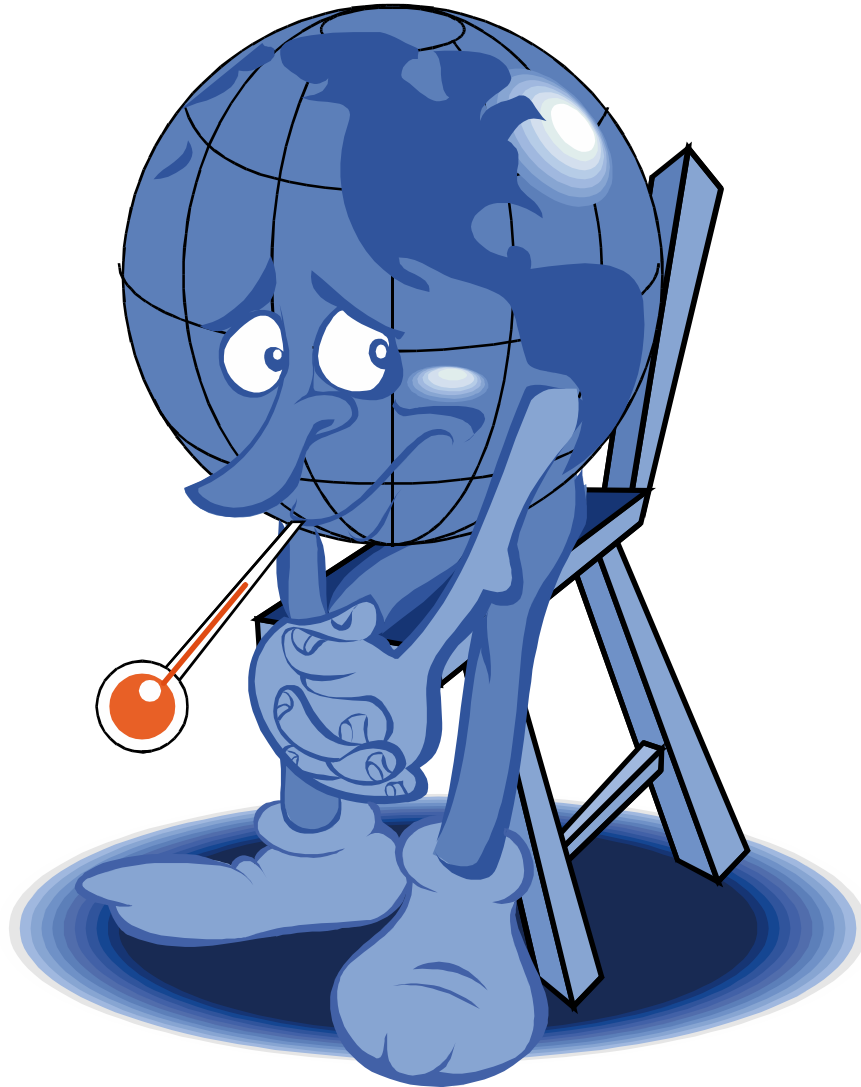


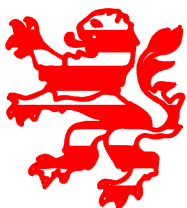
# 1. Hessischer Klimaschutz-Workshop

19. September 2002

RPU – Frankfurt



**Tagungsband**



Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

---

# **Inhalt**

## **Programm-Faltblatt**

### **Ergebnisse des Planspiels zum CO<sub>2</sub>-Emissionshandel in Hessen und Erläuterungen zum Hessen-Tender**

Rüdiger Schweer, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten

### **Der Hessische Klimaschutz-Monitor**

Dr. Helmut Wolf, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

### **Treibhausgas-Emissionen aus Landnutzung in Hessen**

Prof. Dr. Joseph Alcamo, Universität Kassel Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung

### **Auswirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Spurengasflüsse aus einem Grünland-Ökosystem**

Dr. Claudia Kammann, Justus-Liebig Universität Gießen – Institut für Pflanzenökologie

### **Wirkungen von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt – Aufbau eines Monitoringprogramms in Baden-Württemberg**

Dr. Harald Gebhardt, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

### **Simulation der Klimaänderung in Sachsen unter einem 2 x CO<sub>2</sub>-Szenario**

Wilfried Küchler, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

## **Anhang**

### **Ergebnisse des Workshops und Teilnehmerverzeichnis**

# 1. Hessischer Klimaschutz-Workshop

Termin: Donnerstag, 19. September 2002

Ort: Sitzungsraum Erdgeschoss  
Staatliches Umweltamt Frankfurt,  
Gutleutstraße 114,  
60327 Frankfurt

Inhalt: Forum für den Erfahrungsaustausch mit Experten für den Klimaschutz.

Teilnehmerkreis: Kommunale-, regionale- und Landes-Entscheidungsträger für Fragen des Klimaschutzes und aus dem Planungsbereich, Immissionsschutzbeauftragte und sonstige Interessierte

Teilnehmerzahl: max. 50

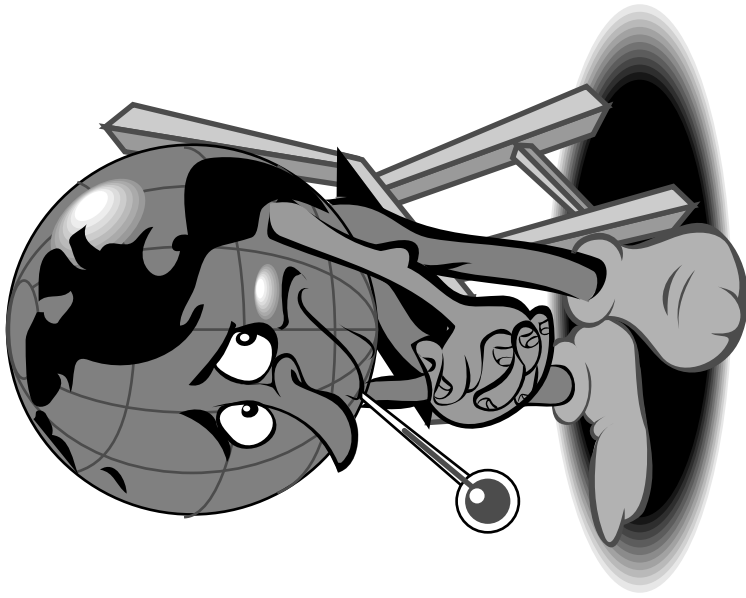
Referenten: Prof. Dr. J. Alcamo, Uni Kassel  
Dr. H. Gebhardt, LfU  
Dr. C. Kammann, Uni Gießen  
W. Küchler, SLUG  
R. Schweer, HMULF  
Dr. H. Wolf, HLUG

Anmeldung: bis 5. September 2002

Gebühren: keine

Anmeldung:  
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)  
Dezernat I 1  
Rheingaustraße 186  
D-65203 Wiesbaden  
Tel.: (0611) 6939-276 (Dr. H. Wolf)  
Fax: (0611) 6939-275

# 1. Hessischer Klimaschutz-Workshop



am 19. September 2002  
von 9:45 bis 16:15 Uhr

im Sitzungsraum des  
RPU – Frankfurt



Hessisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie



Bitte umseitig ausfüllen und diesen Abschnitt im Fensterkuvert (nicht als Postkarte!) einsenden oder Rückseite faxen an **(0611) 6939-275**

Absender/Stempel

Hessisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie  
Dezernat I 1 Dr. H. Wolf  
Rheingaustraße 186

D-65203 Wiesbaden

Bitte senden Sie mir weitere  
Informationen zu

- Fortbildungsveranstaltungen des HLUG
- Schriftenreihe Umwelt und Geologie des HLUG

## 1. Hessischer Klimaschutz-Workshop – Frankfurt/Main

Nach Prognosen des IPCC wird die mittlere globale Temperatur bis zum Jahr 2100 um 1,4 bis 5,8 Grad ansteigen. Dies wird weit reichende Auswirkungen in den Bereichen

- Landnutzung/Landwirtschaft
- Infrastruktur
- Gesundheit
- Biodiversität

haben und noch nicht überschaubare Kosten verursachen.

Auf der UN-Klimaschutzkonferenz in Marrakesch (COP 7) wurde schließlich eine Einigung in bisher noch offenen Verfahrensfragen der Anwendung des Kyoto-Protokolls erzielt. Immer mehr Staaten ratifizieren derzeit den Vertrag. Auch die Mitgliedstaaten der EU haben die Ratifizierung kürzlich beschlossen. Die Chancen des in Kraft tretens im Jahr 2002 sind deshalb groß. Damit wird die Möglichkeit eröffnet, einen ersten Schritt zur Verringerung der klimawirksamen Gase zu unternehmen und künftig weitere Beeinträchtigungen zu vermeiden.

Während viele globale Auswirkungen der Treibhausgasemissionen bereits mit hoher Wahrscheinlichkeit angegeben werden können, sind die Veränderungen auf regionaler Ebene nicht gleichermaßen sicher – eine schwierige Situation für die Bundesländer, die geeignete Maßnahmen ergreifen wollen, um eine weitere Erwärmung zu verhindern und ihre Bevölkerung vor den nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung zu schützen.

Im Auftrag des Hessischen Umweltministeriums wird das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie künftig jährlich einen Hessischen Klimaschutz-Workshop organisieren. Damit sollen regionale Arbeiten und Projekte zu Klimaszenarien, zum Monitoring, zur Minderung der Emissionen klimaschädlicher Gase, zu den Flexiblen Mechanismen und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels aus Hessen und anderen Bundesländern vorgestellt und mit Fachleuten bzw. Interessierten aus Behörden, Wirtschaft und Organisationen diskutiert werden. Ein themenoffener Block am Ende des Workshops soll die Möglichkeit bieten, Anregungen einzubringen und sich dazu auszutauschen.

## Programm

9:45 Uhr	Begrüßung
10:00 Uhr	Einführung in die Hessische Klimaschutzpolitik R. Schweer, HMULF
10:15 Uhr	Ergebnisse des Planspiels zum CO <sub>2</sub> -Emissionshandel in Hessen R. Schweer, HMULF
10:50 Uhr	Der Hessische Klimaschutz-Monitor Dr. H. Wolf, HLUG
11:20 Uhr	Treibhausgas-Emissionen aus Landnutzung in Hessen Prof. Dr. J. Alcamo, Uni Kassel
12:00 Uhr	Mittagspause
13:00 Uhr	Auswirkungen erhöhter CO <sub>2</sub> -Konzentration auf Spurengasflüsse aus einem Grünland-Ökosystem Dr. C. Kammann, Uni Gießen
13:40 Uhr	Wirkung von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt – Aufbau eines Monitoringprogramms in Baden-Württemberg Dr. H. Gebhardt, LfU
14:20 Uhr	Pause
14:40 Uhr	Simulation der Klimaänderung in Sachsen unter einem 2 x CO <sub>2</sub> -Szenario W. Küchler, SLUG
15:20 Uhr	Diskussionsrunde: Vorschläge für Hessen/Möglichkeiten der Länderkooperation
16:15 Uhr	Ende der Veranstaltung

Anmeldung zum 1. Hessischen Klimaschutz-Workshop – Veranstalter vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten am 19. September 2002 im Sitzungsraum des Regierungspräsidiums Darmstadt – Abteilung Staatliches Umweltamt Frankfurt, Gutleutstraße 114, 60327 Frankfurt

**Teilnehmerinnen/Teilnehmer:**

Name, Vorname, Dienststelle mit Adresse, Telefonnummer.

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

ja  nein

ja  nein

Eintrag in eine öffentliche Teilnehmerliste?

, den 2002

Unterschrift

**Ergebnisse des Planspiels zum CO<sub>2</sub>-Emissionshandel in  
Hessen und Erläuterungen zum Hessen-Tender**

**Rüdiger Schweer**

**Hessisches Ministerium für Umwelt,  
Landwirtschaft und Forsten**

**Kontaktinformationen**

**Tel.: (0611) 815-1543**

**E-Mail: [r.schweer@mulf.hessen.de](mailto:r.schweer@mulf.hessen.de)**

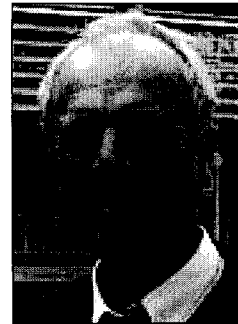
## Der "Hessen-Tender" - Ausgestaltung der hessischen Marktinitiative für den Kauf von Emissionsvermeidungszertifikaten

**Rüdiger Schweer,  
Referatsleiter Klimaschutz  
Hessisches Ministerium für Umwelt,  
Landwirtschaft und Forsten**

### 1. Der Hintergrund für die hessische Marktinitiative zum Emissionshandel

Der Handel mit Treibhausgasen stellt im Kyoto Protokoll neben den Mechanismen des "Joint Implementation" und dem "Clean Development Mechanism" eine tragende Säule für eine marktorientierte Klimaschutzpolitik dar. Die Beratungen im Bundesrat und Bundestag zum Ratifizierungsgesetz ergaben, wie auch im EU-Ministerrat, ein einheitliches Votum für die jetzt geplante Ratifizierung des Kyoto Protokolls. Gleichzeitig will die EU im 6. Rahmenprogramm zur Umweltpolitik den Klimaschutz als eine zentrale Zukunftsaufgabe aufnehmen.

Dabei will die EU auch den Emissionshandel als wesentliches Instrument für einen wirtschaftlichen und kostengünstigen Klimaschutz verankern. Voraussichtlich werden die EU und die Bundesrepublik das Kyoto Protokoll noch in diesem Jahr ratifizieren.



Nach der Veröffentlichung des Grünbuchs der EU zum Emissionshandel (April 2000) und den Vorbereitungen für eine entsprechende EG Richtlinie (23.10.2001) ist eine Verabschiedung unter der dänischen Präsidentschaft bis Ende 2002 wahrscheinlich. Der EU-Richtlinienentwurf zum Handel mit Emissionsberechtigungen für Treibhausgase sieht vor, dass energieintensive Betriebe (Raffinerien, Stahl, Zement, Keramik, Ziegel, Glas, Papier und Zellstoff) sowie Anlagen der Energiewirtschaft ab 20 MW Feuerleistung in einen europaweiten Emissionshandel einbezogen werden. Die EU Richtlinie zum Emissionshandel soll bis Ende 2003 in nationales Recht umgesetzt sein und Anfang 2005 in Kraft treten.

Emissionshandel, wie er heute bereits bei Unternehmen wie BP und Shell praktiziert wird, kann zu niedrigsten Grenzkosten (ca. 8 bis 12 USD / t CO<sub>2</sub> bei BP, wobei durchschnittliche Vermeidungskosten in Europa bei ca. 70 bis 100 USD / t CO<sub>2</sub> liegen) CO<sub>2</sub>-Vermeidungsmaßnahmen bereitstellen. Diese in der ökonomischen Theorie seit den 70iger Jahren empfohlene Orientierung für einen marktwirtschaftlich organisierten Umweltschutz wurde in verschiedenen Studien der EU untermauert. Demnach soll der Emissionshandel um ca. 25% geringere volkswirtschaftliche Kosten verursachen, als vergleichbare ordnungs- oder steuerrechtliche Instrumente.

