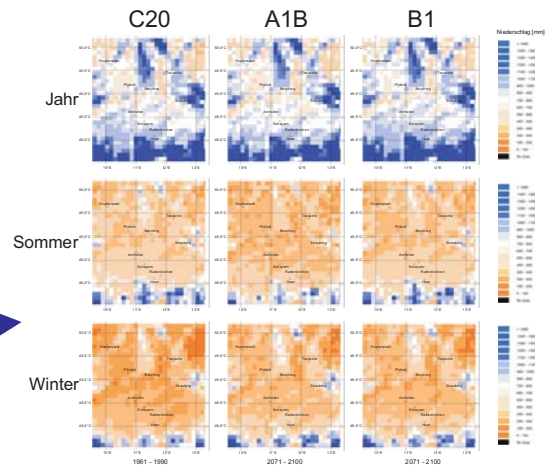
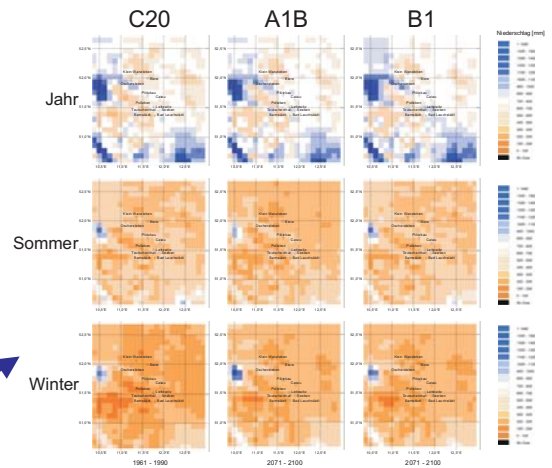
NIEDERSCHLAG



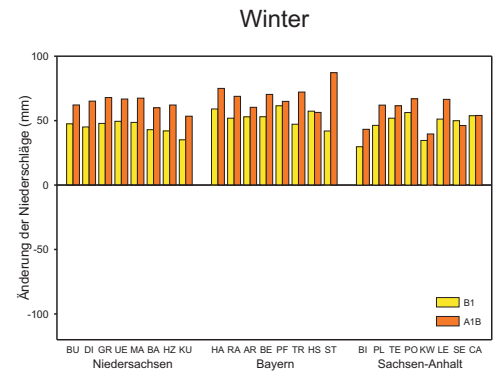
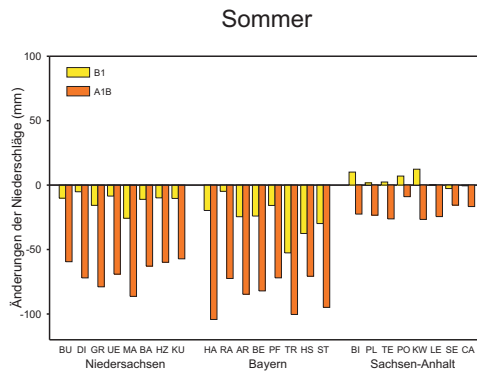
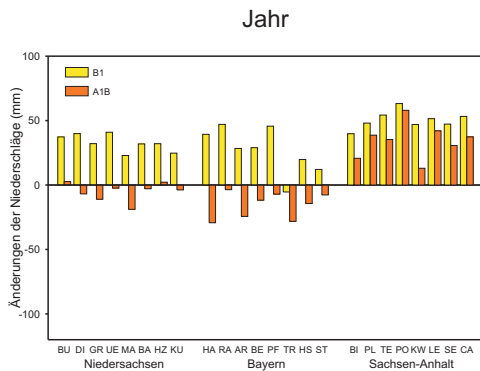
Die Jahresniederschlagssummen der einzelnen Standorte zeigen sowohl regionale als auch lokale Unterschiede. Dies gilt sowohl für den projizierten Zeitraum als auch für den Kontrolllauf C20. Ursächlich ist hier die geographische Lage.

REMO projiziert aus Szenario B1 für nahezu alle Stationen eine Zunahme des Niederschlags, der teilweise Werte von > 50 mm erreicht.

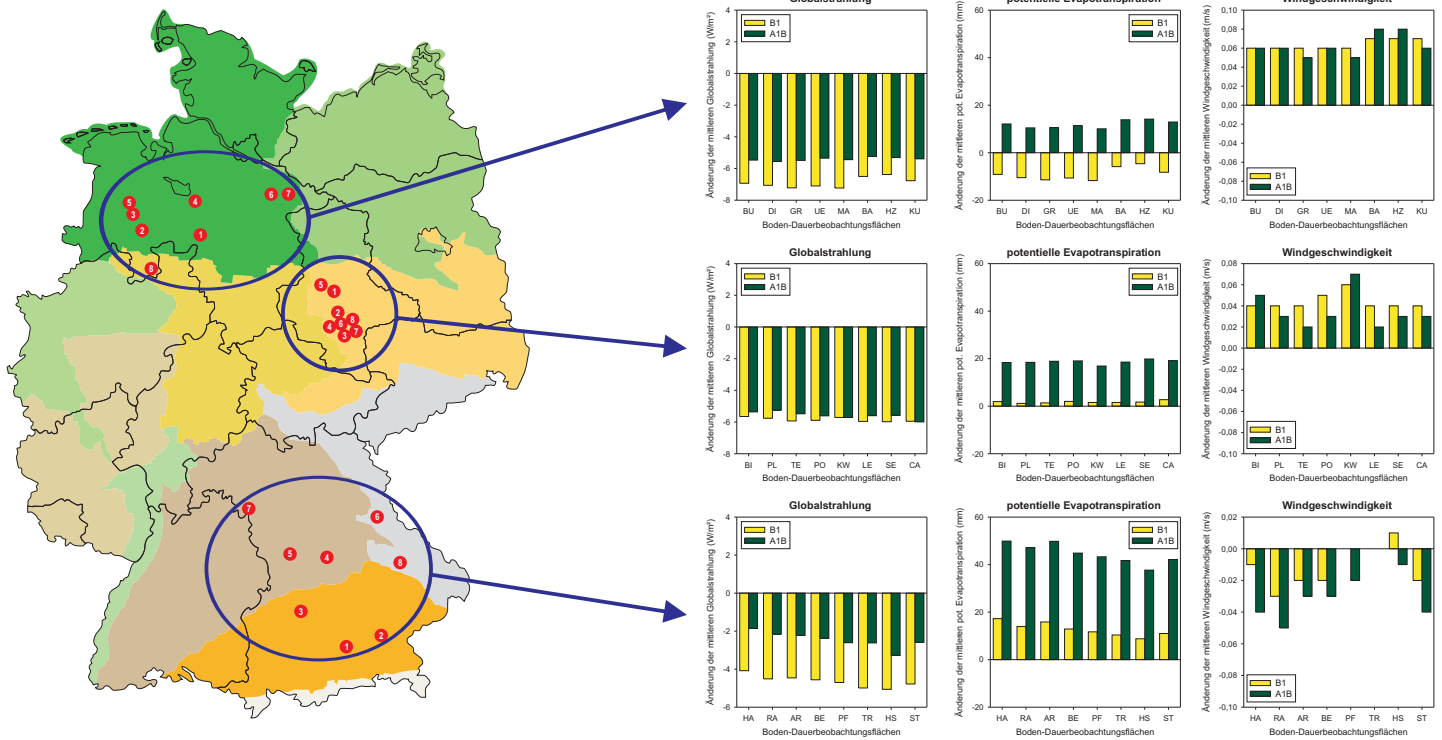
Die Ergebnisse des Szenarios A1B weisen an Standorten Niedersachsens und Bayerns auf einen Rückgang der Jahresniederschlagssumme hin. An den Standorten der mitteldeutschen Trockenregion ist dagegen mit einem Anstieg des Niederschlags zu rechnen.