Der Emissionshandel mit dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> wird derzeit in Großbritannien und Dänemark praktisch erprobt. In Großbritannien wird der Emissionshandel in zwei Sparten aufgebaut. In einer Auktion von 215 Mio Pfund verpflichteten sich 34 Unternehmen (darunter Blue Circle (Zement), British Airways, BP, Dalkia, Dupont (Chemie), Ford, Motorola, Rolls-Royce, Shell, UK Coal Mining, etc.) gegenüber der Regierung zur Vermeidung von ca. 4 Mio Tonnen CO<sub>2</sub> bis 2006. Hierfür akzeptieren die Unternehmen ein individuelles "cap". In einem zweiten Strang können Unternehmen einen 80% Nachlass auf die

## Der "Hessen-Tender"

- Ausgestaltung der hessischen Marktinitiative für den Kauf von Emissionsvermeidungszertifikaten

Rüdiger Schweer

"climate change levy" (Klimaschutzabgabe) erhalten, wenn sie sich am Emissionshandel beteiligen. Hier können auch spezifische Minderungen, die jährlich abgerechnet werden, vereinbart werden. Nähere Informationen hierzu über [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk). In Dänemark beteiligen sich neun Energieversorger an einer gemeinsamen Selbstverpflichtung mit Emissionshandelsaustausch. In den Niederlanden, Frankreich und Norwegen werden Emissionshandelsinitiativen vorbereitet. In der Bundesrepublik will eine nationale Emissionshandelsgruppe der Bundesregierung unter Beteiligung von 30 Unternehmen, 9 Industrieverbänden und den Landesregierungen aus Rheinland-Pfalz und Hessen einen Handlungsrahmen für die Einführung eines Emissionshandelssystems vorlegen.

Nach Ansicht von Experten ergeben sich für Dienstleister und Technologieunternehmen attraktive Geschäftschancen. Auch Unternehmen im energieintensiven Bereich können bei richtiger Ausgestaltung der Instrumente durch vorausschauendes Handeln profitieren. Nach verschiedenen Quellen soll der weltweite Markt für CO<sub>2</sub>-Zertifikate bis 2010 ein Volumen von 30 bis 100 Mdr. USD erreichen können. Voraussetzung hierfür wäre allerdings auch die Teilnahme der USA und Australiens.

Entscheidend für die Entwicklung eines funktionsfähigen Marktes ist die vernünftige Ausgestaltung des EU-Richtlinienentwurfs zum Handel mit Emissionsrechten für Treibhausgase, in Vorbereitung eines Handels mit Emissionsrechten und garantierten Emissionsminderungen zwischen Staaten und Unternehmen ab 2008. Hier wird innerhalb der EU besonderer Wert auf eine Harmonisierung der nationalen Systeme zu legen sein, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden.

Wichtig sind insbesondere allgemeine Grundlagen für die Erstzuteilung von Zertifikaten unter Berücksichtigung von Vorleistungen, die eine verteilungsgerechte Anreizstruktur mit Transparenz und Akzeptanz verbinden. Die kritischen Äußerungen von BDI und VCI zum EU-Richtlinienentwurf sind insoweit verständlich, als in diesen wesentlichen Punkten noch erhebliche Spielräume für die Mitgliedstaaten vorhanden sind. Unter dem Aspekt der großen Vorleistungen (die Bundesrepublik stellt ca. 70% der CO<sub>2</sub> Minderungen im "burden sharing") sollte nicht nur ein frühes Basijahr (1990 bis 1992) berücksichtigt werden und der sofortige Einbezug von JI und CDM, sondern auch die Möglichkeit weiterer kostenfreier Zuteilungen an Zertifikaten in Mitgliedstaaten, die ihre Kyoto Verpflichtungen bereits weitgehend erfüllt haben. Für Branchen mit nachweislich erfüllten Selbstverpflichtungen sollten konditionierte "opt in / opt out" Lösungen bestehen. Die Einbettung in nationale und internationalen Klimaschutzinstrumente sowie die Harmonisierung der Allokations-, Transaktions-, und Nachweisregeln muss in einer Pilotphase sorgfältig erprobt werden.

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass Emissionshandel im Wesentlichen auf freiwilliger Beteiligung der Wirtschaft und der wesentlichen Akteure beruhen sollte. Voraussetzung ist die Akzeptanz und die realitätsnahe Durchführung von Projekten, die in einer tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Vermeidung münden.

---

## Der "Hessen-Tender"

### Ausgestaltung der hessischen Marktinitiative für den Kauf von Emissionsvermeidungszertifikaten

---

#### 2. Hessische Aktivitäten zum Emissionshandel

Das gemeinsam mit der Deutschen Ausgleichsbank und acht hessischen Unternehmen durchgeführte hessische Planspiel hat positive Ergebnisse für eine Testphase zum Emissionshandel erbracht. Die Transaktionskosten für einen Einstieg der Unternehmen in einen CO<sub>2</sub>-Emissionshandel lagen deutlich unter 1% der Energiekosten, die Kaufoptionen für Zertifikate waren in der Regel erheblich günstiger als die Durchführung von Maßnahmen am eigenen Standort und mittelständischen Unternehmen könnten bei geeigneter Standardisierung eine wichtige Rolle spielen.

Acht mittlere und große hessische Unternehmen mit einem Umsatz von 14,5 Mrd. DM und einem Anteil von ca. 5% der hessischen CO<sub>2</sub>-Emissionen hatten sich an dem Planspiel beteiligt, einer Gemeinschaftsinitiative des Hessischen Umweltministeriums und der Deutschen Ausgleichsbank (DtA). Das Planspiel zielte darauf ab, realistische Rahmenbedingungen für ein funktionierendes Handelssystem zu simulieren und insbesondere die beteiligten Unternehmen auf der praktischen Ebene für die Teilnahme an einem solchen System zu befähigen.

#### Wesentliche Ergebnisse waren:

- erstmals wurde ein Handwerkszeug für konkrete Transaktionen im Emissionshandel entwickelt und erprobt (Emissionsinventare, Vermeidungsmaßnahmen und -kosten, Emissionsprognosen und Handlungsstrategien)
- 1,31 Mio. t CO<sub>2</sub> konnten als handelbar erkannt werden (12 Jahre)
- Unternehmen wollen aufgrund des Planspiels ca. 135.000 t/CO<sub>2</sub> auch ohne Zertifikatehandel einsparen (12 Jahre)
- die Einstiegskosten in ein Handelssystem sind mit < 1% der jährlichen Energiekosten für die Unternehmen vergleichsweise niedrig ausgefallen
- die Teilnahme an einem Handelssystem ist auch für mittlere Unternehmen möglich
- in der Spitze fallen im Emissionshandel bis zu 90% geringere Kosten zur Emissionsvermeidung an als bei Eigenvorname.

Die beteiligten acht hessischen Unternehmen, darunter der Chemie- und Pharmabetrieb Merck KG, die kommunalen Stadtwerke ESWE Wiesbaden, der Regionalversorger HEAG, die Fraport AG, der Windparkentwickler NEVAG und der Baustoffhersteller Knauf begrüßten die praxisnahe Durchführung des Planspiels.

Projekte zu den Kyoto-Instrumenten (Emissionshandel, Joint Implementation), sollen weiterhin eine wichtige Rolle in der Hessischen Klimaschutzstrategie spielen. So wird derzeit mit der Fa. Viessmann ein Projekt zur Sanierung von Heizzentralen in Jaroslavl (Rußland) durchgeführt, mit dem die Anerkennung als Joint Implementation erprobt wird.



## Der "Hessen-Tender"

- Ausgestaltung der hessischen Marktinitiative für den Kauf von Emissionsvermeidungszertifikaten

Rüdiger Schweer

### 3. Der "Hessen-Tender" - Marktinitiative für den Kauf von Emissionsvermeidungszertifikaten

Die Ergebnisse des Planspiels haben das HMULF ermutigt, einen weiteren Schritt zur Konkretisierung von Handelsaktivitäten zu unternehmen. Das im Planspiel erarbeitete Handwerkszeug zur Erstellung von Emissionsinventaren und Prognosen soll genutzt werden, um einen "Hessen-Tender" gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft im Sommer diesen Jahres aufzulegen. Mit dem Höchster Unternehmen Infraseriv aus dem Bereich der Chemie, mit dem Telekom AG aus dem Bereich der Telekommunikationsdienstleistungen, mit der Deutschen Börse / xlaunch AG, der Dresdner Bank AG aus dem Finanzsektor und dem Kooperationspartner Deutsche Ausgleichsbank als staatlicher Förderbank ergibt sich eine starke Partnerschaft und ein positiver Impuls für den Standort Hessen. In dem Ausschreibungsverfahren werden die Partner innerhalb einer bestimmten Preisspanne garantierte CO<sub>2</sub> Minderungen für einen Fünfjahres-Zeitraum ab 2005 erwerben.

Das Pilotverfahren soll einen Beitrag zur Erweiterung des Instrumentenkatalogs der Hessischen Klimapolitik leisten und hessische Unternehmen auf neue umweltpolitische Entwicklungen sowie die damit verbundenen Geschäftschancen vorbereiten. Der "Hessen-Tender" stellt als P&D Projekt erstens einen Beitrag zur Verfahrensentwicklung für Arbeitshilfen in den Bereichen Emissionshandel (ET) und ggf. Joint Implementation (JI) dar. Zweitens ergibt sich aus dem Ausschreibungsverfahren ein erster Markttest für aktuelle Zertifikatpreise im Vorfeld eines EU-weiten Emissionshandels.

Für die Landesregierung und die beteiligten Projektpartner besteht darüber hinaus die Möglichkeit, die in dem Tender-Verfahren gewonnenen Zertifikate zur Entlastung der jeweiligen eigenen CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verwenden. Die gewonnenen Standards sollen dazu dienen, die Qualität von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten zu sichern und für die praktische Anwendung verfügbar zu machen. Zur Teilnahme an dem Auktionsverfahren "Hessen-Tender" sind auch Unternehmen aus anderen Bundesländern eingeladen, wenn sie eine Niederlassung in Hessen besitzen oder Projekte in Hessen durchführen wollen.

Das Ausschreibungsverfahren im "Hessen-Tender" bezieht sich auf den Erwerb von CO<sub>2</sub>-Reduktionen in einem Fünfjahres-Zeitraum ab 2005. Die für diesen Zeitraum angebotenen Mengen sollen innerhalb einer vorgegebenen Preisspanne von 2 EUR bis 10 EUR nach den günstigsten Geboten erworben werden. Um die Beteiligung auch für KMU attraktiv zu gestalten, können CO<sub>2</sub>-Vermeidungsmaßnahmen ab 10.000 EUR pro Bieter angeboten werden. Für JI-Projekte soll ein gewisser Plafond vorgehalten werden. Die CO<sub>2</sub>-Minderungen müssen mit nachweislichen Investitionen in Anlagen verbunden sein. Es steht ein Volumen von 1,3 Mio EUR für die Auktion zur Verfügung. Diese Mittel wurden zu jeweils ca. 50% von der Wirtschaft und dem hessischen Umweltministerium aufgebracht.

---

## Der "Hessen-Tender"

- Ausgestaltung der hessischen Marktinitiative für den Kauf von Emissionsvermeidungszertifikaten

---

Das Ausschreibungsverfahren richtet sich an hessische Unternehmen oder an Unternehmen mit Standorten in Hessen oder solche, die von hessischen Standorten aus JI-Projekte initiieren. Dem Verfahren wird eine Interessebekundung vorgeschaltet. Die Mindestgröße für Gebote liegt bei 10.000 EUR, die Höchstgrenze bei 100.000 EUR. Es werden keine Senkenprojekte aufgekauft, bis der wissenschaftliche Stand der Bewertung solcher Projekte bezüglich Nachhaltigkeit und Messbarkeit eindeutig geklärt ist.

Im Auktionsverfahren sollen zunächst bis zu 60% der angebotenen CO<sub>2</sub>-Zertifikate pro Bieter erworben werden. Da 100% der angebotenen Emissionsminderungen zertifiziert werden, können 40% der Zertifikate als Zukaufsoption an Dritte vom Bieter veräußert werden. Dieser Käufer hat den Vorteil, schon zertifizierte und validierte CO<sub>2</sub>-Zertifikate erwerben zu können.

Das Tender-Verfahren orientiert sich an dem niederländischen ERUPT-Programm. Um Schnittstellen zum JI und der freiwilligen Selbstverpflichtung zu entwickeln, ist bei der Ausarbeitung der Bewertungskriterien auf die "Zusätzlichkeit" von CO<sub>2</sub>-Vermeidungsmaßnahmen und die Flexibilität der Standortwahl für die Umsetzung großen Wert zu legen. Projekte, die bereits nach dem EEG oder anderen nationalen Förderprogrammen im Rahmen direkter Zuwendungen unterstützt werden, können nur mit einem begrenzten Teil der erbrachten CO<sub>2</sub>-Minderungsleistung anerkannt werden.

Die Zertifikate zur garantierten CO<sub>2</sub>-Vermeidung unterliegen einer Zertifizierung, Validierung und einem Monitoring nach internationalen Standards (PCF, ERUPT, UK-ETG, IETA). Diese Standards zu adaptieren und zu vereinfachen ist eine wesentliche Aufgabe des Pilotverfahrens.

### **Die Projektabwicklung teilt sich in die Phasen**

- Programmentwurf
- Entwicklung der Ausschreibungsunterlagen
- Ausschreibung und Bewertung der Gebote
- Auktion
- Nachweis und vereinfachtes Monitoring

Die Ausschreibung ist für 06/2002 vorgesehen mit einer Bieterfrist nach einem Interessebekundungsverfahren. Nach Prüfung der Gebote kann die Auktion in 12/2002 erfolgen. In einer Abschlussveranstaltung soll Ende Januar 2003 das Gesamtprojekt mit den Partnern präsentiert werden.



	<h1>Hessen-Tender</h1> <h2>Initiative für den Ankauf von CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen</h2>			
	<b>Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie</b> <b>19. September 2002</b>			
   				

  
 Hessisches Ministerium  
 für Umwelt, Landwirtschaft  
 und Forsten  
[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

  
**DtA**  
 Deutsche Anlagengesellschaft  
 für Wertpapierhandel

  
  
  
  
 ERM  
 Lahmeyer  
 international

## Inhalt

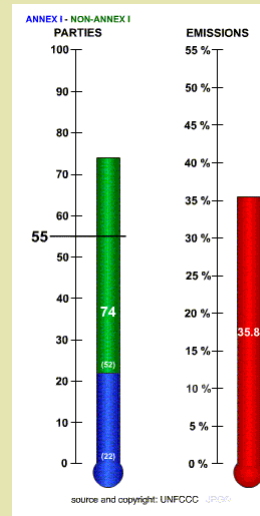
- **Einführung in den Emissionshandel als Rahmen für den Hessen-Tender (Herrn Rüdiger Schweer, HMULF)**
  - Kyoto-Protokoll
  - EU-Richtlinienentwurf
  - Marktübersicht
- **Details zum Hessen-Tender**
  - Ziele
  - Kurzübersicht
  - Teilnahmebedingungen
  - Zeitverlauf
  - Rahmendaten
  - Nächste Schritte

2

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Das Kyoto-Protokoll

- **Kyoto-Protokoll von 1997 auf Basis der Klimarahmenkonvention (UNFCCC)**
- **Ziel: Reduzierung der Treibhausgase um 5,2% auf Basis von 1990 zwischen 2008 und 2012**
- **EU hat 8% und Deutschland im „burden sharing“ 21% als Ziel für Kyoto**
- **Ratifizierung von EU und Deutschland im Juni 2002**



3

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

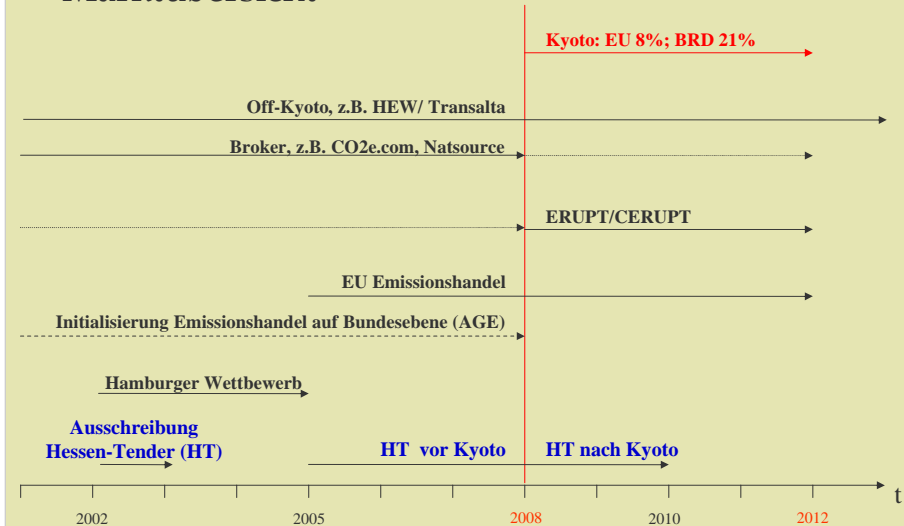
## Richtlinienentwurf zum EU-Emissionshandel

- **Verbindliche Teilnahme für Mitgliedsstaaten**
- **Zuerst nur CO<sub>2</sub>, später andere Kyotogase**
- **Bezug auf energieintensive Anlagen (ca. 5000 Anlagen in EU)**
  - Anlagen > 20 MW<sub>th</sub>
  - Mineralö Raffinerien
  - Eisenmetallerzeugung und -verarbeitung
  - Mineralverarbeitende Industrie
  - Papierindustrie
- **Einführungsphase 2005-2007, dann Fünfjahresphasen ab 2008**
- **46% der geschätzten CO<sub>2</sub> Emissionen der EU in 2010 sind erfasst**

4

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Marktübersicht



5

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Markteinschätzung: Nachfragepreise

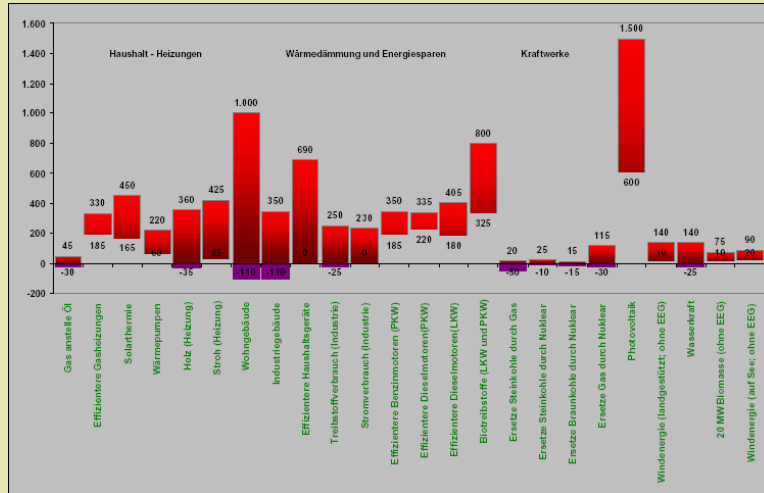
Markt	Preisband
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Weltmarkt (Prognose für 2010*)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>0% Hot Air Handel</li> <li>10% Hot Air Handel</li> <li>ab 45% Hot Air Handel</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>US\$ (Basis 1995) 23</li> <li>US\$ (Basis 1995) 17</li> <li>US\$ (Basis 1995) 0</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Weltmarkt (Prognose**)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>US\$ 1-5</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ERUPT (2. Phase)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>€ 2-5</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>CO2E.COM (Aktuelle Gebote)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>pre 2008 nicht CDM Projekte</li> <li>Für Jahrgänge ab 2000 (CDM), 2008 (JI) des Projektlands und guten Vorzügen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- CDM Projekte mit Genehmigung</li> <li>- JI Projekte</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>US\$ 1,50</li> <li>US\$ 5-6</li> <li>US\$ 8</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Hessentender</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>€ 2-10</li> </ul>

\*Quelle: IEPE / After the Hague, Bonn and Marrakech: The future international market for emissions permits and the issue of hot air / Januar 2002  
 \*\*Quelle: HWWA / HWWA Discussion Paper 152 / Axel Michaelowa Rio, Kyoto, Marrakesh – groundrules for the global climate policy regime / 2001

6

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Grenzkosten einiger Minderungsprojekte



Quelle: E.ON Sales & Trading, Stefan Ulreich; FORUM, Institut für Management

7

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Kosten für CO<sub>2</sub> Minderungen

- BDI 200 €/ CO<sub>2</sub>
- Uni St. Gallen 70 bis 100 US\$ / CO<sub>2</sub>
- EU Kommission ca. 20 €/ CO<sub>2</sub>
- CERUPT NL 4,95 €/ CO<sub>2</sub>
- ERUPT NL ??? / CO<sub>2</sub>
- Hessisches Planspiel  
zum CO<sub>2</sub> Emissionshandel -70 bis 75 €/ CO<sub>2</sub>

8

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Ziele des Pilot- & Demonstrationsvorhabens Hessen-Tender

- **Anwendung und Weiterentwicklung von Handwerkszeug aus dem hessischen „CO<sub>2</sub> Planspiel“**
- **Erprobung von Zertifizierungs- und Monitoringverfahren**
- **Einbeziehung des Mittelstands in „Emissionshandel“**
- **Vorbereitung von Unternehmen auf „Carbon Risk Management“**

9

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## CO<sub>2</sub>-Marktinitiative „Hessen-Tender“

- **Ankauf von CO<sub>2</sub>- Minderungen insb. hessischer Unternehmen**
- **Abschluss von Verträgen mit erfolgreichen Anbietern für CO<sub>2</sub>- Minderungen im Zeitraum von 2005 bis Ende 2009**
- **Höchstmenge pro Ankauf 50.000 Tonnen (mind. 2.500 t)**
- **Umfang des Hessen-Tenders: 1,3 Millionen EURO**
- **Verifizierung und Zertifizierung der Einsparungen durch unabhängige Prüfungsgesellschaften**
- **Die Käufer: Deutsche Telekom, Dresdner Bank, Infraser v Höchst und das HMULF; Treuhänder ist die Deutsche Ausgleichsbank (DtA); Projektpartner xlaunch**

10

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)



## Teilnahmenbedingungen I

- **Wer kann teilnehmen?**  
Insb. hessische Unternehmen, aber auch bundesdeutsche Unternehmen
- **Aus welchen Projektkategorien werden Emissionsminderungen erworben?**  
Erhöhung der Energieeffizienz, Brennstoffwechsel, Bauliche Maßnahmen (z.B. Wärmedämmung, optimierte Belüftung), Nutzung erneuerbarer Energien

11

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Teilnahmenbedingungen II

- **Für welche Gase werden Minderungsgarantien erworben?**  
CO<sub>2</sub> Emissionen (direkt/indirekt) sowie CH<sub>4</sub> Emissionen für JI Projekte
- **Inwieweit müssen die Minderungen zusätzlich sein?**  
Zusätzlichkeit zu behördlich geforderten Maßnahmen, keine überwiegende Finanzierung durch Förderprogramme

12

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)


## Vorprüfung/Verifizierung/Zertifizierung

- Alle Prüfungen sollen vom Zertifizierer-Pool des Hessen-Tenders durchgeführt werden
- Die Zertifizierer des Pools sind akkreditierte Prüfungsgesellschaften
- Vorprüfung der Angebote (bis 15.11.2002)
- Verifizierung und Zertifizierung der Emissionsminderungen (2006 und 2010)
- Die Kosten für alle Prüfungen werden vom anbietenden Unternehmen übernommen

13

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Zeitverlauf Hessen-Tender (Ausschreibungsunterlagen)



1	Aufforderung zur Übermittlung der Projektvorschläge	06/02
2	Projektvorschlag (bis 10.9.2002)	06/02-09/02
3	Auswertung der Projektvorschläge und Aufforderung zur Erstellung von Projektangeboten (bis 30.09.2002)	09/02
4	Projektangebot (bis 15.11.2002)	09/02-11/02
5	Auswertung der Projektangebote und Aufforderung zur Teilnahme an der Auktion	11/02- 12/02
6	Auktion, Vertragsabschluss und Vorabzahlung (Auktion am 12.12.2002)	12/02-12/04
7	Realisierung der Projekte (spätestens 31.12.04)	01/03-12/04
8	Monitoring der Emissionsminderungen	01/05-02/10
9	Verifizierung/Zertifizierung	01/06-02/10
10	Übereignung der Zertifikate und Schlusszahlung	01/06- 04/10

14

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

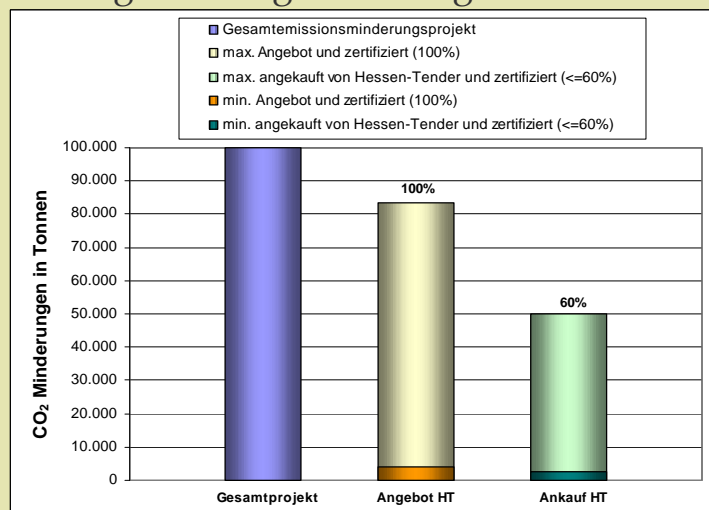
## Rahmendaten für den Hessen-Tender

- Berücksichtigung direkter und indirekter CO<sub>2</sub>-Emissionen
- CH<sub>4</sub>-Emissionen nur für Joint Implementation Projekte
- Keine Prozessemissionen, keine mobilen Quellen
- Gesamtumfang des Fonds 1.300.000 EURO
- Mindestankaufsgröße: 2.500 tCO<sub>2</sub> bzw. 5.000 EURO
- Höchstankaufsgröße: 50.000 tCO<sub>2</sub> bzw. 100.000 EURO
- Preisspanne: 2 bis 10 EURO/tCO<sub>2</sub>

15

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Größtmögliche Angebotsmenge



16

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## Nächste Schritte

- **Weiterführende Informationen unter [www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)**
- **Fristen:**
  - Projektvorschlag bis 10.9.2002
  - Projektangebot bis 15.11.2002
  - Projektrealisierung spätestens am 31.12.2004
- **Ansprechpartner und Fragen zu:**
  - Hessen-Tender allgemein: Geschäftsstelle HMULF
  - Verfahrensablauf: Treuhänder DtA
  - Projektvorschlag und -angebot: ERM-LI

17

[www.hessen-tender.de](http://www.hessen-tender.de)

## **Der Hessische Klimaschutz-Monitor**

**Dr. Helmut Wolf**

**Hessisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie**

### **Kontaktinformationen**

**Tel.: (0611) 6939-276**

**E-Mail: [h.wolf@hlug.de](mailto:h.wolf@hlug.de)**

# Der Hessische Klimaschutz-Monitor

Dr. Helmut Wolf – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Der Hessische Klimaschutz-Monitor ist zweierlei:

1. Ein Dokument, das auf Wunsch des Hessischen Umweltministeriums erstmals im Mai 2000 entstanden ist und seit dem vierteljährlich aktualisiert wird und
2. Die Bezeichnung für die Klimaschutz-Internet-Seiten des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie.

Da das Dokument als Download auf den Internet-Seiten verfügbar ist, wird es an passender Stelle der folgenden Beschreibung des Internet-Auftritts erwähnt.

Die Internet-Homepage des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) ist zu erreichen über <http://www.hlug.de>. Über den Link Luft gelangt man zur Seite „Luftreinhaltung“. Dort erreicht man die Klimaschutz-Informationen durch Anklicken des Links Klimaschutz. Alternativ kann man über <http://www.hlug.de/medien/klima/index.htm> direkt zu dieser Seite gelangen.

Von dort führen vier Links weiter zu

- **Klimagas-Informationen** aus Hessen, anderen Bundesländern und des Bundes
- **Downloads** wichtiger Dokumente
- einer **Linkliste** und
- einem **Diskussionsforum**.

Die Klimaschutz-Seiten werden vierteljährlich aktualisiert und zwar zum 15. Januar, 15. April, 15. Juli und 15. Oktober des Jahres.

Die **Klimagas-Informationen** werden nach Verfügbarkeit aktualisiert. Dabei werden eigene Daten aus den Emissionskatastern, die ebenfalls beim HLUG geführt werden, verwendet. Ferner werden im Internet verfügbare Informationen ausgewertet sowie Mitteilungen aus den Ländern im Rahmen der Zusammenarbeit bei der Weiterentwicklung der Emissionskataster verwendet.

Auf der **Downloads**-Seite werden wichtige Dokumente zum Klimaschutz als PDF-Files angeboten. Beispielsweise die Klimarahmenkonvention und das Kyoto-Protokoll. Auch die Dokumentenversion des Klimaschutz-Monitors (s.o.) ist hier verfügbar. In diesem über 90 Seiten starken Papier, das ebenfalls vierteljährlich überarbeitet wird, werden in 6 Kapiteln Informationen zum Klimaschutz angeboten:

Das *erste Kapitel* widmet sich den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Bundes und der Bundesländer, im *zweiten* sind Berichte zu Klimafolgen für Regionen unter klimaökologischen und volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten aufgeführt. Das *dritte Kapitel* gibt einen Überblick zu nationalen und internationalen Abkommen zum Klimaschutz. Das *vierte Kapitel* widmet sich Szenarien zum Klimaschutz und die *letzten beiden Kapitel* enthalten einen Überblick über Institutionen in Hessen und außerhalb Hessens, die sich mit Klimaschutz-Fragen beschäftigen. Ein Literatur- und ein Abkürzungsverzeichnis, ein Glossar sowie ein Stichwortverzeichnis komplettieren das Papier.

Die **Linkliste** führt direkt zu verschiedenen Institutionen, die auf dem Gebiet des Klimaschutzes aktiv sind. Als besonderer Service ist zusätzlich jeweils eine Kurzinformation zu den aufgenommenen Institutionen abrufbar.

Auf der Seite mit dem *Diskussionsforum* sind Diskussionsbeiträge zum Internetauftritt (was kann verbessert werden, welche Informationen sollten aufgenommen/weggelassen werden) sowie zum Klimaschutz in Hessen erbeten und erwünscht.