VERÄNDERUNGEN GEGENÜBER AKTUELLEM KLIMA



GLOBALSTRAHLUNG, POTENTIELLE EVAPOTRANSPIRATION, WINDGESCHWINDIGKEIT



TENDENZIELLE ÄNDERUNGEN KLIMATISCHER PARAMETER AN DEN BDF

Tendenzielle bzw. qualitative Veränderungen klimatischer Parameter an den betrachteten Standorten

Parameter	C20 - A1B			C20 - B1		
	BDF - NI	BDF - ST	BDF - BY	BDF - NI	BDF - ST	BDF - BY
Temperatur (Jahr)	→	→	→	→	→	→
Temperatur (Sommer)	→	→	→	→	→	→
Temperatur (Winter)	→	→	→	→	→	→
Niederschlag (Jahr)	→	→	→	→	→	→
Niederschlag (Sommer)	→	→	→	→	→	→
Niederschlag (Winter)	→	→	→	→	→	→
Globalstrahlung (Jahr)	→	→	→	→	→	→
Globalstrahlung (Sommer)	→	→	→	→	→	→
Globalstrahlung (Winter)	→	→	→	→	→	→
Windgeschwindigkeit (Jahr)	→	→	→	→	→	→
Windgeschwindigkeit (Sommer)	→	→	→	→	→	→
Windgeschwindigkeit (Winter)	→	→	→	→	→	→
pET (Jahr)	→	→	→	→	→	→
pET (Sommer)	→	→	→	→	→	→
pET (Winter)	→	→	→	→	→	→

Legende

- Tendenzielle Zunahme des Parameters für alle untersuchten Standorte
- Tendenzielle Abnahme des Parameters für alle untersuchten Standorte
- Tendenzielle Zunahme des Parameters für einige untersuchte Standorte
- Tendenzielle Abnahme des Parameters für einige untersuchte Standorte
- Keine Veränderungen (Zunahme oder Abnahme des Parameters in den Szenarien B1 und A1B gegenüber C20 weniger als 5%)

Einfluß von Klimawandel und Bewirtschaftung auf die Kohlenstoffvorräte im Boden für drei sächsische Standorte

Uwe Franko¹, Ekkehard Ließ¹, Enrico Thiel¹, Katrin Kuka¹, Hartmut Kolbe²
Helmholtzzentrum für Umweltforschung UFZ (1), Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2)

Einleitung und Zielstellung:

Klimawandel und C-Sequestrierung im Boden sind eng aneinander gekoppelt. Es liegt daher nahe zu untersuchen, wie sich der prognostizierte Klimawandel auf die Corg-Speicherung auswirkt und welche Handlungsoptionen durch veränderte Bewirtschaftung bestehen. Dies erfolgte für drei repräsentative sächsische Standorte, die als regionale Stellvertreter für Löss-(L), diluviale (D) und Verwitterungsböden (V) ausgewählt wurden. Für die Klimamodellierung wurden die WEREX-Daten des sächsischen LfUG auf Tagesbasis benutzt.

Ausgehend vom aktuellen standorttypischen Humusgehalt wurde für eine große Anzahl verschiedener Bewirtschaftungsvarianten, die den möglichen Handlungsspielraum weitgehend abdecken, die Entwicklung des Corg-Gehaltes in der Ackerkrume bis zum Jahr 2050 mit CANDY modelliert.

Datengrundlage:

Für die Modellierung der aktuellen und künftigen klimatischen Situation in Sachsen wurden aus den WEREX-Daten von 1961 – 2060 für die Klimastationen Chemnitz, Leipzig und Torgau die für das CANDY-System notwendigen Parameter Niederschlag, Temperatur und Sonnenscheindauer verwendet.

Basis für die Ableitung der Bodenparameter bildete die BÜK200 für Sachsen.

Die in den drei wichtigsten Agrarstrukturgebieten:
ASG 1 – Sächsische Heidegebiete/Ries-/Torg.-Elbtal
ASG 3 – Mittelsächsisches Lößgebiet und
ASG 4 – Erzgebirgsvorland/Vogtland/Elsterbergland
jeweils am weitesten verbreiteten Leitbodenformen wurden für die Berechnung genutzt.

Ergebnisse:

Der Vergleich der Ergebnisse der 3 Grundfruchtfolgen mit der für alle Gebiete einheitlichen Referenzfruchtfolge unterstrich, dass die Standortwirkung auch von den Grundfruchtfolgen ausreichend repräsentiert wird. (A)

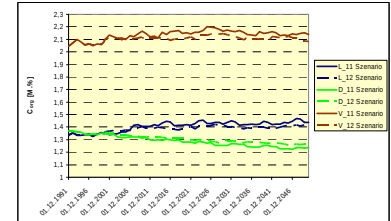
Auf allen drei Standorten gibt es eine weite Spanne zur Steuerung der C-Vorräte (B), wobei Grünlandnutzung den oberen Rand und die vollständige Abfuhr aller Koppelprodukte den unteren Rand bei allen drei Standorten bilden. In allen Fällen ist der Spielraum zur Steigerung der C-Vorräte größer als der drohende weitere Humusverlust. Insbesondere die Grundfruchtfolge des D-Standes ist nicht in der Lage den Humusgehalt zu stabilisieren. Generell zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen erhöhter Energieabfuhr und der verringerten Humusspeicherung (jeweils im Vergleich zur Grundfruchtfolge – wobei die Varianten des Ökolandbaus offenbar eine eigene Grundgesamtheit bilden (C).

Zusammenfassung:

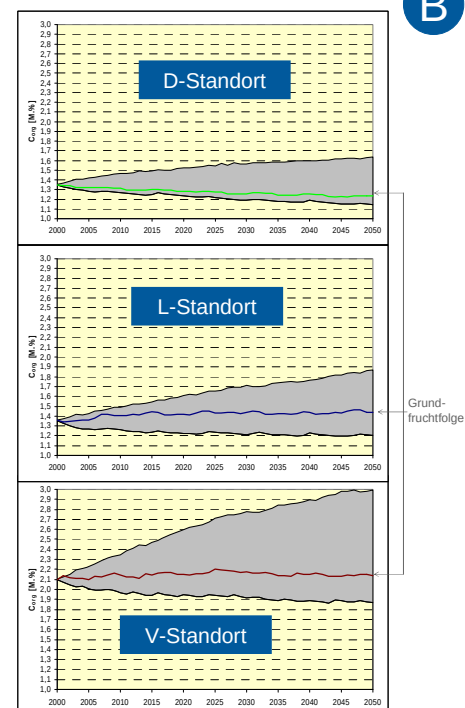
Die Ergebnisse weisen insgesamt für jeden der untersuchten Standorte eine Reihe von Entwicklungsmöglichkeiten zur Erhaltung bzw. Steigerung des Humusvorrates auch unter den Bedingungen des Klimawandels auf. Bei der Interpretation ist immer zu beachten, dass es sich hier nicht um genaue Prognosen sondern um Szenarioanalysen handelt („Was wäre, wenn...“). Insbesondere die Richtung der C-Veränderung (Zu- oder Abnahme) ist sehr stark von den gewählten Anfangsbedingungen abhängig. Die Differenzierung der verschiedenen Szenarien untereinander wird davon weniger betroffen, ist aber von den gewählten Standortbedingungen (Bodenprofil und Wetterablauf) abhängig. Über alle Standorte hinweg wird deutlich, dass die obere Grenze der C-Sequestrierung durch das Weide-Szenario bestimmt wird, während die untere Grenze bei vollständiger Abfuhr aller Koppelprodukte erreicht wird. Die Untersuchungen zu möglichen Entwicklungsstrategien zeigen für alle Standorte – aber am sensibelsten für den L-Standort, dass eine Ausweitung des Ökolandbaus zu Lasten der C-Sequestrierung geht, während eine Ausdehnung von Weideland zusätzliches Potential zur C-Akkumulation bietet. Die geringere Wirkung des Ökolandbaus auf die C-Speicherung wird bei Annahme einer Ertragssteigerung zwar gemildert, aber nicht kompensiert.

Danksagung: Die Autoren danken dem Sächsischen Landesamt für Landwirtschaft (LfL, Leipzig) und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG, Dresden, Freiberg) für die Unterstützung dieses Projektes.

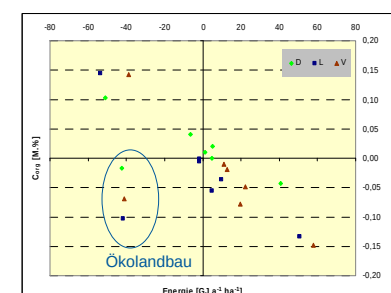
Ergebnisse der standorttypischen Grundfruchtfolge(11) und der einh. Referenzfruchtfolge(12) für die untersuchten Standorte (L, D, V) bei konventionellem Landbau



Spannweite der Corg-Entwicklung der modellierten Szenarien (2000-2050) für die 3 untersuchten Standorte



Energie-Mehrerträge und zusätzliche C-Sequestrierung im Vergleich zum Grundszenario



Einfluss der Waldbewirtschaftung auf Boden C-Vorräte

Zielstellung

Im Rahmen der DFG - **Biodiversitäts Exploratorien** wird im Hainich (Westthüringen) der Einfluss der Landnutzungsintensität auf die **Boden-C-Vorräte** analysiert.

Material und Methoden

Die Bodenbeprobung erfolgte entlang eines **Landnutzungsgradienten** vom weitgehend ungenutzten Naturwald über Plenterwald zum Altersklassenwald (Abb. 1). An 88 Punkten wurden die C-Vorräte in der org. Auflage und im Mineralboden untersucht. Das Probenmaterial wurde luftgetrocknet und gemahlen. Die Bestimmung der organischen Kohlenstoff (OC)-Konzentrationen erfolgte mit einem Elementar VarioMax C/N-Analysator. Der **C-Vorrat** errechnet sich aus der org. C-Konzentration, dem Gewicht des Feinbodens und einem Flächenfaktor. Als Bodentypen treten Parabraunerden und Pseudogley (auf Löss) und Braunerden (auf Muschelkalk) auf. Mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (Anova) wurde der Einfluss der Landnutzungsintensität und des Bodentyps auf die Gesamt-C-Vorräte im Boden analysiert.