**Treibhausgas-Emissionen  
aus Landnutzung in Hessen**

**Prof. Dr. Joseph Alcamo**

**Universität Kassel  
Wissenschaftliches Zentrum  
für Umweltsystemforschung**

**Kontaktinformationen**

**Tel.: (0561) 804-3898**

**E-Mail: [alcamo@usf.uni-kassel.de](mailto:alcamo@usf.uni-kassel.de)**



## Treibhausgas-Emissionen aus Landnutzung in Hessen

**Rüdiger Schaldach und Joseph Alcamo**

Zentrum für Umweltsystemforschung, Universität Kassel,  
Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel

### Grundlagen

Im Rahmen des Kiotoprotokolls verpflichtet sich die Europäische Union bis zum Jahr 2010 zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 8 % im Vergleich zu 1990. Bedingt durch den in der EU vereinbarten Lastenausgleich (Burden Sharing), liegt das Minderungsziel für die Bundesrepublik Deutschland sogar bei 21 %.

Das quantitativ wichtigste Treibhausgas stellt dabei Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) dar. 1999 wurden in Hessen über 50.000 t emittiert, wobei Gebäudeheizung, Verkehr und Industrie die Hauptverursacher darstellen. Neben  $\text{CO}_2$  umfasst das Kiotoprotokoll Vereinbarungen zur Minderung der Emissionen der Spurengase Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), FKWs, H-FKWs und  $\text{SF}_6$ . Ihr Emissionsvolumen ist zwar weitaus geringer, sie besitzen jedoch relativ zu  $\text{CO}_2$  ein wesentlich höheres Potenzial, das Energiebudget der Erdatmosphäre zu beeinflussen (Radiative Forcing). So trägt eine Tonne Lachgas soviel wie 296 Tonnen Kohlendioxid zur Erwärmung der Atmosphäre bei, für Methan liegt dieser Faktor bei 23.

### Landnutzung und Treibhausgasemissionen

Auf globaler Ebene beträgt der Anteil des Landnutzungssektors an Methan- und Lachgasemissionen jeweils über 70 %. In Hessen stellen nach Berechnungen des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie (HLUG) die Emissionen aus „biogenen und nichtgefassten Quellen“, zu denen Landnutzung und Landbedeckung zu rechnen sind, im Jahr 1999 sogar einen Anteil von 98 % der gesamten Methanemissionen und ca. 84 % der Lachgasemissionen.

Wichtigste Quellen für Methan in Hessen sind die Nutztierhaltung (u.a. enterische Fermentation) und unter Luftabschluss (anaerobes Milieu) ablaufende mikrobielle Abbauprozesse in Abfalldeponien. Hauptverursacher der Lachgasemissionen ist die Landwirtschaft. Durch den Einsatz von Stickstoffdünger entstehen bei mikrobiellen Prozessen im Boden (Nitrifikation und Denitrifikation) im Mittel wesentlich größere Mengen  $\text{N}_2\text{O}$  als dies unter natürlicher Vegetation der Fall ist.

Dem Landnutzungssektor kommt darüber hinaus auf globaler Ebene eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf zu. Zunächst sind hier die Wälder zu nennen, die  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre entnehmen und in ihre Biomasse einbauen (Photosynthese). Somit können sie, eine entsprechende Bewirtschaftung vorausgesetzt, als Kohlenstoffspeicher fungieren. Des Weiteren können Änderungen der landwirtschaftlichen Nutzung eine Änderung des im Boden gespeicherten Kohlenstoffvorrats nach sich ziehen. Die Umwandlung von intensiv bewirtschafteten Ackerland in Grünland etwa bewirkt über einen Zeitraum von 20 – 30 Jahren eine Vergrößerung des Kohlenstoffvorrats im Boden.

### Quantifizierung von Treibhausgasemissionen aus Landnutzung

Die vorangegangenen Ausführungen machen deutlich, dass der Landnutzungssektor einen wichtigen Faktor bei der Entstehung von Treibhausgasen darstellt. Um diesen Problemkomplex wissenschaftlich aufzuarbeiten, entwickelt das *Wissenschaftliche Zentrum für Umweltsystemforschung der Universität Kassel* gemeinsam mit dem *HLUG* eine modellbasierte Methodik zur räumlichen Abschätzung von

„Quellen und Senken für Treibhausgase aus Landnutzung und Landbedeckung in Hessen“. Diese geht dabei weit über bisherige Praxis, Treibhausgasinventare, z.B. auf Landkreisebene, zu erstellen hinaus.

Hinter dem Vorhaben steht vielmehr der Gedanke, Reduktionsmaßnahmen im Landnutzungssektor auf Ebene eines Bundeslandes für einen Zeithorizont von 20 Jahren strategisch bewerten, planen und schließlich umsetzen zu können. Die Arbeiten sollen eine Grundlage für die weitergehende Untersuchung von Fragen der ökonomischen Bewertung der Kosten von Reduktionsmaßnahmen im Vergleich zu Industrie und Verkehr bilden. Des Weiteren greift das Projekt explizit Fragestellungen zum Senkenpotenzial der Hessischen Forstflächen unter der Prämisse einer Beteiligung am Handel mit Emissionsrechten auf.

Die Methodik implementiert einen dreistufigen Ansatz. Zunächst werden die treibenden Kräfte für die Treibhausgasemissionen identifiziert und quantifiziert. Diese reichen von naturräumlichen Faktoren (Boden, Klima) über Angaben zum Düngereinsatz in der Landwirtschaft bis hin zu Daten über die erzeugte Abfallmenge in Hessen. Ergebnis sind umfangreiche Datenbanken, welche die Entwicklung der treibenden Kräfte über den 20 Jahre Zeithorizont sowohl räumlich als auch zeitlich unter verschiedenen Szenarienannahmen für die zukünftige Entwicklung Hessens beschreiben.

Im zweiten Schritt werden das biophysikalische Prozessmodell CENTURY für Agraröko-systeme und Forsten sowie vom *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) 1996 in ihren *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* vorgestellte Methoden zur Abschätzung von Treibhausgasemissionen bzw. der Kohlenstoffbilanz in Wäldern und Böden an die Hessischen Verhältnisse angepasst. Der dritte Schritt umfasst Simulationsstudien zur räumliche Abschätzung der Treibhausgasemissionen für die untersuchten Szenarien.

Am Ende des Projekts wird eines der ersten Modellsysteme in Europa stehen, das Emissionsmodelle für den Landnutzungssektor auf Basis eines Geographischen Informations-systems implementiert und eine räumliche Abschätzung von Treibhausgasemissionen für Hessen ermöglicht.

### **Vorläufige Ergebnisse**

Erste Ergebnisse, die mit einer prototypischen Version der Methodik für die Jahre 1990 und 1999 generiert wurden, zeigt abermals, dass Methan das wichtigste Treibhausgas im Landnutzungssektor darstellt, die absoluten Methanemissionen im Betrachtungszeitraum jedoch abnehmen. Im Abfallsektor kann dieser Rückgang als positiver Seiteneffekt der Abfallwirtschaftspolitik interpretiert werden (Mülltrennung, Kompostierung). Der Rückgang in der Landwirtschaft lässt sich mit Strukturänderungen im Agrarsektor begründen. Bei den Methanemissionen wirkt sich eine Abnahme der Nutztierzahlen aus.

Gleichzeitig wird weniger landwirtschaftliche Fläche bewirtschaftet (Übergang zu Brache und Grünland), was mit einem geringeren absoluten Düngereinsatz und somit geringeren Lachgasemissionen einher geht. Diese Landnutzungsänderungen bewirken auch eine zusätzliche Festlegung von Kohlenstoff im Boden. Insgesamt konnten Annahmen über eine enge Kopplung zwischen Landnutzung/Landnutzungsänderung und der Entstehung von Treibhausgasemissionen bestätigt werden.

**Auswirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf  
Spurengasflüsse aus einem Grünland-Ökosystem**

**Dr. Claudia Kammann**

**Justus-Liebig Universität Gießen  
Institut für Pflanzenökologie**

**Kontaktinformationen**

**Tel.: (0641) 99-35333**

**E-Mail: [Claudia.I.Kammann@bot2.bio.uni-giessen.de](mailto:Claudia.I.Kammann@bot2.bio.uni-giessen.de)**

# Die Auswirkung steigender atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Flüsse der Klimaspurengase N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> in einem Grünland-Ökosystem

Schriftliche Fassung des Vortrags von Dr. Claudia Kammann  
Institut für Pflanzenökologie (Prof. Dr. Dr. h.c. H.-J. Jäger)  
Justus-Liebig-Universität Gießen

## 1. Einleitung

Menschliche Aktivitäten verändern global und in zunehmendem Ausmaß die Chemie der Atmosphäre und damit das Klima unseres Planeten. An erster Stelle steht der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, die bereits jetzt um 30 % über den Maximalwerten der letzten 300.000 Jahre liegt (280 ppm gegenüber heutigen 370 ppm, ALBRITTON *et al.* 2001). Über die CO<sub>2</sub>-Wirkung auf die Ökophysiologie der (Einzel-)Pflanzen bestehen aufgrund der Forschungsaktivitäten der letzten rund 20 Jahre mittlerweile relativ umfangreiche Kenntnisse. Die langfristigen Auswirkungen der steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Kreisläufe der Elemente C und N auf komplexer, ökosystemarer Ebene werden dagegen erst seit kurzer Zeit untersucht, wobei sich die Anzahl der längerfristigen Freilandstudien (mehrere Jahre) an naturnahen Ökosystemen weltweit noch auf eine Handvoll beschränkt (Körner 2000). Solche Untersuchungen sind aber nötig, um Modelle und Modellvorstellungen zu validieren, die versuchen, die Änderungen der globalen C- und N-Kreisläufe und –Speicherung in Ökosystemen abzubilden und somit prognostizierbar zu machen. Ein Beispiel: Artenverschiebungen, wie z.B. das Einwandern von Sträuchern in native Grasländer, können die C-Speicherfähigkeit eines Ökosystems – anders als bisher angenommen – deutlich herabsetzen (JACKSON *et al.* 2002).

Außer Kohlendioxid existieren weitere, stark klimawirksame Spurengase, von denen zwei zumindest teilweise biologisch produziert bzw. konsumiert werden: Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>). Lachgas, aktuell mit einer Konzentration von 314 ppb in der Atmosphäre enthalten, ist über 300 mal so stark klimawirksam wie CO<sub>2</sub> (pro Mol, Zeithorizont 100 Jahre). Es wird zu über 90 % durch die biologischen Prozesse Nitrifikation und Denitrifikation in Böden und Gewässern produziert. Seine einzige Senke sind physikalisch-chemische Abbauprozesse in der Stratosphäre, bei denen der N<sub>2</sub>O-Abbau gleichzeitig zur Ozonzerstörung beiträgt. Methan besitzt ein 21 mal so großes Erwärmungspotential wie CO<sub>2</sub>. Die aktuelle atmosphärische CH<sub>4</sub>-Konzentration liegt mit derzeit 1745 ppb weit über den mittleren Werten vergangener Interglaziale (Zwischeneinszeiten) von 700 ppb, wobei die Konzentration, ebenso wie die von CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O, durch menschliche Aktivitäten beständig weiter steigt (ALBRITTON *et al.* 2001). Etwa 75 % der globalen Methanemissionen sind biologischen Ursprungs und gehen auf die Aktivität anaerober, methanogener Archaeobakterien zurück (Sümpfe, Moore, Reisfelder u.a. Feuchtgebiete, Mülldeponien, Pansen der Wiederkäuer usw.). Der größte Teil des atmosphärischen Methans wird durch chemische Reaktionen mit OH-Radikalen in der Troposphäre wieder abgebaut, ein geringerer Teil dagegen durch die biologische Methanoxidation in aeroben Böden. Der Prozess der Methanoxidation ist aber nicht nur als Senke, sondern auch als "Biofilter" von Bedeutung, da

in anaeroben Tiefen produziertes, aufsteigendes CH<sub>4</sub> in den obersten Bodenhorizonten oxidiert wird, bevor es in die Atmosphäre entweichen kann (WHALEN & REEBURGH 1996).

Die Wirkung des steigenden atmosphärischen CO<sub>2</sub> auf die mikrobiellen Spurengas-produzierenden oder konsumierenden Prozesse im Boden, die eng mit den C- und N-Umsatzprozessen im Ökosystem gekoppelt sind, kann praktisch nur indirekt über die Pflanzen vermittelt erfolgen (SCHIMMEL & GULLEDGE 1998; NORBY & JACKSON 2000).

Erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bewirken:

- Verstärktes oberirdisches und unterirdisches Biomasse-Wachstum bei langfristig erhöhten Netto-Photosynteseraten
- Verbesserte Wassernutzungseffizienz (WUE, *water use efficiency*), wodurch sich bisweilen der Bodenwassergehalt erhöht; ein gesteigertes CO<sub>2</sub>-Angebot bewirkt stärker geschlossene Stomata und daher einen geringeren Wasserverlust bei gleichem oder höherem Kohlenstoffgewinn.
- Verringerte Stickstoffkonzentrationen im Pflanzengewebe (auf Gewichtsbasis bezogen) und dadurch u.U. eine veränderte Streuqualität sowie veränderte N-Umsatzprozesse.
- Oft stark gesteigerte Abgabe niedermolekularer, leicht abbaubarer Kohlenstoffverbindungen in den Wurzelraum (Wurzelexudation), wodurch sich die Zusammensetzung der (Rhizospäre-nahen) Bodenmikroflora verändern kann. Vor allem der pilzliche Symbiosepartner vieler Pflanzenarten, die Mykorrhiza, kann hiervon profitieren und seinerseits für eine verbesserte Nährstoffversorgung seiner Wirtspflanzen sorgen.
- Durch die gesteigerte Wurzelexudation sowie das z.T. verstärkte Wurzelwachstum steigt i.d.R. die Bodenatmung an. Ein großer Teil des zusätzlich fixierten Kohlenstoffs kann so dem Ökosystem gleich wieder "verloren gehen".

Daher existieren mannigfaltige Ansatzpunkte, über welche die steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalte auf die mikrobiellen Spurengas-produzierenden Bodenprozesse einwirken könnten (MOSIER 1998). Dieses Potential einer positiven oder negativen Rückkopplung des erhöhten CO<sub>2</sub> auf die Flüsse der Spurengase N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> wurde bislang (unseres Wissens) erst drei mal länger als 9 Tage in Folge oder gar bei wechselnden Witterungsbedingungen (Jahresgänge) im Freiland untersucht (CO<sub>2</sub>-Anreicherung mittels Mini-FACE in einem borealen Moor, SAARNIO *et al.* 2000; Duke-Forrest-FACE, USA, PHILLIPS *et al.* 2001a, PHILLIPS *et al.* 2001b; Open-top-Kammer-Experiment in der Colorado Kurzgras-Steppe, MOSIER *et al.* 2002). Hier besteht nach wie vor Forschungsbedarf.

Die wichtigsten aus der zum Startzeitpunkt unseres Experiments im Mai 1998 vorhandenen Literatur abgeleiteten Arbeitshypothesen sind:

- Nach einer Düngung (mit Ammoniumnitrat in diesem Falle) sollten die N<sub>2</sub>O-Emissionen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> zunehmen, da den Denitrifikanten mehr wurzelbürtiger Kohlenstoff bei gesteigertem N-(Nitrat-)Angebot zur Verfügung steht. Messungen von INESON *et al.* 1998 im Schweizer FACE-Experiment (Intensivgrünland, 9 Tage nach einer Düngung) legen dies nahe.
- Während der Vegetationsperiode könnten die N<sub>2</sub>O-Emissionen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> rückläufig sein, da eine steigende mikrobielle Biomasse zusammen mit einer gesteigerten unter- und oberirdischen Pflanzenbiomasse zu einer N-Immobilisierung (temporären Festlegung) im Boden führen kann – so gefunden von HUNGATE *et al.*

(1997) in Messungen 9 Tage nach simuliertem Niederschlag (Open-Top-Kammern im Kalifornischen mediterranen Grasland)

- Im Winter bzw. während einer Frost-Tau-Periode könnten die  $N_2O$ -Emissionen unter  $CO_2$ -Anreicherung erhöht sein, da in der Boden-Biomasse fixiertes C und N durch Absterbevorgänge frei wird (besonders nach Frost). Hiervon können Denitrifikanten auch im Winter während der Vegetationsruhe (geringere N-Konkurrenz) Gebrauch machen (eigene Messungen während der Frostperiode 1996/1997, KAMMANN *et al.* 1998; MÜLLER *et al.* 2002)
- Die Methanoxidation könnte durch eine steigende Bodenfeuchte zurückgehen – AMBUS & ROBERTSON (1999) erklären ihre Ergebnisse aus 3 Messungen an Pappel-Mikrokosmen unter erhöhten  $CO_2$  auf diese Weise. Eine steigende Bodenfeuchte könnte generell auch die  $N_2O$ -Emissionen aus Denitrifikation fördern.
- Bei Überstauung, hohem Grundwasserstand oder hohen Niederschlägen könnten häufigere bzw. höhere  $CH_4$ -Emissionen auftreten. Gesteigerte  $CH_4$ -Produktion und – Freisetzung aus aquatischen bzw. nassen Ökosystemen unter erhöhtem  $CO_2$  gehört derzeit zu den am besten experimentell abgesicherten Befunden (DACEY *et al.* 1994, Salzmarsch; HUTCHIN *et al.* 1995, Moorboden; MEGONIGAL & SCHLESINGER 1997, Wasserpflanzen).

## 2. Material und Methoden

Das Gießener FACE-Experiment wurde als eine Langzeitstudie mit einer Dauer von mindestens 10 Jahren konzipiert. Es umfasst 3  $CO_2$ -Anreicherungs- und 3 zugehörige Kontrollringe, die im Jahr 1997 auf dem Gelände der "Umweltbeobachtungs- und Klimafolgenforschungsstation Linden" aufgebaut wurden. Seit Mai 1998 wird die  $CO_2$ -Konzentration mit einer neuartigen Freiland-Anreicherungs-Technik ganzjährig während der Tageslichtstunden im Mittel um 20 % erhöht ("Gießen-FACE"; FACE = Free Air Carbon dioxide Enrichment). Das verwendete  $CO_2$  besitzt ein konstantes, abgereichertes  $^{13}C$ -Isotopenlabel von -25 ‰. Jeder Ring misst 8 m im Durchmesser und besteht aus 24 Doppelkammer-Segmenten. Jedes dieser Segmente ist mit je einer Röhre zur  $CO_2$ -Freisetzung und einer zur Luft-Ansaugung ausgestattet. In jede zweite Mittellamelle zwischen den 2 Kammern eines Segments ist ein Ventilator integriert, der den nötigen Luftstrom erzeugt. Die Freisetzung erfolgt stets aus der Luv-seitigen Ringhälfte, die Ansaugung über die Lee-Hälfte. Gekoppelt an Windrichtungsmesser, kann die Richtung von Freisetzung und Ansaugung in Sekunden wechseln. In jeder Ringmitte in 60 cm Höhe wird die Luft angesaugt und die aktuelle  $CO_2$ -Konzentration überwacht (zentraler Steuerungsrechner). Abbildungen der monatlichen  $CO_2$ -Konzentrationen im Experiment finden sich unter <http://www.uni-giessen.de/~gf1034/ENGLISH/CO2regimes.pdf>.

Die Auswahl der 6 Flächen für das Experiment wurde aus 16 potentiellen Flächen anhand von Messdaten (Ertrag, Artenzusammensetzung, Bodenfeuchte usw.) aus mehreren vorangehenden Jahren getroffen. Die  $CO_2$ -Anreicherung um 20 % entspricht einer Konzentration, die beim derzeitigen exponentiellen  $CO_2$ -Anstieg in etwa 25 - 40 Jahren erreicht sein dürfte (Spanne der jüngsten IPCC-Szenarien). Die moderate  $CO_2$ -Erhöhung steht im Gegensatz zu der "üblichen" Verdopplung der präindustriellen oder aktuellen  $CO_2$ -

Konzentration und kommt dem tatsächlich stattfindenden, graduellen CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre näher.

Das seit Jahrzehnten unter Wiesennutzung stehende, artenreiche Grünland wird seit 1996 mit 40 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> gedüngt und zweimal pro Jahr abgeerntet (n = 75 Proben pro CO<sub>2</sub>-Behandlung und Erntetermin). In jedem der 6 Ringe sind je 4 TDR-Sensoren installiert (Typ P2G, 0 – 15 cm Tiefe; Fa. Imko, Deutschland), deren Werte einmal täglich (Werktage) ausgelesen werden. Des Weiteren sind in jedem Ring zwei 50 cm lange Stabsensoren in 5 cm Tiefe horizontal inseriert, dazu in 10 und 20 cm Tiefe je ein Punktsensor (Pt-100-Fühler, Fa. Imko), deren 15-min-Mittelwerte automatisch aufgezeichnet werden. Die Spurengasflüsse werden seit dem Frühjahr 1997 bis heute alle 3 bis 4 Tage mit der *closed-chamber*-Methode gemessen (Haubendurchmesser 1 m, 9 Hauben pro CO<sub>2</sub>-Behandlung, d.h. 7 m<sup>2</sup> überdeckte Fläche). Die drei Gase (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) werden gaschromatographisch (GC mit ECD und FID) bestimmt (Methode modifiziert nach HUTCHINSON & MOSIER 1981). Begleitend wurden im ersten Jahr der CO<sub>2</sub>-Anreicherung und z.T. wieder seit 2000 mikrobielle Parameter wie die Anteile der Prozesse Nitrifikation und Denitrifikation an der Gesamt-N<sub>2</sub>O-Emission, die Denitrifikations-Enzymaktivität (DEA), die Netto- bzw. Brutto-Nitrifikationsaktivität sowie die mineralischen N- und organischen C-Konzentrationen untersucht, um eintretende Veränderungen in den N<sub>2</sub>O-Flüssen erklären zu können. Zur Zeit laufen zudem Zusatzuntersuchungen und –Experimente, die zusammen mit dem Institut für Angewandte Mikrobiologie (AG Prof. Kämpfer) durchgeführt werden. Diese dienen der Erfassung von möglichen Veränderungen in den mikrobiellen Populationen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> sowie der Verbesserung des Prozessverständnisses.

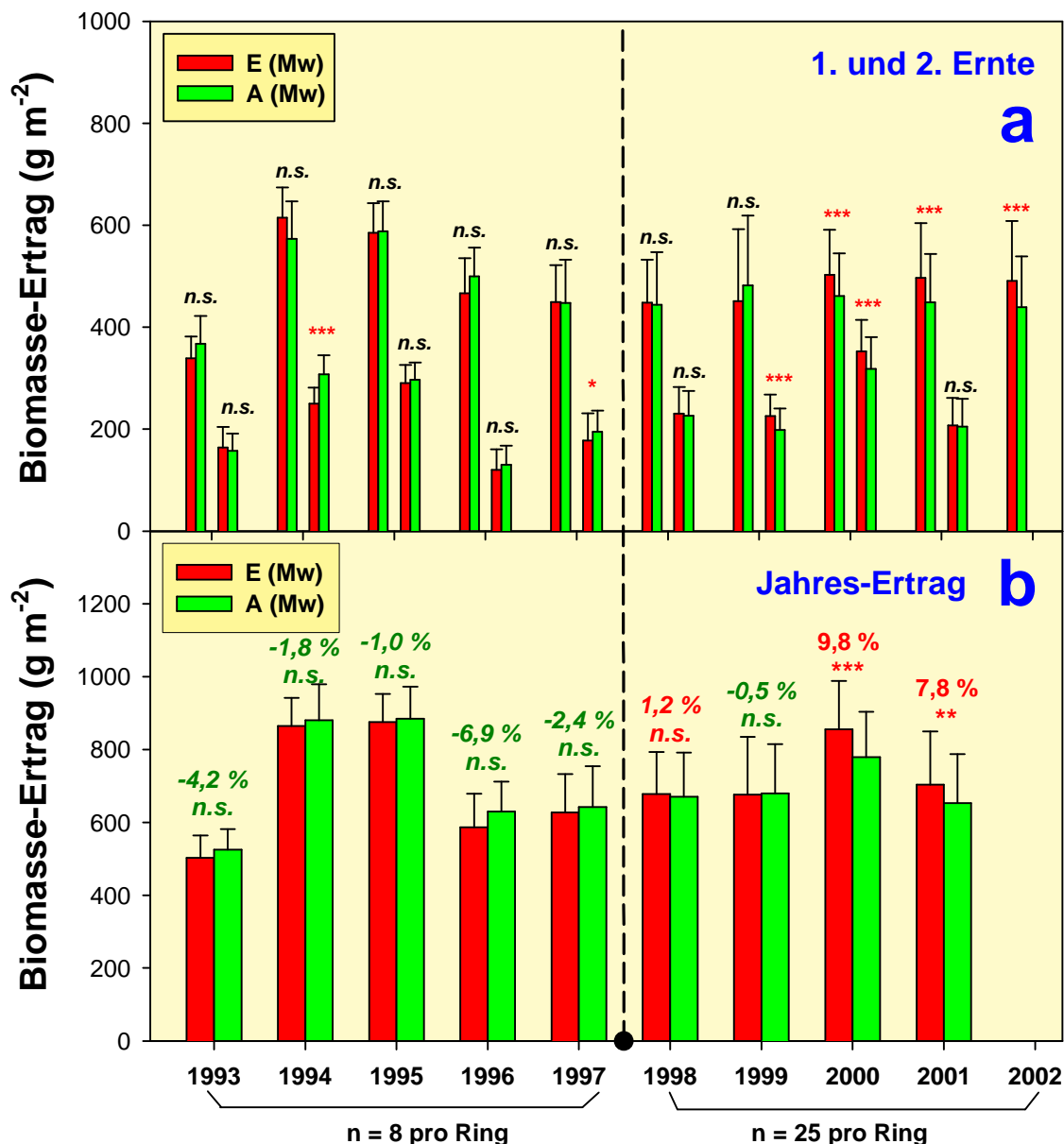
### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Die oberirdische Biomasse

Zunächst muss zur Deutung der nachfolgend vorgestellten Ergebnisse vorausgeschickt werden, dass sich die (messbare) Bodenfeuchte des Feuchtgrünlands unter CO<sub>2</sub>-Anreicherung bisher nicht verändert hat. In stärker wasserlimitierten Ökosystemen wie einer Hochgrasprairie (OWENSBY *et al.* 1999) oder einem (künstlichen) Kalkmagerrasen (*Mesobromion*, VOLK *et al.* 2000) spielte der verbesserte Bodenwasserstatus eine wesentlich größere Rolle für den Biomasse-Ertrag unter erhöhtem CO<sub>2</sub>.

Die seit 1993 geerntete oberirdische Biomasse war vor Beginn der CO<sub>2</sub>-Anreicherung auf den für die spätere CO<sub>2</sub>-Erhöhung ausgewählten Flächen (E-Flächen, von "elevated, erhöht") stets nahezu identisch mit der Biomasse der späteren Kontrollflächen (Kontrolle im Folgenden als A, von "ambient, aktuell", bezeichnet). Allerdings waren die A-Erträge im Mittel über 5 Jahre um 3,3 % größer als die E-Erträge (keine signifikante Unterschiede, vgl. Abb. 1). Ab der September-Ernte 1999, 1,5 Jahre nach Beginn der CO<sub>2</sub>-Anreicherung, kehrte sich dies erstmalig um: Die E-Erträge waren (signifikant) größer als die der Kontrollringe und blieben es seitdem (Abb. 1). Im dritten Jahr des laufenden FACE-Experiments (2000) betrug die jährliche Ertragssteigerung rund 10 %, im vierten Jahr (2001) rund 8%. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte für beide Jahre einen hochsignifikanten CO<sub>2</sub>-Effekt, aber keinen Einfluss der Bodenfeuchte, und ebenso keine Interaktion zwischen CO<sub>2</sub> und Feuchte. Verglichen mit den Ergebnissen anderer Studien (bei CO<sub>2</sub>-Verdopplung), in denen ein sofortiger Biomassezuwachs auftrat (Bsp. ARP *et al.* 1993, Salzmarsch; OWENSBY *et al.*

1999, Hochgrasprairie; HEBEISEN *et al.* 1997, Intensivgrünland), war der fördernde CO<sub>2</sub>-Effekt im untersuchten Grünland verzögert, scheint aber (bisher) dauerhaft zu sein (siehe erste Ernte 2002, Abb. 1). In experimentellen Systemen, in denen sich Pflanzen außer an verdoppeltes CO<sub>2</sub> noch an weitere veränderte Faktoren akklimatisieren bzw. einen neuen Lebensraum (z.B. Bodensubstrat) kolonisieren mussten, erfolgte ein Biomassenzuwachs häufig nur im ersten oder zweiten Jahr, später dagegen nicht mehr (Bsp. MEIER & FUHRER 1997; NIKLAUS *et al.* 2001).



**Abbildung 1:** Erträge der oberirdischen Biomasse (Gräser, Kräuter, Leguminosen) unter erhöhtem CO<sub>2</sub> (E) und aktuellem außen-CO<sub>2</sub> (A). Fehlerbalken: Standardabweichung. a) Einzel-Ernten, b) Jahreserträge. Prozentwerte: Ertragsdifferenz zwischen den E- und A-Flächen (E-A in % des A-Ertrags). Signifikanzen (T-Test): n.s. = nicht signifikant, \* = signifikant (P: 0,05 – 0,01), \*\* = hochsignifikant (P: <0,01 – 0,001), \*\*\* = höchstsignifikant (P: <0,001). In Abb. b gelten die gleichen Signifikanzen für den Faktor CO<sub>2</sub>, wenn eine zweifaktorielle ANOVA mit dem zweiten Faktor "Bodenfeuchte" durchgeführt wird.



Die Größenordnung des Zuwachses war im untersuchten, gering gedüngten Grünland vergleichbar mit Experimenten, in denen eine Verdoppelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration an natürlichen oder naturnahen Grasland-Ökosystemen vorgenommen worden war. In einem Überblick über CO<sub>2</sub>-Grasland-Experimente mit intakten Grasdecken geben MOONEY *et al.* (1999) einen mittleren Biomassezuwachs von 14% an (9 Studien, jeweils CO<sub>2</sub>-Verdoppelung). KÖRNER (2000) berichtet in einem Literatur-Überblick von einem mittleren Zuwachs von nur 10 % (Studien an ungedüngtem Grasland). Da im vorliegenden Experiment die A-Biomasse zuvor im Mittel 3,3 % höher als die E-Biomasse war, ist der tatsächliche Zuwachs höher anzusetzen als 10 bzw. 8%. Dies wirft die interessante Frage auf, ob sich die Senkenfunktion von terrestrischen Ökosystemen für steigendes atmosphärisches CO<sub>2</sub> in Zukunft nicht weit eher abschwächen könnte als häufig angenommen. Ergebnisse von GILL *et al.* (2002) zur C-Speicherung im Boden (Gradienten-Graslanduntersuchung mit präindustriellen bis zukünftigen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen) stützen eine solche Vermutung.