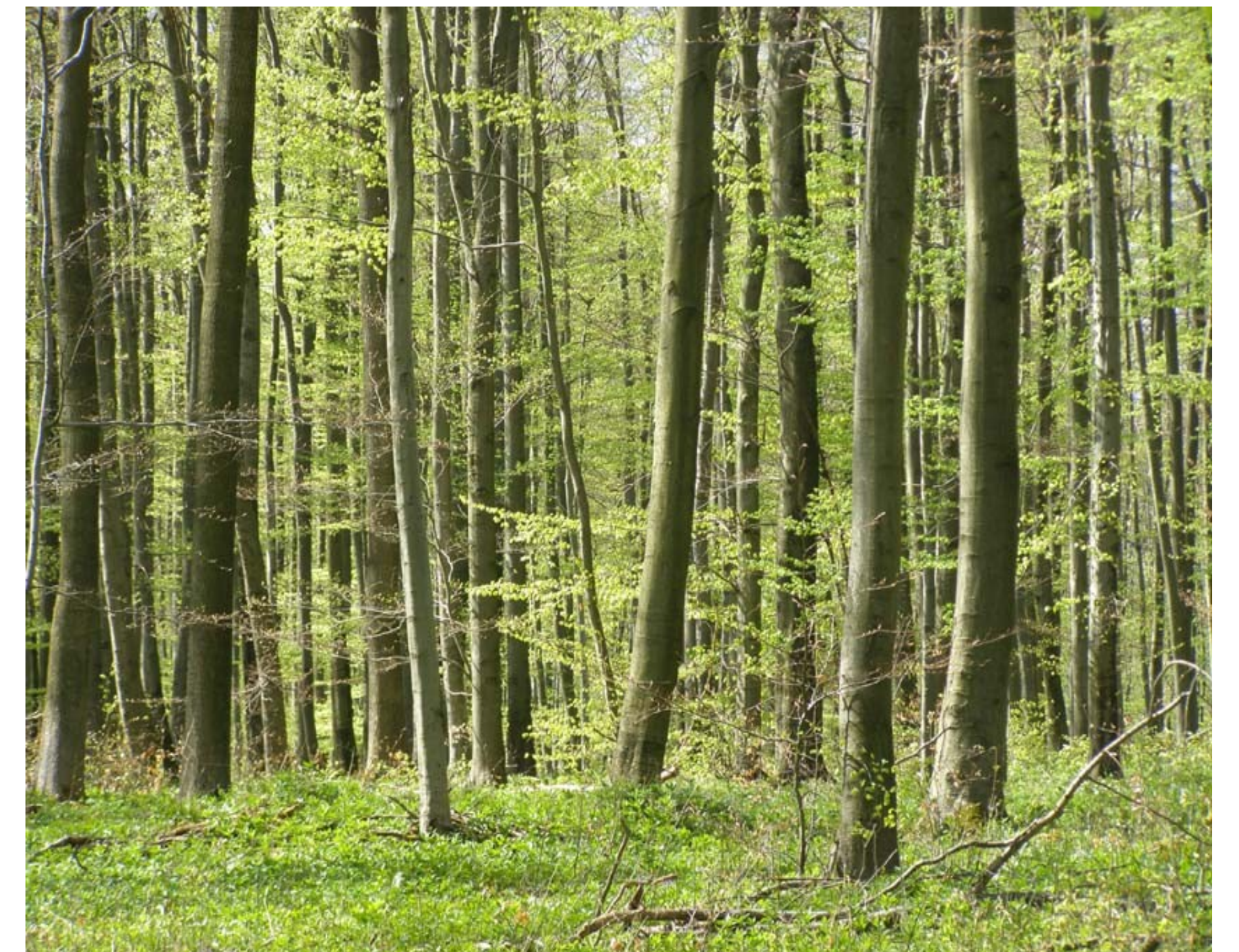


Abb.1: Typischer Altersklassenwald bei Mühlhausen

Ergebnisse und Diskussion

OC-Vorrat in der organischen Auflage in kg m⁻²

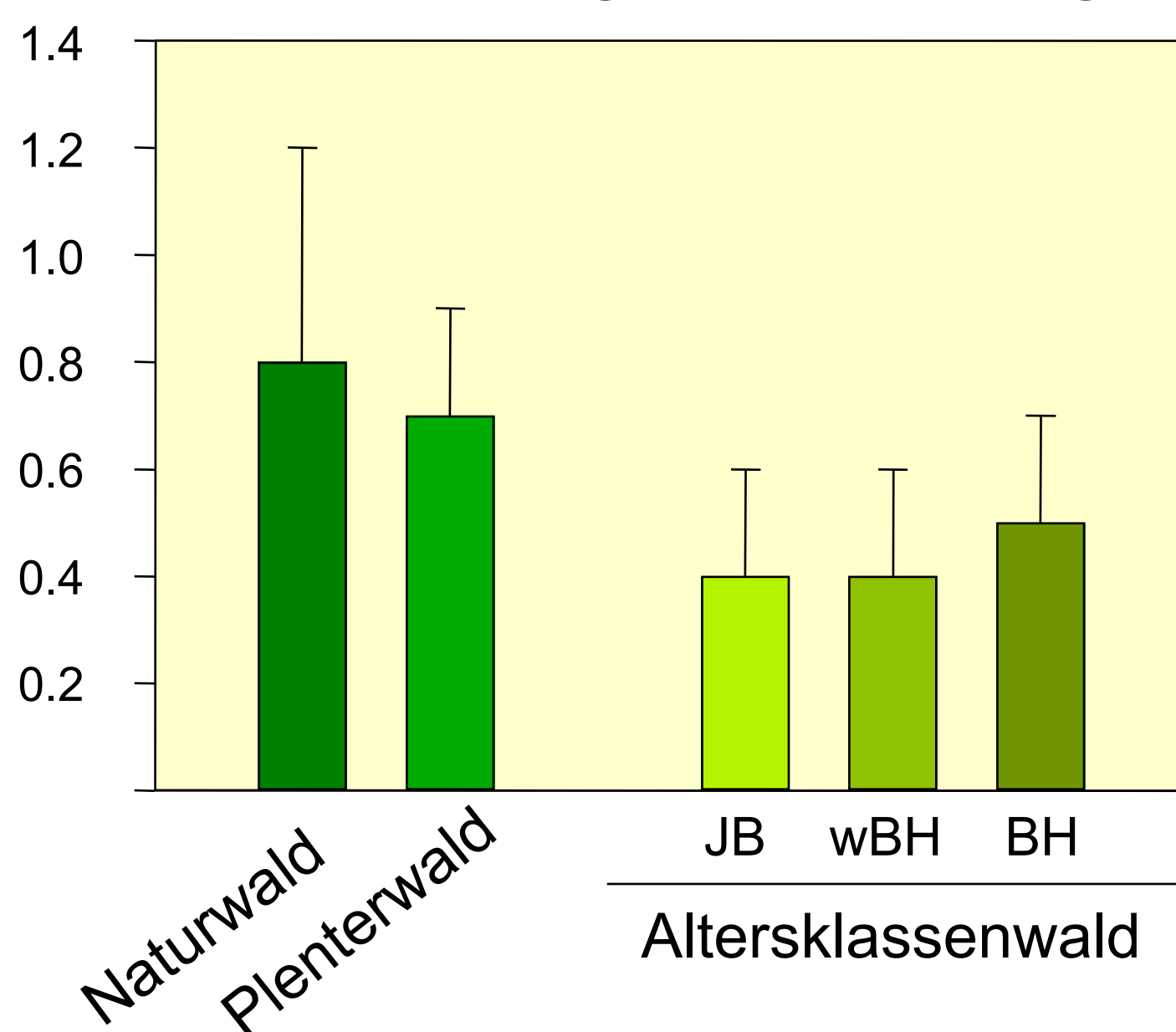


Abb.2: Gesamtverräte org. Kohlenstoffs (OC) unter verschiedenen Landnutzungsintensitäten in der organischen Auflage

OC-Vorrat im Mineralboden in kg m⁻²

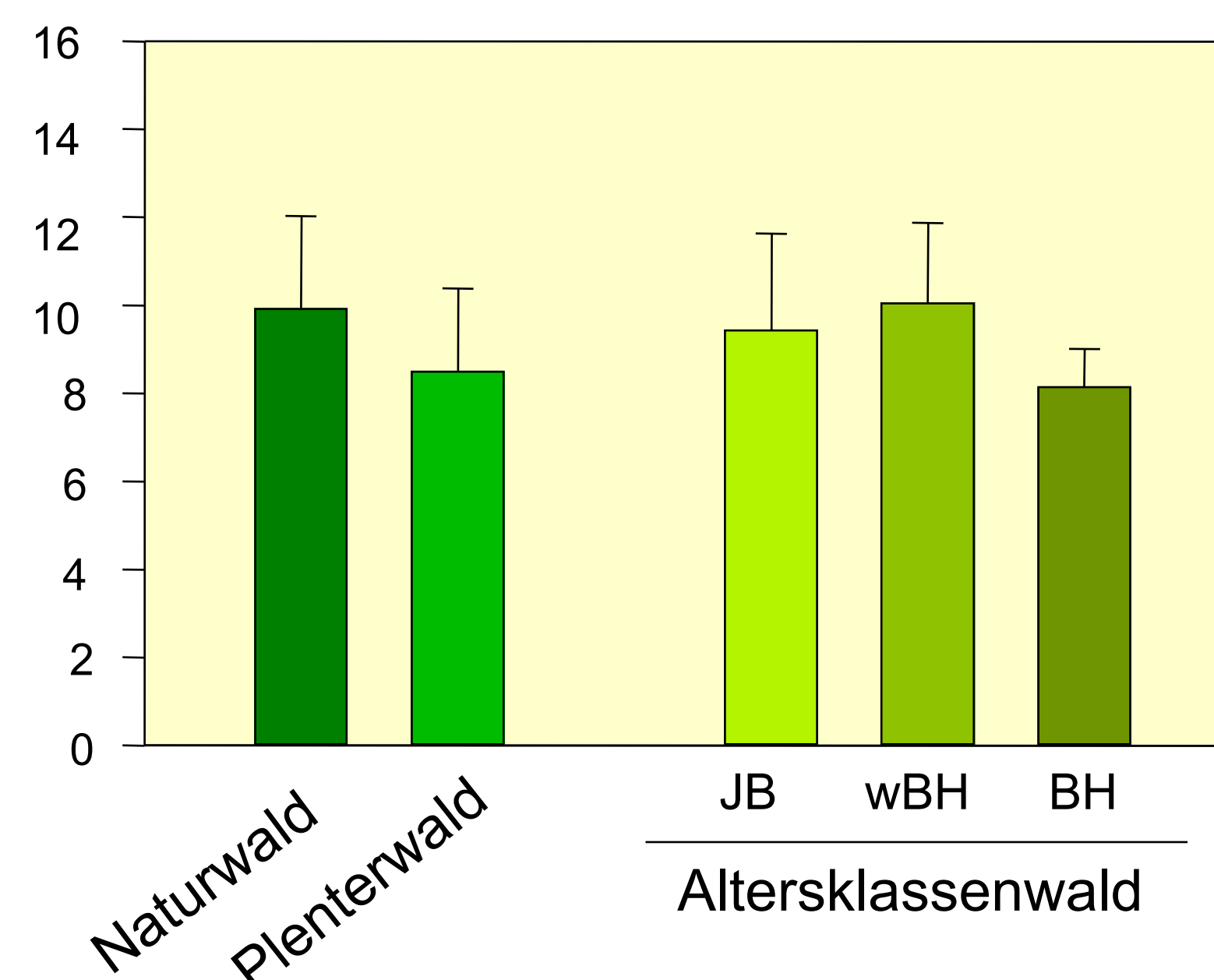


Abb.3: Gesamtverräte des org. Kohlenstoffs (OC) unter verschiedenen Landnutzungsintensitäten im Mineralboden

OC-Vorrat im Mineralboden in kg m⁻²

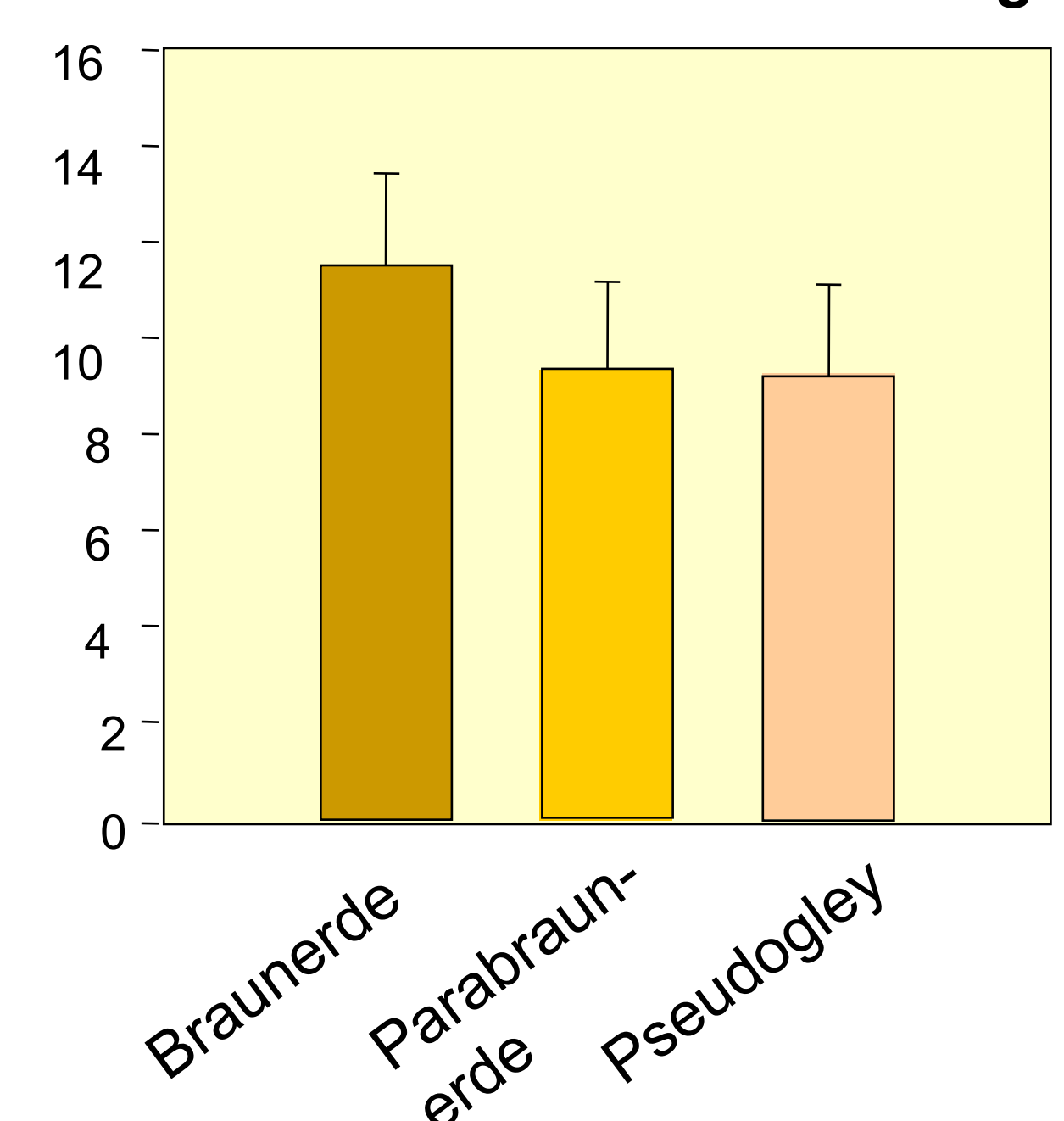


Abb.4: Gesamtverräte org. Kohlenstoffs (OC) in verschiedenen Bodentypen

Beim Vergleich der C-Vorräte in der organischen Auflage (Abb. 2) wird deutlich, dass die C-Vorräte im Naturwald und Plenterwald signifikant höher als im Altersklassenwald sind. Auch beim Vergleich der Kohlenstoffvorräte im Mineralboden gibt es Unterschiede (Abb. 3, 5). Allerdings sind diese bei Berücksichtigung der Bodentypen nicht signifikant (Abb. 3, Tabelle 1). Dagegen zeigt die Anova (Tab. 1), dass es signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zwischen den Kohlenstoffvorräten der Bodentypen gibt.

Die Braunerden enthalten die höchsten Gesamtverräte (Abb. 4, 6). Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass ein Einfluss der Landnutzungsintensität auf Gesamt C-Vorräte mit einer Stichprobengröße ($n=88$) nicht nachweisbar ist. Vielmehr steuert die Verteilung der Bodentypen die Höhe der C-Vorräte in den verschiedenen Landnutzungsintensitäten.