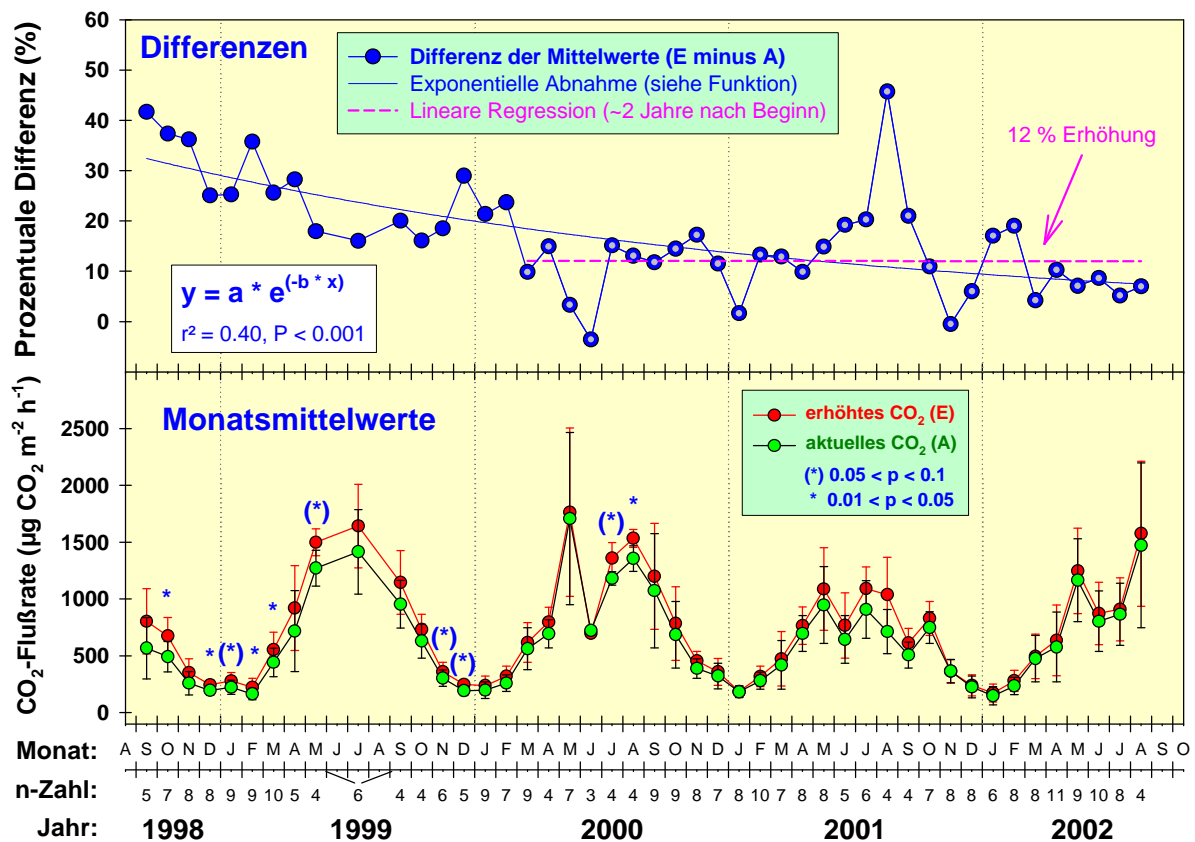
### 3.2 Die Zusammensetzung der funktionellen Gruppen

In der Zusammensetzung der funktionellen Hauptgruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen konnten in den ersten drei Jahren keine signifikanten Änderungen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> festgestellt werden. Seit 2001 zeichnet sich jedoch erstmalig ein Trend zur verstärkten Förderung der Gräser gegenüber den Kräutern ab, der sich, soweit bisher erkennbar, in 2002 fortsetzt. Auch die laufenden Vegetationsaufnahmen scheinen dies wiederzugeben. Der Leguminosen-Ertrag war stets sehr gering (unter 1%) und weist keinen Trend auf. In jedem Ökosystem scheinen sich system-typische, gänzlich unterschiedliche Artenverschiebungen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> zu vollziehen (soweit die Experimente lang genug dauerten, um diese festzustellen: Bsp. LÜSCHER *et al.* 1998; LEADLEY *et al.* 1999; NIKLAUS *et al.* 2001). Allerdings waren es in den zitierten Studien vor allem die Leguminosen oder die Kräuter (an zweiter Stelle), die vom erhöhten CO<sub>2</sub> profitierten, nicht (wie hier) die Gräser. Keine Voraussagen (z.B. aus der Reaktivität der funktionellen Gruppen auf erhöhtes CO<sub>2</sub>) treffen zu können, gehört zu den "großen Frustrationen" der zurückliegenden Jahre in der CO<sub>2</sub>-Forschung (KÖRNER 2000). Ursache könnten die gänzlich unterschiedlichen Faktorenkombinationen in den (wenigen) existierenden Langzeitstudien sein – nämlich die Frage, welcher Faktor am stärksten limitierend wirkt (Stickstoff, andere Nährstoffe, Wasser, Licht, Nutzungsweisen). Im Falle des untersuchten Feuchtgrünlands scheint sich die starke Licht-Konkurrenzfähigkeit der dominanten Hochgräser (wie Glatthafer, *Arrhenatherum elatius*) negativ auf das Kräuterwachstum auszuwirken. Im Kalkmagerrasen der oben erwähnten Studien war eher die Bodenfeuchte der limitierende Faktor, der sich unter erhöhtem CO<sub>2</sub> verbesserte.

### 3.3 Die Bestandesatmung

Im ersten Sommer/Herbst der CO<sub>2</sub>-Anreicherung (1998) war die Bestandesatmung auf den E-Flächen stark erhöht (bis zu 40 %, bei nur +20 % CO<sub>2</sub>-Anreicherung). Erst nach fast 2,5 Jahren CO<sub>2</sub>-Anreicherung wurde jedoch deutlich, dass diese Steigerung rückläufig war. Wie Abb. 2 zeigt, scheint sich die Erhöhung der Bestandesatmung in den letzten 2 Jahren auf einem Level von ungefähr +12 % einzupendeln. Vergleichende Messungen mit in den Bestand integrierten Bodenatmungskammern legen nahe, dass der größere Teil der

gemessenen Bestandesatmung aus Bodenatmung (Wurzel- und mikrobielle Respiration) besteht. Generell wurden fast immer gesteigerte Bodenrespirationsraten unter erhöhtem CO<sub>2</sub> gefunden (Überblick bei ZAK *et al.* 2000).



**Abbildung 2:** Unterschiede in der Bestandesatmung der E- und A-Flächen.

Untere Graphik: Standardabweichung: zeitliche Streuung der E- bzw. A-Mittelwerte des Monats. Stern: signifikanter Unterschied zwischen E- und A-Mittelwert (T-Test bzw. Mann-Whitney-Test), Stern in Klammern: 0,05 < P-Wert < 0,1.

Obere Graphik: Prozentuale Differenz zwischen E- und A-Monatsmittelwert in Prozent des jeweiligen A-Werts (= 100 %). Durchgezogene Trendlinie: angepasste exponentielle Abnahmefunktion. Gestrichelte Trendlinie: angepasst an die mit hellem Punkt versehenen Differenz-Daten.

Verglichen mit der verzögerten oberirdischen Reaktion erst nach 2 bis 4 Jahren (Biomassezuwachs, Artenverschiebungen) erfolgte die unterirdische Antwort auf die CO<sub>2</sub>-Erhöhung sofort und zeigte deutliche Akklimatisierungseffekte in Form eines Rückgangs nach einer längeren Zeit der CO<sub>2</sub>-Anreicherung. Dieser Rückgang konnte in allen drei Ringpaaren festgestellt werden. Auch LIN *et al.* (2001) fanden bei Bodenatmungsmessungen an Wald-Mesokosmen im zweiten Jahr eine wesentlich geringere Steigerung als im ersten Jahr. Bei einer Isotopen-Studie (d-<sup>13</sup>C) an zwei intensiv gedüngten Grünlandsystemen stellten VAN KESSEL *et al.* (2000) fest, dass in den ersten drei Jahren die Hauptveränderungen im Bodenkohlenstoff-Signal erfolgt waren (Akklimatisierungszeit), danach änderten sich die Werte kaum noch. Ansonsten liegen keine längerfristige Messungen der Bestandes- oder Bodenatmung vor, mit denen sich unsere Ergebnisse vergleichen ließen. Stünden jedoch nur die Bestandesatmungsmessungen des ersten Jahres des Experiments zur Verfügung, wäre keine Abnahmetendenz erkennbar und man müsste von einer um 20 – 30% gesteigerten

Bestandesatmung ausgehen. Wie groß der Fehler wäre, wenn man das Kurzzeit-Ergebnis in die Fläche bzw. in die Zukunft hochskalierte, lässt die vorliegende Studie gut erahnen.

### 3.4 Lachgasflüsse

Vor Beginn der CO<sub>2</sub>-Anreicherung waren die N<sub>2</sub>O-Emissionsraten der Anreicherungs- und der Kontrollflächen nicht signifikant voneinander verschieden. Seit Beginn des Experiments zeigte sich jedoch in den Sommer- und Herbstmonaten eine enorme Steigerung der N<sub>2</sub>O-Emissionen, die unter CO<sub>2</sub>-Anreicherung auch im vierten Jahr (2001) in Folge auftrat (Abb. 3). Dadurch betrug die N<sub>2</sub>O-Abgabe der Anreicherungsflächen im Mittel von 1998 bis 2001 283 % des Kontrollflächenwerts (3,4 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> gegenüber 1,2 kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Im Jahr 2002 fällt die Steigerung unter erhöhtem CO<sub>2</sub> erstmals geringer aus als in den Jahren zuvor und es stellt sich die Frage, ob dies der Beginn eines neuen Trends oder lediglich die Antwort auf bestimmte klimatische Bedingungen ist. Alle drei eingangs nach Literaturstudium und gängigen Vorstellungen über die beteiligten Prozesse aufgestellten Hypothesen haben sich nicht bewahrheitet (vgl. Tab. 1):

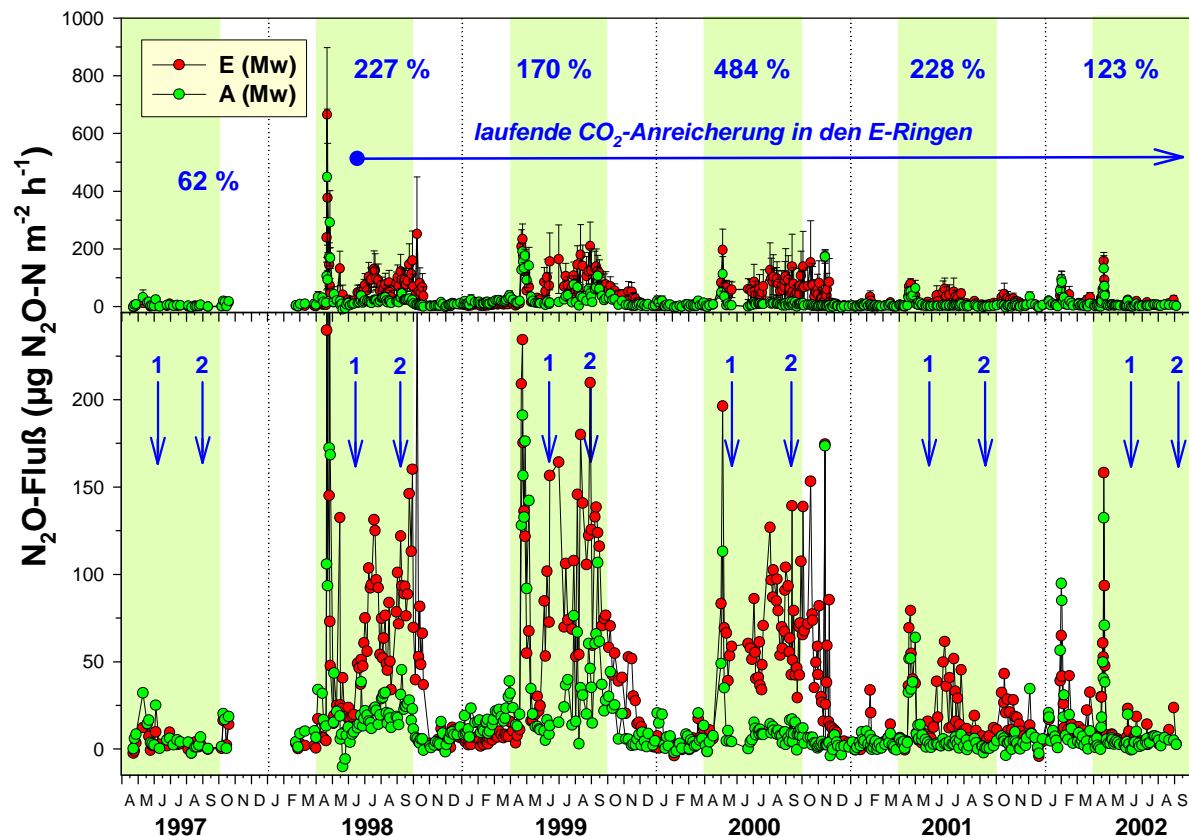
1. In der von der Düngung im April (40 kg NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>) beeinflussten Emissionsperiode (Kontroll-Emissionen höher als Hintergrund-Level) waren die N<sub>2</sub>O-Emissionen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> nicht deutlich gesteigert, sondern etwa genauso groß wie die der Kontrollflächen (Ausnahme: 2000, mit 3 Wochen fehlenden Daten). Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von INESON *et al.* (1998), die 9 Tage nach einer Düngung in einem Ringpaar des Schweizer FACE-Experiments (Intensivgrünland) eine deutliche Steigerung der N<sub>2</sub>O-Emissionen feststellten. Offenbar stand im untersuchten Grünland der applizierte Stickstoff den mikrobiellen N<sub>2</sub>O-produzierenden Prozessen nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung, was auf eine große N-Konkurrenzfähigkeit des etablierten Pflanzenbestands gegenüber den Mikroben um die Akquisition der begrenzten Ressource hinweist (vgl. WANG & BAKKEN 1997), auch bzw. gerade unter erhöhtem CO<sub>2</sub>.