OC-Vorrat im Mineralboden in kg m⁻³

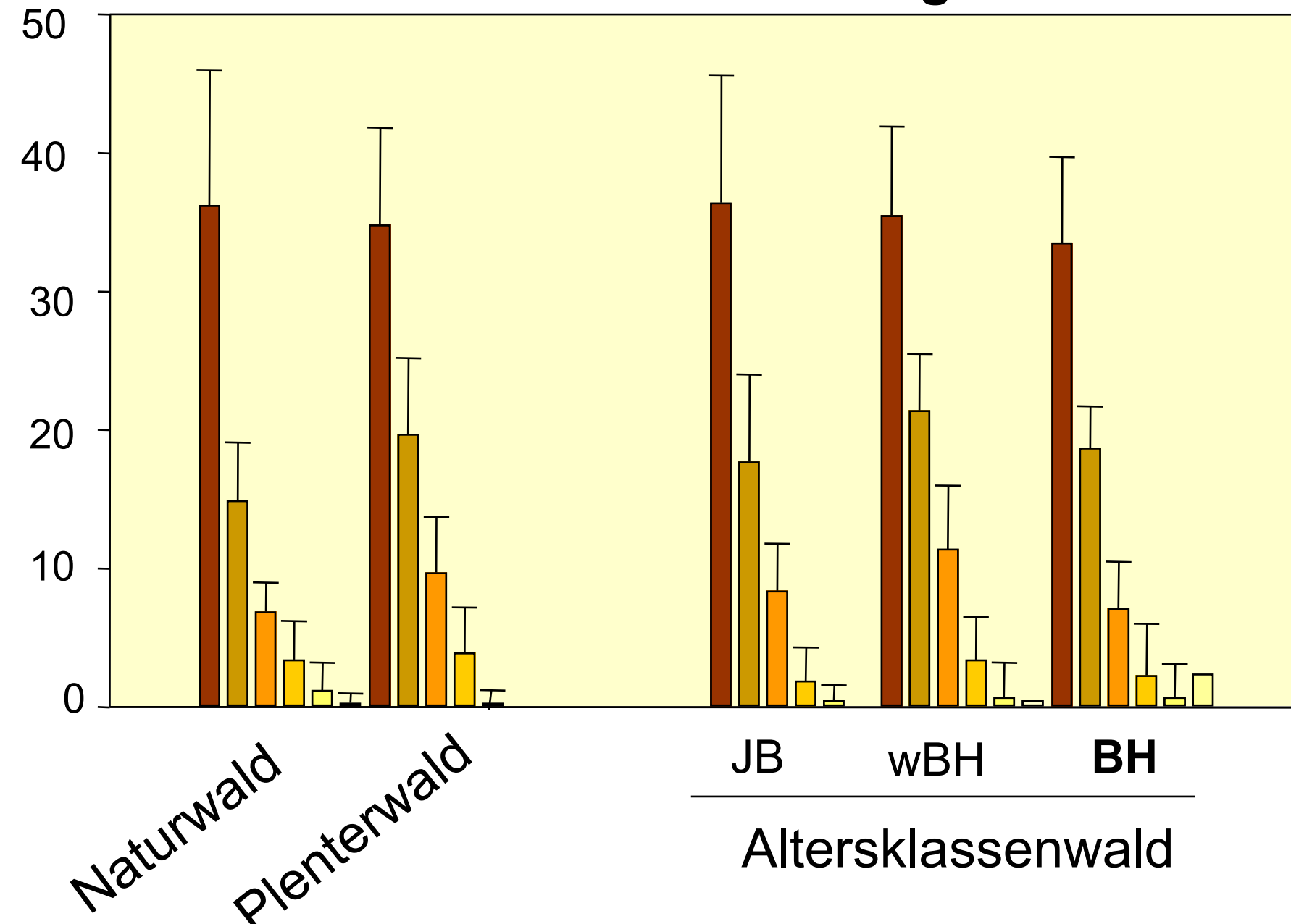
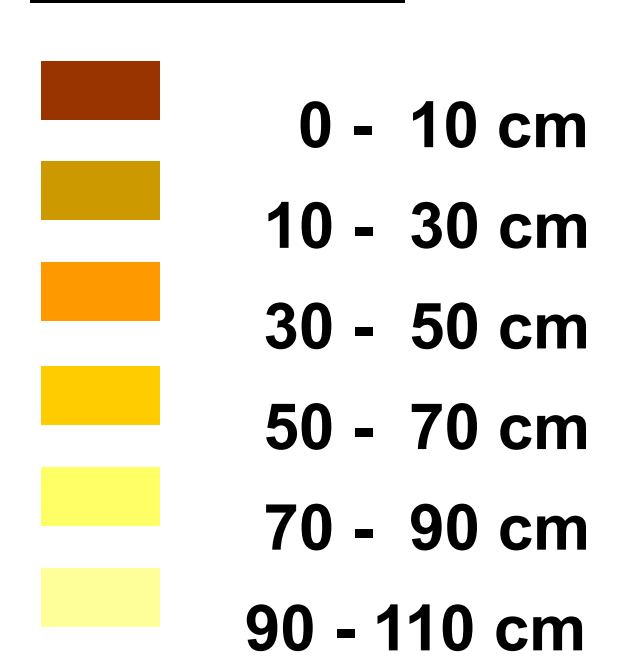


Abb.5: Org. Kohlenstoff (OC) Vorräte in Tiefenstufen unter verschiedenen Landnutzungsintensitäten

Tiefenstufen



Bodentypen



OC-Vorrat im Mineralboden in kg m⁻²

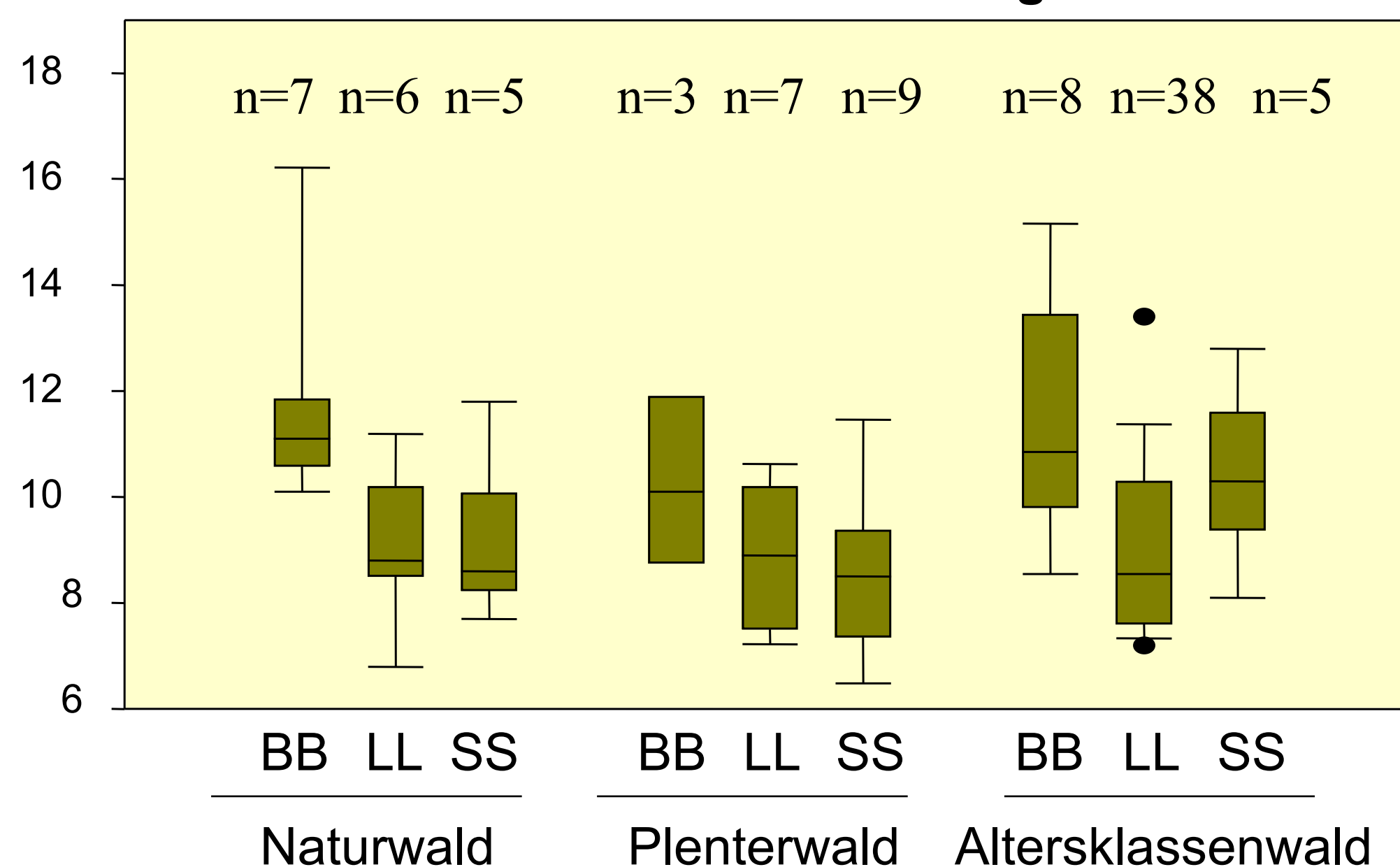


Abb. 6: Org. Kohlenstoff (OC) Vorräte in verschiedenen Bodentypen unter verschiedenen Landnutzungsintensitäten

Tab.1: Resultate der zweifaktoriellen ANOVA für OC- Vorräte

Faktor	OC-Vorrat		
	df	F	P
B	2	9.34	.000
L	2		.366
B*L	4		.757

Bodentypen (B),
Bewirtschaftungsform (L)

Teilnehmerliste

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Allendorf	Herr		Arnd	Hessenwasser GmbH & Co. KG Taunusstraße 100, 64521 Gross-Gerau	069/254902307 069/254902309	janine.rauschkolb@hessenwasser.de
Anacker	Frau		Ursula	Landesamt für Umweltschutz - LSA Reideburger Straße 47, 06116 Halle	0345/570-4443 0345/570-4405	ursula.anacker@lau.mlu.sachsen-anhalt.de
Angenendt	Frau	Dr.	Elisabeth	Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, 70593 Stuttgart	0711/45922569 0711/45923709	angenend@uni-hohenheim.de
Bach	Frau		Franziska	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung Telegrafenberg A31, 14473 Potsdam	0331/2882623	franzibach@gmx.de
Bachmann	Frau		Ute	BTU Cottbus, Lehrstuhl Bodenschutz	0355/69-2117 0355/69-7373	bachmann@tu-cottbus.de
Backes	Herr	Dr.	Josef	Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz	06131/164405 06113/16174405	josef.backes@mufv.rlp.de
Barth	Frau	Dr.	Natalja	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Postfach 80 01 32, 01101 Dresden	03731/294222 03731/22918	Natalja.Barth@ifug.smul.sachsen.de
Beisecker	Herr	Dr.	Richard	Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft An der Kirche 5, 34323 Malsfeld	05685/930023 05685/930024	rb@ifoe.de
Beste	Frau	Dr.	Andrea	Büro für Bodenschutz und Ökologisch Agrarkultur, Analyse, Fortbildung, Beratung Kurfürstenstraße 23, 55118 Mainz Moderation Forum I	06131/639901	A.Beste@t-online.de
Bieber	Herr	Dr.	Andreas	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Robert-Schumann-Platz 3, 53175 Bonn	01888 / 305-3431	andreas.bieber@bmu.bund.de
Billen	Herr	Dr.	Norbert	Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre, 70593 Stuttgart	0711/45922117 0711/45923117	billen@uni-hohenheim.de
Bischoff	Herr		Joachim	LfG Bernburg, Streenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg	03471/334-217	joachim.bischoff@lfg.mlu.sachsen-anhalt.de
Böhm	Herr	Dr.	Christian	BTU Cottbus Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus	0355/694145 0355/692323	boehmc@tu-cottbus.de
Bräunig	Herr	Dr.	Arnd	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Postfach 80 01 32, 01101 Dresden	03731/294228 03731/22918	Arnd.Braeunig@ifug.smul.sachsen.de
Breitschuh	Herr		Thorsten	VAFB Thüringen Forumssprecher für Forum III	03641/683-308	Breitschuh.Werdershausen@t-online.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Bussian	Herr	Dr.	Bernd	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21033412 0340/21043412	bernd.bussian@uba.de
Choudhury	Frau		Keya	ibn Erdmannstraße 13, 10827 Berlin Moderation: Forum III	030/78096264 030/78096265	office@choudhury-berlin.de
Chowanietz	Frau		Ursula	Inbitec e.V. Am Sandhaus 31, 13125 Berlin	030/94797696 030/94797697	urchow@web.de
Claus	Herr		Jürgen	Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt Dessauer Straße 70, 06118 Halle	0345/5142715 0345/5142703	juergen.claus@lwa.sachsen-anhalt.de
Dahlmann	Frau		Irene	Niedersächsisches Umweltministerium Archivstraße 2, 30169 Hannover	05198/9890-76 05198/9890-95	Irene.Dahlmann@mu.niedersachsen.de
Dehner	Herr		Ulrich	Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz Emy-Roeder-Straße 5, 55129 Mainz	06131/9254274 06131/9254123	ulrich.dehner@lgb-rlp.de
Dickow-Hahn	Frau		Regine	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21032712 0340/21042712	regine.dickow-hahn@uba.de
Dinter	Herr		Klaus	Stadtverwaltung Cottbus, FB 72 Neumarkt 5, 03046 Cottbus	0355/612-2887 0355/612-2704	klaus.dinter@neumarkt.cottbus.de
Dominik	Herr	Dr.	Peter	Umweltbundesamt, Geschäftsstelle KBU Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21032275 0340/21042275	peter.dominik@uba.de
Dreher	Herr	Dr.	Peter	Umweltministerium BaWü Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart	0711/1261522 0711/1261509	peter.dreher@um.bwl.de
Ehrmann	Herr		Otto	Büro für Bodenmikromorphologie und Bodenbiologie Münster 12, 97993 Creglingen	07933/7692	otto.ehrmann@gmx.de
Ellmer	Herr	Prof. Dr.	Frank	Humboldt Universität zu Berlin Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin	030/31471197 030/31471211	frank.ellmer@agrار.hu-berlin.de
Evers	Herr	Dr.	Jan	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Grätzelstraße 2	0551/69401187 0551/69401160	jan.evers@nw-fva.de
Falk	Herr		Wolfgang	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Am Hochanger 11, 85354 Freising	08161/714819 08161/714971	falk@lwf.uni-muenchen.de
Feldhaus	Herr	Dr.	Dieter	LAGB Sachsen-Anhalt Köthener Straße 34, 06118 Halle	0345/5212103 0345/229910	feldhaus@lagb.mw.sachsen-anhalt.de
Flaig	Herr	Dr.	Holger	LTZ Augustenberg Neßlerstraße 23-31, 76227 Karlsruhe	0721/9468193 0721/9468112	holger.flaign@ltz.bwl.de
Förster	Herr	Dr.	Lutz	TLUG Jena Göschwitzer Straße 41, 07745 Jena	03641/684500 03641/684222	L.Foerster@TLUGJena.Thueringen.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Franko	Herr	Dr.	Uwe	UFZ Halle Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle	0345/5585432	uwe.franko@ufz.de
Freibauer	Frau	Dr.	Annette	Max Planck Institut für Biogeochemie Hans-Knöll-Straße 10, 07745 Jena	03641/576-164 03641/576-100	afreib@bgc-jena.mpg.de
Freudenschuss	Frau		Alexandra	Umweltbundesamt GmbH Spittelauer Lände 5, 1090 Wien	0043 (0)1 - 31304-3691	alexandra.freudenschuss@umweltbundesamt.at
Friedrich	Herr		Klaus	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden	0611/6939-958	k.friedrich@hlug.de
Fröhlich	Herr		Jörn	MLUR-SH Mercatorstraße 3, 24106 Kiel	0431/9887355 0431/9887179	joern.froehlich@mlur.landsh.de
Fründ	Herr	Dr. rer.nat.	Heinz-Christian	Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur Oldenburger Landstraße 24, 49090 Osnabrück Forumssprecher für Forum I	0541/9695052 0541/9695170	h-c.fruend@fh-osnabrueck.de
Gensior	Herr	Dr.	Andreas	VTI, Institut für agrarrelevante Klimaforschung Bundesallee 50, 38116 Braunschweig	0531/5962637 0531/5962599	andreas.gensior@vti.bund.de
Gerdts	Herr		Detlef	Europäisches Bodenbündnis ELSA e.V. c/o Stadt Osnabrück Postfach 44 60, 49034 Osnabrück Forumssprecher für Forum IV	0541/3233172 0541/323153172	gerdts@osnabrueck.de
Giese	Frau	Dr.	Evelyn	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21033819 0340/21043819	evelyn.giese@uba.de
Glante	Herr	Dr.	Frank	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/2103-3434 0340/2104-3434	frank.glante@uba.de
Goldbach	Herr		Herbert	LA 21 AG Bodenschutz Gruenauer Straße 42, 12524 Berlin	030/6721553	bobi08@bodennetzwerk.de
Gommer	Frau		Sandra	Bayerisches Landesamt für Umwelt Hans-Högn-Straße 12, 95030 Hof/Saale	09281/18004519	sandra.gommer@LfU.bayern.de
Graefe	Herr		Ulfert	Institut für Angewandte Bodenbiologie Sodenkamp 62,	040/593308 040/59360409	ulfert.graefe@ifab-hamburg.de
Greiten	Herr		Ulrich	Stadt Osnabrück, FB Umwelt Postfach 44 60, Osnabrück	0541/3233164	greiten@osnabrueck.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Groth	Frau		Angelika	LU MV Paulshöher Weg 1, 19061 Schwerin	0385/5886741 0385/5886778	A.Groth@lu.mv-regierung.de
Grundmann	Herr	Dr.	Volker	Hessen-Forst Bertha-von-Suttner-Straße 3, 34131 Kassel	0561/3167101	volker.grundmann@forst.hessen.de
Grüneberg	Herr		Erik	Fr.-Schiller Universität Jena, Institut für Ökologie Dornburger Straße 159, 07743 Jena	03641/949422 03641/949402	erik.grueneberg@uni-jena.de
Günther	Herr		Jörg	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Reideburger Straße 47, 06116 Halle	0345/570-4657 0345/570-4605	joerg.guenther@lau.mlu.sachsen-anhalt.de
Gutsche	Frau		Christiane	TU-Dresden /Studentin		GutschenMorgen@gmx.de
Hädicke	Frau	Dr.	Andrea	LANUV NRW, FB 32 Wallneyer Straße 6, 45133 Essen	0201/79951346 0201/79951574	andrea.haedicke@Lanuv.nrw.de
Haferkorn	Frau	Dr.	Ulrike	Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Lysimeterstation Brandis Kleinsteiner Straße 13, 04821 Brandis	034292/8240 034292/82422	ulrike.haferkorn@smul.sachsen.de
Hahn	Frau	Dr.	Sabine	Landesumweltamt Brandenburg Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam	033201/442347 033201/442311	sabine.hahn@lua.brandenburg.de
Heinemeyer	Herr	Dr.	Otto	VTI, Institut für agrarrelevante Klimaforschung Bundesallee 50, 38116 Braunschweig	0531/5962641 0531/5962599	otto.heinemeyer@vti.bund.de
Helms	Herr		Karsten	Mull und Partner Ing.-Ges. mbH Joachimstraße 1, 30159 Hannover	0511/123 5590 0511/123 55955	hannover@mullundpartner.de
Henneberg	Frau		Petra	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/2103-5322 0340/2104-5322	petra.henneberg@uba.de
Herbert	Herr	Dipl.-Ing.	Matthias	Bundesamt für Naturschutz Karl-Liebknecht-Straße 143, 04277 Leipzig	0341/3097711	HerbertM@bfn.de
Hilliges	Herr		Falk	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21032889 0340/21042889	falk.hilliges@uba.de
Hinrichs	Frau		Ute	RP Chemnitz Bahnhofstraße 46-48, 08523 Plauen	03741/206120 03741/206111	ute.hinrichs@rpc.sachsen.de
Hölscher	Herr		Joseph	NLWKN Hildesheim	05121/509-130 05121/509-198	joseph.hoelscher@nlwkn-hi.niedersachsen.de
Höper	Herr	Dr.	Heinrich	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Friedrich-Missler Straße 46-50, 28211 Bremen	0421/2034647 0511/643531047	heinrich.hoeper@lbeg.niedersachsen.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Horchler	Herr		Dieter	c/o Oberfinanzdirektion Hannover, - Landesbauabteilung, Referat LA 21 - Leitstelle des Bundes für- Boden- und Grundwasserschutz Waterloostraße 4, 30169 Hannover	0511/1012830 0511/101162830	gastDH@ofd-lba.niedersachsen.de
Horn	Frau		Anke	Niedersächsisches Umweltministerium Archivstraße 2, 30169 Hannover	0511/1203205 0511/120993205	anke.horn@mu.niedersachsen.de
Hurst	Frau		Stephanie	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden	03731/294227 03731/294115	stephanie.hurst@ifug.smul.sachsen.de
Hüsch	Herr		Stefan	BMELV Bonn Rochusstraße 1, 53123 Bonn	0228/99529-3973	stefan.huesch@bmelv.bund.de
Idler	Herr		Frank	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg- Vorpommern Goldberger Straße 12, 18273 Güstrow	03843/777720 03843/7779720	frank.idler@lung.mv-regierung.de
Isermann	Herr	Dr.	Klaus	Büro für Nachhaltige Ernährung, Landnutzung und Kultur, Heinrich-von-Kleist-Straße 4, 67374 Hanhofen	06344/2983 06344/937264	isermann.bnla@t-online.de
Jungfer	Herr	Prof. Dr.	Eckhardt	Ministerium für ländl. Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz, Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam	0331/8667920 0331/275487920	Eckhardt.Jungfer@MLUV.Brandenburg.de
Jungkunst	Herr	Dr.	Hermann	Universität Göttingen Moderation: Forum II	0551/39-8026	jungku@uni-goettingen.de
Kabardin	Frau		Barbara	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21033418 0340/21043418	barbara.kabardin@uba.de
Kamp	Herr	Dr.	Thomas	Institut für Biodiversität Drei-Kronen-Gasse 2, 93047 Regensburg	0941/2977760 0941/2977762	kamp@biodiv.de
Kaufmann	Frau		Carolin	Ahu AG, Wasser-Boden-Geomatik Kirberichshofer Weg 6, 52066 Aachen	0241/90001139	c.kaufmann@ahu.de
Kittler	Herr		Willfried	Regierungspräsidium Chemnitz Stephanplatz 3, 09072 Chemnitz	0371/358-351 0371/358-285	willfried.kittler@rpc.sachsen.de
Klapperich	Herr	Prof. Dr.	Herbert	CiF Kompetenz-Zentrum für interdisziplinäres Flächenrecycling e.V. Petersstraße 13	03731/206862 03731/206863	klapperich@cif-ev.de
Klingenuß	Herr		Christian	Humboldt Universität zu Berlin Invalidenstraße 42, 10115 Berlin		