2. In der Vegetationsperiode hingegen waren die N<sub>2</sub>O-Emissionen unter erhöhtem CO<sub>2</sub> im Vergleich zur Kontrolle immens gesteigert (Ausnahme: 2002) – das jährliche Emissionsmuster glich in keiner Weise den aus Vorversuchen bei unterschiedlicher Düngung ermittelten Verläufen (KAMMANN *et al.* 1998), ebenso wenig wie dem Verlauf ein Jahr vor Beginn der Anreicherung. Das Emissionsmuster der Kontrollflächen setzte sich hingegen auf die bekannte Art fort. Eine derartige Erscheinung wurde bisher in keinem vergleichbaren (Topf- oder Labor-)Experiment gefunden; die einzige über mehrere Jahre gehende Messung unter erhöhtem CO<sub>2</sub> im Grasland zeigte zu keiner Jahreszeit eine Steigerung der N<sub>2</sub>O-Emissionen (MOSIER *et al.* 2002: Open-Top-Kammern in der Colorado-Kurzgrassteppe). Die durchgeführten Zusatzmessungen ergaben keine Anhaltspunkte zur Erklärung der stark gesteigerten N<sub>2</sub>O-Emissionen unter erhöhtem CO<sub>2</sub>. Im Gegenteil, die trockenste Ring-Fläche, welche die höchsten N<sub>2</sub>O-Emissionen aufwies, besaß stets die niedrigste Denitrifikations-Enzym-Aktivität und die geringsten Nitrifikationsraten. Die Bodenfeuchte blieb unter erhöhtem CO<sub>2</sub> nahezu unverändert. Die Bodentemperaturen in 5, 10 und 20 cm Tiefe waren im Mittel über die Untersuchungszeit um maximal 0,2 °C verschieden. Erhöhte mineralische oder organische Stickstoffkonzentrationen im Boden konnten unter erhöhtem CO<sub>2</sub> nicht festgestellt werden; freier mineralischer Stickstoff war praktisch nicht verfügbar. Somit fallen alle "gängigen" Erklärungsansätze aus. Eine andere am Institut für Pflanzen-

ökologie durchgeführte Versuchsreihe ( $^{15}\text{N}$ -Experimente, C. Müller) sowie die gesamte Datenlage (Dissertation C. Kammann, 2001) legen den Verdacht nahe, dass heterotrophe Pilze (Mykorrhiza u.a.) bezüglich der N-Umsetzungsprozesse und der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen eine größere Rolle spielen könnten als bislang angenommen.

3. Während der Winterperiode war die Größenordnung der E- im Vergleich zu den A- $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen vom jeweiligen Witterungsverlauf abhängig. Im Winter 1998/1999, mit massiven Regenfällen im Herbst/Winter 1998, wiesen die A-Flächen die höheren Emissionen auf. Die E-Flächen verloren auch im Laufe des ersten Anreicherungsjahrs gegenüber den A-Flächen an Denitrifikations-Enzym-Aktivität (nicht-signifikant), was den Unterschied bei hoher Bodenfeuchte erklären kann. In den folgenden Jahren hingegen erstreckten sich die hohen Sommer-Emissionsphasen bis in den November hinein. Die höheren E-Emissionen der Winterperiode gehen weitgehend auf diese Novemberphasen zurück (1999 bis 2001). Während der strengsten bislang aufgetretenen Frost-Tau-Phase im Januar/Februar 2002 (erster Emissionspeak in 2002, Abb. 3) waren die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen fast identisch in ihrer Höhe (Tab. 1).

Keine der aus vorhandenem Wissen und Prozessverständnis aufgestellten Eingangshypothesen kann somit als bestätigt angesehen werden. Dies zeigt deutlich, dass auf Validierung bestehender Vorstellungen im langfristigen Freilandexperiment nicht verzichtet werden kann.



**Abbildung 3:** Lachgas-Flüsse vor und nach Beginn der  $\text{CO}_2$ -Anreicherung (Mai 1998). Untere Abbildung: Vergrößerung der oberen Abbildung ohne Standardfehler. Grün hinterlegt: Vegetationsperiode (April-September). Prozentzahlen: E-Jahresmittel in Prozent des A-Jahresmittels. Pfeile mit 1 oder 2: Zeitpunkte der ersten bzw. zweiten Ernte. (Die erste große Emissionsspitze im April jedes Jahres entstammt der jeweiligen Düngung.)

**Tabelle 1:** Prozentuale E-N<sub>2</sub>O-Emissionen in % des A-Werts während unterschiedlicher Jahresphasen. "Frost 2002" bezeichnet die bislang strengste Frostperiode im Januar 2002 mit anschließendem Auftauen (Emissionspeak im Februar 2002, Abb. 3)

Jahr mit CO <sub>2</sub> -Erhöhung	1998	1999	2000	2001	2002
Düngeperiode	138	96	(275)*	111	135
Vegetationsperiode	433	336	956	622	(unvollst.)
	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	Frost 2002**
Winterperiode	47	162	234	124	87

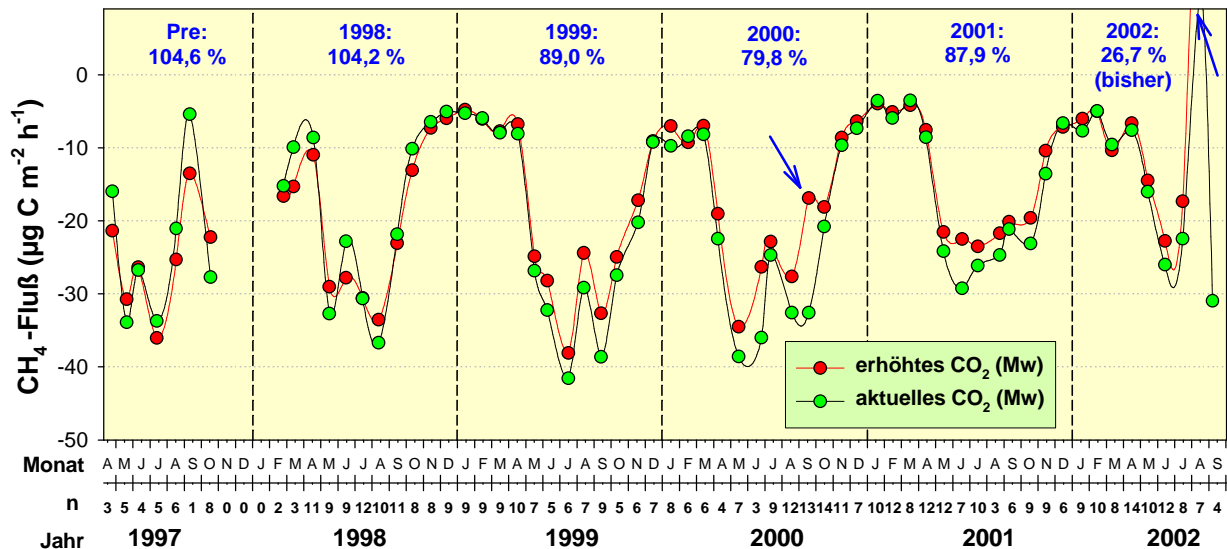
\*) Datenausfall für 3 Wochen, analytische Probleme; \*\*Zeitraum Januar – Februar 2002

### 3.5 Methanflüsse

Die vorherrschende CH<sub>4</sub>-Flußrichtung war die Methankonsumption (Oxidation), obwohl im untersuchten Grünland beide Prozesse neben- oder besser übereinander existieren (KAMMANN *et al.* 2001). Ein Jahr vor und ein Jahr nach Beginn des FACE-Experiments fielen die Jahresbilanzen der E- und A-Flächen fast identisch aus (Abb. 4). Im zweiten Jahr unter CO<sub>2</sub>-Anreicherung (1999) entwickelte sich vor allem während der Vegetationsperiode ein Rückgang der CH<sub>4</sub>-Oxidation unter erhöhtem CO<sub>2</sub> um mehr als 10 %, der in den Folgejahren (2000 bis 2002) fortbestand. Im Jahr 2000 traten im Sommer erstmalig Methanemissionen aus aerobem Boden unter erhöhtem CO<sub>2</sub> auf, die in ihrer Größenordnung die Jahresbilanz veränderten (Pfeil in Abb. 4). Dies wiederholte sich aktuell (August – September 2002), allerdings wesentlich massiver, sodass die Bilanz für das Jahr 2002 gegenüber den Vorjahren bereits durch wenige Tage CH<sub>4</sub>-Emissionen stark verändert wurde (E = 27 % der mittleren A-Methanoxidationsrate). Die Methanemissionen sind wahrscheinlich auf die starken Niederschläge im Juli/August zurückzuführen; sie führten allerdings auf der Untersuchungsfläche nicht zu Überschwemmungen oder Anaerobiose im Boden. Da mit der *closed-chamber*-Methode (statische Kammern) die CH<sub>4</sub>-Emissionen im Grenzbereich zwischen Freisetzung und Aufnahme unterschätzt werden (austretendes CH<sub>4</sub> wird zur Oxidation über den Flächen "festgehalten"), muss die tatsächliche Bilanzänderung noch größer gewesen sein. Bisher ist bekannt, dass erhöhtes CO<sub>2</sub> (erhöhter C-Input in den Boden) in aquatischen, CH<sub>4</sub>-freisetzenden Ökosystemen zu einer Steigerung der CH<sub>4</sub>-Emissionen führt, und zwar umso stärker, je näher am Äquator das betrachtete Ökosystem liegt (Bsp. DACEY *et al.* 1994, Salzmarsch in Florida; HUTCHIN *et al.* 1995, temperater Moorboden; MEGONIGAL & SCHLESINGER 1997, Sumpfland; SAARNIO *et al.* 2000, boreales Moor). Dass sich aber unter erhöhtem CO<sub>2</sub> – ohne generelle Änderung der Bodenfeuchte oder – temperatur – ein Senken-Ökosystem für CH<sub>4</sub> in eine Quelle verwandeln kann, wurde bislang nur vermutet (SCHIMEL & GULLEDGE 1998, MOSIER 1998).

Auch die Reaktion des CH<sub>4</sub>-Oxidationsprozesses auf erhöhtes CO<sub>2</sub> ist bislang nicht geklärt bzw. verstanden. INESON *et al.* (1998) fanden während der 9 Tage ihrer Spurengas-Flussmessungen eine um 2/3 verringerte Methanoxidationsrate (ohne Erklärungsansatz). AMBUS & ROBERTSON (1999) stellten im Mittel über 3 Messtermine eine leicht verringerte CH<sub>4</sub>-Oxidationsrate fest, welche sie auf einen gestiegenen Bodenwassergehalt unter erhöhtem CO<sub>2</sub> zurückführten (Behinderung der Diffusion des O<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> zu den Methanoxidierern im Boden). Im vorliegenden Experiment kann dies als Erklärungsansatz für die reduzierte CH<sub>4</sub>-Oxidation zumindest für die oberste Bodenschicht ausgeschlossen

werden. Vor dem Hintergrund der jüngsten  $\text{CH}_4$ -Emissionen sowie (noch laufender) mikrobiologischer Untersuchungen (U. Jäckel, mündl. Mitt.), sind Veränderungen in den Methanotrophen- und Methanogen-Populationen möglicherweise die Ursache für den Rückgang der Methanaufnahme aus der Atmosphäre.



**Abbildung 4:** Monatsmittel der E- und A-Methanflussraten vor und nach Beginn der  $\text{CO}_2$ -Anreicherung (Mai 1998). Die Standardabweichung wurde zwecks besserer Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Die Pfeile (in 2000, und 2002 rechts oben) bezeichnen Episoden der Methanemission aus nicht-wassergesättigtem Boden. Außerhalb der Achsenskalierung liegende Monatsmittel 2002 für August und September: E 56 und  $90 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , A 11 und  $-31 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ .

## Schlußbetrachtungen

Im Gießen-FACE wurde eine starke positive Rückkopplung der  $\text{CO}_2$ -Erhöhung auf die Prozesse gefunden, die zu einer Konzentrationserhöhung von  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  in der Atmosphäre führen. Sollten sich gleiche Befunde für andere Ökosysteme ergeben, die zusammen mit dem hier untersuchten Ökosystem-Typ Flächengrößen von globaler Bedeutung für die Spurengasbilanzen bedecken, so sind die Ergebnisse als sehr bedenklich einzuordnen. Sie würden bedeuten, dass sich der globale Klimawandel durch das positive Feedback des  $\text{CO}_2$  verselbständigt ('take two for the price of one'). Im Falle des  $\text{N}_2\text{O}$  ließen sich die beobachteten massiven Veränderungen der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen nicht aus dem vorhandenen Wissen herleiten bzw. voraussagen, und auch die Methanfluß-Veränderungen sind noch nicht zufriedenstellend geklärt.

Langzeitstudien (mehrere Jahre bis Jahrzehnte) in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen werden in der  $\text{CO}_2$ -Forschung häufig gefordert, aber selten durchgeführt. Die meisten dieser Experimente fanden in den USA statt bzw. sind dort bereits nach einer Dauer von 7-10 Jahren beendet worden. Im Gießener Freiland- $\text{CO}_2$ -Anreicherungsexperiment traten im untersuchten Grünland-Ökosystem zahlreiche Akklimatisierungseffekte in Antwort auf die nur moderat erhöhte  $\text{CO}_2$ -Konzentration auf, die bei einer kürzeren Untersuchungsdauer nicht als solche hätten erkannt werden können:

- Steigerung des oberirdischen Biomasse-Jahresertrags erst nach 3 Jahren
- Herunterregulieren der anfangs stark gesteigerten Bestandesatmung
- Eine zunächst signifikant erhöhte, nach einem Jahr signifikant verringerte Nitrifikationsrate
- Rückgang der CH<sub>4</sub>-Oxidationsraten erst nach 1,5 Jahren der CO<sub>2</sub>-Anreicherung
- Erste (bilanzverändernde) Methanemissionen nach 3 Jahren CO<sub>2</sub>-Erhöhung

Alle gemessenen Größen wären bei einer kurzen Experimentdauer (einige Monate bis zwei Jahre) unter- bzw. überschätzt worden, oder sie wären gar nicht erkannt worden.

Zusammengenommen zeigt dies, dass auf experimentelle Langzeituntersuchungen, gerade zur Validierung von Modellvorstellungen, nicht verzichtet werden kann. Vielmehr bieten solche Ansätze wie das Gießen-FACE (von Anfang an Applikation von CO<sub>2</sub> mit konstanter, angereicherter <sup>13</sup>C-Isotopensignatur) die Möglichkeit zu Isotopenstudien (<sup>15</sup>N, <sup>13</sup>C). Diese sind ein ideales Werkzeug zur Erstellung und Überprüfung von Modellen der C- und N-Kreisläufe in Ökosystemen, welches in Zukunft an Bedeutung zunehmen wird (Pendall 2002: "Stable isotope techniques are emerging as a critical component in elevated CO<sub>2</sub> experiments, without which changes in soil carbon cycling would often be impossible to detect."). Langzeitexperiment und Modellierung müssen im Bereich der Klimafolgenforschung, gerade was Bodenprozesse angeht, in Zukunft stärker ins Wechselspiel miteinander treten.