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Klöcking	Frau	Dr.	Beate	Büro für Angewandte Hydrologie Murnauer Straße 102a, 81379 München	089/71048872 089/71048873	kloecking@bah-muenchen.de
Kneissl	Frau		Monika	Landesamt für Umweltschutz - LSA Reideburger Straße 47, 06116 Halle	0345/5704-464 0345/5704-405	monika.kneissl@lau.mlu.sachsen-anhalt.de
Koch	Herr	Dr.	Dieter	TMLNU Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt	0361/3799524 0361/3799402	dieter.koch@tmlnu.thueringen.de
Kohl	Herr		Raimund	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz BaWü Griesbachstraße 1, 76185 Karlsruhe	0721/56001559 0721/56001414	raimund.kohl@lubw.bwl.de
Körschens	Herr	Prof. Dr.	Martin	MLU Halle Lauchagrund 1, 06246 Bad Lauchstädt	034635/20836	martin.koerschens@landw.uni-halle.de
Kratz	Herr	Dr.	Werner	Landesumweltamt Brandenburg Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam	033201/442282	werner.kratz@lua.brandenburg.de
Kreuter	Herr	Dr.	Thomas	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Lange Point 6, 85354 Freising	08161/715080 08161/713618	Thomas.Kreuter@LfL.bayern.de
Krüger			Jaane	TU Berlin Salzufer 11-12, 10587 Berlin	030/31473529 030/31473548	jaane.krueger@tu-berlin.de
Kühle	Herr	Dr.	Jürgen C.	Institut für Terrestrische Ökologie GmbH Kiefernweg 12, 02627 Kubschütz- Jenkwitz	03591/606218 03591/606219	juergen.c.kuehle@drilos.de
Kuhn	Frau		Karola	Landesamt für Umweltschutz - LSA Reideburger Straße 47, 06116 Halle	0345/5704-170 0345/5704-405	karola.kuhn@lau.mlu.sachsen-anhalt.de
Kühnel	Frau		Anna	Universität Bayreuth Wilhelm-von-Diez Straße 35, 95448 Bayreuth		anna.kuehnel@web.de
Kuhnt	Frau	Dr.	Dorit	Landwirtschaftsministerium Schleswig- Holstein Mercatorstraße 3, 24106 Kiel	0431/7172 0431/7358	Dorit.Kuhnt@mlur.landsh.de
Lange	Herr	Dipl-Geol.	Martin	Universität Hannover, Institut für Umweltplanung Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover	0511/7625359	lange@umwelt.uni-hannover.de
Lantzsch	Herr	Dr.	Patrick	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam	0331/8667354 0331/275487354	patrick.lantzsch@mluv.brandenburg.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Lotsch	Frau		Heike	Humboldt Universität zu Berlin Invalidenstraße 42, 10115 Berlin	030/2093-8378	heike.lotsch@agrar.hu-berlin.de
Lütkemöller	Frau	Dr.	Dorothe	Forschungsverbund EcoChange, Universität Lüneburg Scharnhorststraße 1, 21335 Lüneburg	04131/677-2963	Luetkemoeller@uni-lueneburg.de
Mahrenholz	Frau		Petra	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/2103-2084 0340/2104-2084	petra.mahrenholz@uba.de
Mahrle	Frau		Sabine	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/2103-3587 0340/2104-3587	sabine.mahrle@uba.de
Makeschin	Herr	Prof. Dr.	Franz	Kommission Bodenschutz Moderation: am 23.01.08	035203/3831307	makesch@forst.tu-dresden.de
Makrutzki	Herr	Dr.	Volker	Umweltamt Stadt Essen Porscheplatz 1, 45121 Essen	0201/8859-400 0201/8859-009	Volker.Makrutzki@umweltamt.Essen.de
Marahrens	Herr		Stephan	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21032396 0340/21042396	stephan.marahrens@uba.de
Marhan	Herr		Sven	Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde Emil-Wolff-Straße 27, 70599 Stuttgart	0711/45922614 0711/45923117	marhan@uni-hohenheim.de
Marschall	Frau		Karin	UFZ Leipzig Permoserstraße 15, 04318 Leipzig	0341/235-1754 0341/235-2169	Karin.Marschall@ufz.de
Mathews	Frau		Jeannette	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21033302 0340/21043302	jeannette.mathews@uba.de
Meesenburg	Herr		Henning	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Grätzelstraße 2	0551/69401170 0551/69401160	henning.meesenburg@nw-fva.de
Michael	Frau	Dr.	Anne	TU Bergakademie Freiberg Agricolastraße 22, 09599 Freiberg	03731/392220 03731/392502	amichael@ioez.tu-freiberg.de
Müller	Herr		Lothar	ZALF Müncheberg Eberswalder Straße 84, 15324 Müncheberg	033432/82233 033432/82280	lmueller@zalf.de
Müller	Herr	Dr.	Udo	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Stilleweg 2, 30655 Hannover	0511/6433594 0511/643533594	udo.mueller@lbeg.niedersachsen.de
Müller	Herr		Helmut	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Olvenstedter Straße 4-5, 39108 Magdeburg	0391/5673427 0391/5671942	Helmut.Mueller@mlu.sachsen-anhalt.de
Nels	Herr		Christian	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21032314 0340/21042314	christian.nels@uba.de
Nerger	Herr		Rainer	LANU SH		rainer.nerger@LANU.LANDSH.DE

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Neuhahn	Frau		Andrea	Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin Brückenstraße 6, 10179 Berlin	030/90252070 030/90252541	andrea.neuhahn@SenGUV.Verwalt-Berlin.de
Ostin	Herr	Dr.	Alexander	Ministerium für ländl. Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam	0331/8667349 0331/275487349	alex.ostin@mluv.brandenburg.de
Petersen	Herr		Burkhard	Energietisch Dessau e.V. Humperdinckstraße 16, 06844 Dessau	0340/5179259	
Pfahler	Frau		Verena	Universität Bayreuth Wilhelm-von-Diez Straße 35, 95448 Bayreuth		v.pfahler@gmx.net
Pforte	Frau		Steffi	Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg Am Flugplatz 1, 06366 Köthen	03496/405793 03496/405799	anhalt-bitterfeld-wittenberg@gmx.de
Poll	Herr		Christian	Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde Emil-Wolff-Straße 27, 70599 Stuttgart	0711/45922614 0711/45923117	poll@uni-hohenheim.de
Rahtkens	Herr		Kay	LUBW Baden-Württemberg Griesbachstraße 1-3,	0721/56001279 0721/56001541	Kay.rahtkens@Lubw.bwl.de
Reinhardt	Herr		Frank	TLUG Jena Göschwitzer Straße 41, 07745 Jena	03641/684-530 03641/684-666	F.Reinhardt@TLUGJena.Thueringen.de
Reinhold	Herr		Jürgen	Bundesgütegemeinschaft Kompost	03327/668974	juergen.reinhold@potsdam.de
Reischl	Herr	Dr.	Arthur	Bayerisches Landesamt für Umwelt Hans-Högn-Straße 12, 95030 Hof/Saale	09281/18004718 09281/18004599	arthur.reischl@lfu.bayern.de
Rippel	Herr		Rudolf	Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz Vöttinger Straße 38, 85354 Freising	08161/714001 08161/715848	Rudolf.Rippel@LfL.bayern.de
Ritschel	Herr	Dr.	Jürgen	Landesumweltamt Brandenburg Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam	033201/442356 033201/442399	juergen.ritschel@lua.brandenburg.de
Rogasik	Frau		Jutta	Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde Bundesallee 50, 38116 Braunschweig	0531/5962117 0531/5962199	jutta.rogasik@fal.de
Röhm	Herr		Herbert	Geozentrum Hannover Stilleweg 2, 30655 Hannover	0511/6432496	herbert.roehm@lbeg.niedersachsen.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Römbke	Herr		Jörg	ECT Oekotoxikologie GmbH Böttgerstraße 2-14, 65439 Flörsheim am Main	06145/956450 06145/956499	j-roembke@ect.de
Roßkopf	Herr		Niko	Humboldt Universität zu Berlin Invalidenstraße 42, 10115 Berlin	030/2093-8380 030/2093-8369	niko.rosskopf.1@staff.hu-berlin.de
Rötscher	Herr		Thomas	Thüringer Landesfinanzdirektion Erfurt, Ludwig-Erhard-Ring 1, 99099 Erfurt	0361/3787416	thomas.roetscher@lfd.thueringen.de
Ruser	Herr	Dr.	Reiner	Instiut für Biodiversität Drei-Kronen-Gasse 2, 93047 Regensburg	0711/45923291	ruser@uni-hohenheim.de
Sauer	Herr		Stephan	Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz Emy-Roeder-Straße 5, 55129 Mainz	06131/9254275 06131/9254123	stephan.sauer@lgb-rlp.de
Schaller	Frau	Dr.	Michaela	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21032463 0340/21042463	michaela.schaller@uba.de
Scheibert	Herr		Christoph	JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH Saalbahnstraße 25c,	03641/453539 03641/442806	scheibert@jena-geos.de
Schmitt	Frau		Anne-Kristin	Marthin-Luther Universität		anne-kristin_schmitt@web.de
Schönemann	Frau		Nancy	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21033586 0340/21043586	nancy.schoenemann@uba.de
Schöning	Herr		Ingo	Fr.-Schiller Universität Jena, Institut für Ökologie Dornburger Straße 159, 07743 Jena	03641/949430 03641/949402	ingo.schoening@uni-jena.de
Schröder	Herr	Prof. Dr.	Winfried	Hochschule Vechta Postfach 15 53, 49364 Vechta	04441/15559 04441/15583	wschroeder@iuw.uni-vechta.de
Schüler	Frau	Dr.	Ellen	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Olvenstedter Straße 4-5, 39108 Magdeburg	0391/5671829 0391/5671942	Ellen.Schueler@mlu.sachsen-anhalt.de
Schulz	Herr	Dr.	Dietrich	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau Forumssprecher für Forum II	0340/ 2103-2885	dietrich.schulz@uba.de
Schütze	Frau		Gudrun	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/2103-3199 0340/2104-3199	gudrun.schuetze@uba.de
Schweitzer	Frau	Dr.	Kathlin	Humboldt-Universität zu Berlin, Invalidenstraße 42, 10115 Berlin	030/20938770 030/20938369	kathlin.schweitzer@agrar.hu-berlin.de
Seiffert	Herr		Stefan	SMUL Wilhelm-Buck-Straße 2, 01097 Dresden	0351/5642077 0351/5642070	stefan.seiffert@smul.sachsen.de
Seltmann	Frau	Dr.	Kirsten	Landesumweltamt Brandenburg Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam	033201/442357 033201/442399	kirsten.seltmann@lua.brandenburg.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Smiatek	Herr	Dr.	G.	IMK-IFU, FZ Karlsruhe GmbH Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen	08821 183 282	gerhard.smiatek@imk.fzk.de
Stange	Herr	Prof.	Claus Florian	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Halle	0345/558-5418	florian.stange@ufz.de
Strähle	Herr		Martin	TU Berlin		martin.straehle@web.de
Suttner	Herr	Dr.	Thomas	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz,	089/9214-3314	thomas.suttner@stmugv.bayern.de
Tessmann	Herr	Dr.	Joachim	Landesumweltamt Brandenburg Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam	033201/442371 033201/442399	joachim.tessmann@lua.brandenburg.de
Valentin	Herr		Ingo	Umweltamt Düsseldorf Brinckmannstraße 7, 40200 Düsseldorf	0211/8925722 0211/8929403	ingo.valentin@stadt.duesseldorf.de
Vogel	Frau		Ragna	Landesamt für Umweltschutz - LSA Reideburger Straße 47, 06116 Halle	0345/5704369	ragna.vogel@lau.mlu.sachsen-anhalt.de
Wagner	Frau		Katrin	TU-Dresden /Studentin		Wagner.K2@gmx.de
Weirich	Herr		Dietmar	Landesamt für Umweltschutz Sachsen- Anhalt		
Weller	Herr		Michael	Landesamt für Geologie und Bergbau Sachsen-Anhalt Köthener Straße 34, 06118 Halle	0345/5212121 0345/5229910	weller@lagb.mw.sachsen-anhalt.de
Werner	Frau	Dr.	Claudia	CiF Kompetenz-Zentrum für interdisziplinäres Flächenrecycling e.V. Petersstraße 13	030/26470533 030/2627004	werner@cif-ev.de
Wieland	Herr		Arnd	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau	0340/21033026 0340/21043026	arnd.wieland@uba.de
Wiesner	Herr		Christof	MWVLW Kaiser-Friedrich-Straße 5a,	06131/165263 06131/162570	christof.wiesner@mwvlw.rlp.de
Wilhelm	Herr		Frank	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Olvenstedter Straße 4-5, 39108 Magdeburg	0391/5671507 0391/5671511	Frank.Wilhelm@mlu.sachsen-anhalt.de
Will	Herr	Dr.	Andreas	BTU Cottbus	0355691 171	will@tu-cottbus.de
Wixwat	Frau		Tina	Geozentrum Hannover Stilleweg 2, 30655 Hannover	0511/643-	tina.wixwat@lbeg.niedersachsen.de
Woll-Schaaf	Frau		Lisa			lisa@schaafs.net
Wurbs	Herr	Dr.	Daniel	Firma geoFlux Halle Herweghstraße 98, 06114 Halle	0345/2394018 0345/2394019	wurbs@geoflux.de

UBA-Workshop "Böden im Klimawandel - Was tun?!" am 22./23.01.2008 in Dessau

Name	Anrede	Titel	Vorname	Institution Anschrift, PLZ, Ort	Telefon Fax	E-mail
Zacharias	Herr	Dr.	Steffen	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Permoserstraße 15, 04318 Leipzig	0341/2351381 0341/2352126	steffen.zacharias@ufz.de
Zeitz	Frau	Prof. Dr.	Jutta	Humboldt Universität zu Berlin Invalidenstraße 42, 10115 Berlin	030/20939030 030/20938369	jutta.zeitz@agrar.hu-berlin.de
Zimmer	Herr		Jörg	LVL Brandenburg Berliner Straße , 14532 Güterfelde	03329/691424 03329/691429	joerg.zimmer@LVL Brandenburg.de