### Zitierte Literatur

- Albritton,D.L., Meira Filho,L.G., Cubasch,U., Dai,X., Ding,Y., Griggs,D.J., Hewitson,B., Houghton,J.T., Isaksen,I., Karl,T., McFarland,M., Meleshko,V.P., Mitchell,J.F.B., Noguer,M., Nyenzi,B.S., Oppenheimer,M., Penner,J.E., Pollonais,S., Stocker,R., Trenberth,K.E. & and contributing Authors (2001): Global Change 2001 - The Scientific Basis. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ambus,P. & Robertson,G.P. (1999): Fluxes of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in aspen stands grown under ambient and twice-ambient CO<sub>2</sub>. *Plant and Soil* **209**, 1-8.
- Arp,W.J., Drake,B.G., Pockman,W.T., Curtis,P.S. & Whigham,D.F. (1993): Interactions between C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> salt marsh plant species during four years of exposure to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Vegetatio* **104/105**, 133-143.
- Dacey,J.W.H., Drake,B.G. & Klug,M.J. (1994): Stimulation of methane emissions by carbon dioxide enrichment of marsh vegetation. *Nature* **370**, 47-49.
- Gill,R.A., Polley,H.W., Johnson,H.B., Anderson,L.J., Maherali,H. & Jackson,R.B. (2002): Nonlinear grassland responses to past and future atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* **417**, 279-282.
- Goulding,K.W.T., Willison,T.W., Webster,C.P. & Powlson,D.S. (1996): Methane fluxes in aerobic soils. *Environmental Monitoring and Assessment* **42**, 175-187.
- Hebeisen,T., Lüscher,A., Zanetti,S., Fischer,B.U., Hartwig,U.A., Frehner,M., Hendrey,G.R., Blum,H. & Nösberger,J. (1997): Growth response of *Trifolium repens* L. and *Lolium perenne* L. as monocultures and bi-species mixture to free air CO<sub>2</sub> enrichment and management. *Global Change Biology* **3**, 149-160.
- Hungate,B.A., Lund,C.P., Pearson,H.L. & Chapin,F.S. (1997): Elevated CO<sub>2</sub> and nutrient addition alter soil N cycling and N trace gas fluxes with early season wet-up in a California annual grassland. *Biogeochemistry* **37**, 89-109.

- Hutchin,P.R., Press,M.C., Lee,J.A. & Trevor,W.A. (1995): Elevated concentrations of CO<sub>2</sub> may double methane emissions from mires. *Global Change Biology* **1**, 125-128.
- Hutchinson,G.L. & Mosier,A.R. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal* **45**, 311-316.
- Ineson,P., Coward,P.A. & Hartwig,U.A. (1998): Soil gas fluxes of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> beneath *Lolium perenne* under elevated CO<sub>2</sub>: The Swiss free air carbon dioxide enrichment experiment. *Plant and Soil* **198**, 89-95.
- Jackson,R.B., Banner,J.L., Jobbágy,E.G., Pockman,W.T. & Wall,D.H. (2002): Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature* **418**, 623-626.
- Kammann,C. (2001): *Die Auswirkung steigender atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Flüsse der Klimaspurengase N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> in einem Grünlandökosystem.* Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, 228 S.
- Kammann,C., Grünhage,L., Jäger,H.-J. & Wachinger,G. (2001): Methane fluxes from differentially managed grassland study plots: The important role of CH<sub>4</sub> oxidation in grassland with a high potential for CH<sub>4</sub> production. *Environmental Pollution* **115**, 261-273.
- Kammann,C., Grünhage,L., Müller,C., Jacobi,S. & Jäger,H.-J. (1998): Seasonal variability and mitigation options for N<sub>2</sub>O emissions from differently managed grasslands. *Environmental Pollution* **102**, S1, 179-186.
- Körner,C. (2000): Biosphere responses to CO<sub>2</sub> enrichment. *Ecological Applications* **10**, 1590-1619.
- Leadley,P.W., Niklaus,P.A., Stocker,R. & Körner,C. (1999): A field study of the effects of elevated CO<sub>2</sub> on plant biomass and community structure in a calcareous grassland. *Oecologia* **118**, 39-49.
- Lin,G., Rygielwicz,P.T., Ehleringer,J.R., Johnson,M.G. & Tingey,D.T. (2001): Time-dependent responses of soil CO<sub>2</sub> efflux components to elevated atmospheric [CO<sub>2</sub>] and temperature in experimental forest mesocosms. *Plant and Soil* **229**, 259-270.
- Lüscher,A., Hendrey,G.R. & Nösberger,J. (1998): Long-term responsiveness to free air CO<sub>2</sub> enrichment of functional types, species and genotypes of plants from fertile permanent grassland. *Oecologia* **113**, 37-45.
- Megonigal,J.P. & Schlesinger,W.H. (1997): Enhanced CH<sub>4</sub> emissions from a wetland soil exposed to elevated CO<sub>2</sub>. *Biogeochemistry* **37**, 77-88.
- Meier,M. & Fuhrer,J. (1997): Effect of elevated CO<sub>2</sub> on orchard grass and red clover grown in mixture at two levels of nitrogen or water supply. *Environmental and Experimental Botany* **38**, 251-262.
- Mooney,H.A., Canadell,J., Chapin,F.S., Ehleringer,J.R., Körner,Ch., McMurtrie,R.E., Parton,W.J., Pitelka,L.F. & Schulze,E.-D. (1999): Ecosystem physiology responses to global change. in: Walker,B., Steffen,W., Canadell,J. & Ingram,J. (Hrsg.): *The Terrestrial Biosphere and Global Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 141-189.
- Mosier,A.R. (1998): Soil processes and global change. *Biology and Fertility of Soils* **27**, 221-229.
- Mosier,A.R., Morgan,J.A., King,J.Y., LeCain,D. & Milchunas,D.G. (2002): Soil-atmosphere exchange of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and N<sub>2</sub>O in the Colorado shortgrass steppe under elevated CO<sub>2</sub>. *Plant and Soil* **240**, 201-211.
- Müller,C., Martin,M., Stevens,R.J., Laughlin,R.J., Kammann,C., Ottow,J.C.G. & Jäger,H.-J. (2002): Processes leading to N<sub>2</sub>O emissions in grassland soil during freezing and thawing. *Soil Biology & Biochemistry* **34**, 1325-1331.
- Niklaus,P.A., Leadley,P.W., Schmid,B. & Körner,Ch. (2001): A long-term field study on biodiversity x elevated CO<sub>2</sub> interactions in grassland. *Ecological Monographs* **71**, 341-356.



- Norby,R.J. & Jackson,R.B. (2000): Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist* **147**, 3-12.
- Owensby,C.E., Ham,J.M., Knapp,A.K. & Auen,L.M. (1999): Biomass production and species composition change in a tallgrass prairie ecosystem after long-term exposure to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* **5**, 497-506.
- Pendall, E. (2002): Where does all the carbon go? The missing sink. (Tracing carbon in elevated CO<sub>2</sub> experiments: a workshop on isotopic analyses of where the carbon is going, Durham, NC;USA, October 2001). *New Phytologist* **153**, 207-210
- Phillips,R.L., Whalen,S.C. & Schlesinger,W.H. (2001a): Influence of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on methane consumption in a temperate forest soil. *Global Change Biology* **7**, 557-563.
- Phillips,R.L., Whalen,S.C. & Schlesinger,W.H. (2001b): Influence of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on nitrous oxide flux in a temperate forest ecosystem. *Global Biogeochemical Cycles* **15**, 741-752.
- Saarnio,S., Saarinen,T., Vasander,H. & Silvola,J. (2000): A moderate increase in the annual CH<sub>4</sub> efflux by raised CO<sub>2</sub> or NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> supply in a boreal oligotrophic mire. *Global Change Biology* **6**, 137-144.
- Schimel,J.P. & Gullledge,J. (1998): Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biology* **4**, 745-758.
- van Kessel,C., Nitschelm,J., Horwath,W.R., Harris,D., Walley,F., Lüscher,A. & Hartwig,U. (2000): Carbon-13 input and turn-over in a pasture soil exposed to long-term elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* **6**, 123-135.
- Volk,M., Niklaus,P.A. & Körner,C. (2000): Soil moisture effects determine CO<sub>2</sub> responses of grassland species. *Oecologia* **125**, 380-388.
- Wang,J. & Bakken,L.R. (1997): Competition for nitrogen during mineralization of plant residues in soil: microbial response to C and N availability. *Soil Biology & Biochemistry* **29**, 163-170.
- Whalen,S.C. & Reeburgh,W.S. (1996): Moisture and temperature sensitivity of CH<sub>4</sub> oxidation in boreal soils. *Soil Biology & Biochemistry* **28**, 1271-1281.
- Zak,D.R., Pregitzer,K.S., King,J.S. & Holmes,W.E. (2000): Elevated atmospheric CO<sub>2</sub>, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. *New Phytologist* **147**, 201-222.

**Wirkungen von Klimaveränderungen auf die belebte  
Umwelt – Aufbau eines Monitoringprogramms  
in Baden-Württemberg**

**Dr. Harald Gebhardt**

**Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg**

**Kontaktinformationen**

**Tel.: (0721) 983-1222**

**E-Mail: [harald.gebhardt@ifuka.lfu.bwl.de](mailto:harald.gebhardt@ifuka.lfu.bwl.de)**

# **Wirkung von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt- Aufbau eines Monitoringprogramms in Baden-Württemberg**

Dr. Harald Gebhardt  
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
Griesbachstr. 1  
76185 Karlsruhe

## **1. Ausgangslage**

Seit Jahren werden Hinweise für eine Klimaveränderung auf vielen politischen Ebenen diskutiert. Die Vereinten Nationen haben auf diese Diskussion 1988 mit der Einrichtung des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) reagiert. In diesem Gremium sind führende Wissenschaftler versammelt, die über die Problematik berichten. Im aktuellen Bericht des IPCC vom Januar 2001 (IPCC 2001) wird ausgeführt, dass

- der globale Klimawandel bereits begonnen hat,
- sich der Klimawandel im 21. Jahrhundert fortsetzen wird,
- der Klimawandel dramatischer ausfallen könnte, als bisher angenommen,
- die Erwärmung der letzten 50 Jahre im Wesentlichen anthropogen verursacht ist.

Die rechtzeitige Erstellung von Prognosen und Szenarien zu den Auswirkungen von Klimaveränderungen ist für eine zielführende und umfassende Politikberatung, aber auch zur Erfüllung von Berichtspflichten nötig. Besonders auf nationaler und regionaler Ebene müssen die Kenntnisse über mögliche, klimainduzierte Veränderungen in der Umwelt erweitert werden. Insbesondere zum Bereich der Klimawirkungen auf die belebte Umwelt liegen bisher nur geringe Kenntnisse vor. Konkrete, landesbezogene Lösungsansätze und Maßnahmevorschläge sind zu erarbeiten. Die Klimaforschung, die interdisziplinär und medienübergreifend angelegt ist, liefert hierbei Grundlagen, die über eine integrative Umweltbeobachtung validiert und ergänzt werden müssen. Dies schließt eine gezielte, sektorale Betrachtungsweise nicht aus.

Die Auswirkungen von Klimaveränderungen in Deutschland sind nach heutigem Kenntnisstand je nach Lage der einzelnen Regionen (Küsten-, Mittelgebirgs-, Hochgebirgsregion) sehr unterschiedlich einzuschätzen. Dies gilt besonders auch im Hinblick auf regionalklimatische Entwicklungen. Durch die klimabedingte Änderung der (ökologischen) Rahmenbedingungen werden auch für Baden-Württemberg ökologische, ökonomische, sozio-ökonomische sowie gesundheitliche Fragen aufgeworfen. Auswirkungen sind u.a. zu erwarten auf für:

- Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosysteme (Vorkommen, Stabilität, bzw. Zusammensetzung, Entwicklung),
- Böden (mikrobielle Aktivität, bio- und geochemische Stoffkreisläufe),
- Hydrologie (extreme Abflussereignisse, Wasserverfügbarkeit),
- Landwirtschaft, Forsten (Ertragsbeeinflussung, Krankheitsbefall),
- Wirtschaft (Auswirkungen auf Tourismus),
- Energie- und Wasserverbrauch (Kühlung, Beregnung),
- Landschaft (Veränderungen des Landschaftsbildes),
- Gesundheit (Hitzestress, Allergien, Infektionskrankheiten).

## **2. Auftrag und Ziel**

Aus den unter Kapitel 1 dargestellten Problembereichen leiten sich Auftrag und Ziel für die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg ab. Letztendlich ist die rechtzeitige Erstellung von Prognosen und Szenarien zu den Auswirkungen von Klimaveränderungen für eine umfassende Politikberatung, Information der Öffentlichkeit aber auch zur Erfüllung gesetzlich verankerter Berichtspflichten nötig. Ziel ist die Erweiterung der Kenntnisse über klimainduzierte Veränderungen in der Umwelt.

## **3. Vorgehensweise**

Verschiedene Ereignisse und Beobachtungen in den vergangenen 10-15 Jahren in Baden-Württemberg ließen eine Befassung mit den Thema „Klimaveränderungen“ notwendig erscheinen. Dies waren:

- sich häufende, extreme Hochwasserereignisse,
- der Orkan Lothar sowie die Stürme Wiebke und Vivian mit ihren verheerenden Auswirkungen auf die Wälder,
- der Zustrom und Ausbreitung wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten,
- das mögliche Vordringen von Krankheitsüberträgern für Mensch, Tier und Pflanze.

Es war die Gesamtheit solcher Ereignisse und Beobachtungen, die vermuten ließen, dass solche Ereignisse im Zusammenhang mit Klimaveränderungen stehen könnten. In Baden-Württemberg wurde deshalb ein Umweltpolitischer Schwerpunkt „Klimafolgen für Baden-Württemberg“ aufgelegt. Die zu behandelnden Themenbereiche umfassen Auswirkungen auf die belebte Umwelt, die Hydrologie, Wirtschaft und Landnutzung sowie den Aspekt Mensch und Gesundheit. Zusätzlich wurde ein Forschungs-Verbundvorhaben „Klimawandel - Auswirkungen - Risiken - Anpassung“ (KLARA) eingerichtet.

In den nachfolgenden Abschnitten wird zum Themenbereich „Auswirkungen auf die belebte Umwelt“ berichtet werden. Hierzu werden eigene Daten aus dem Ökologischen Wirkungskataster, dem Natur- und Artenschutz, dem Gewässerschutz und dem Bodenschutz aufbereitet und ausgewertet. Darüber hinaus finden aber auch Fremddaten Berücksichtigung, wie z.B. Daten des Deutschen Wetterdienstes, aus dem Land- und Forstwirtschaftsbereich, von Forschungseinrichtungen (u. a. Universitäten, Museen). Zusätzlich erfolgt eine Literaturlauswertung zu diesem Themenbereich.

## **4. Ergebnisse**

Bei den hier aufgeführten Ergebnissen handelt es sich teilweise um erste Befunde, die in den nächsten Jahren noch einer genaueren Prüfung unterzogen werden müssen. Jedoch korrespondieren diese Ergebnisse gut mit anderen veröffentlichten Beobachtungen.

Seit 1984 wird bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) ein medienübergreifendes biologisches Messnetz, das Ökologische Wirkungskataster betrieben (Abb.1, Abb. 2). Damit werden Art und Ausmaß von Immissionswirkungen (hier Luftverunreinigungen) auf Ökosysteme bzw. Ökosystem-Kompartimente im Wald, auf Grünlandflächen und in Fließgewässern untersucht und bewertet. Hierzu werden ausgewählte Pflanzen- und Tierarten als Bioindikatoren u.a. auf Schadstoffgehalte, Veränderung ihrer Zustände und ihres Verhaltens, des Vorkommens oder Fehlens untersucht. Dadurch steht eine Vielzahl an Daten und Ergebnissen zu abiotischen und biotischen Aspekten zur Verfügung. Aufgrund der Dauerbeobachtung der verschiedenen Untersuchungsflächen lassen sich Zeitreihen zu den genannten Themen- und Problembereichen erstellen. Darüber hinaus wurde damit begonnen diese Daten unter dem Aspekt „Klimaveränderung“ auszuwerten.



Abb. 1: Bioindikation im Rahmen des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg

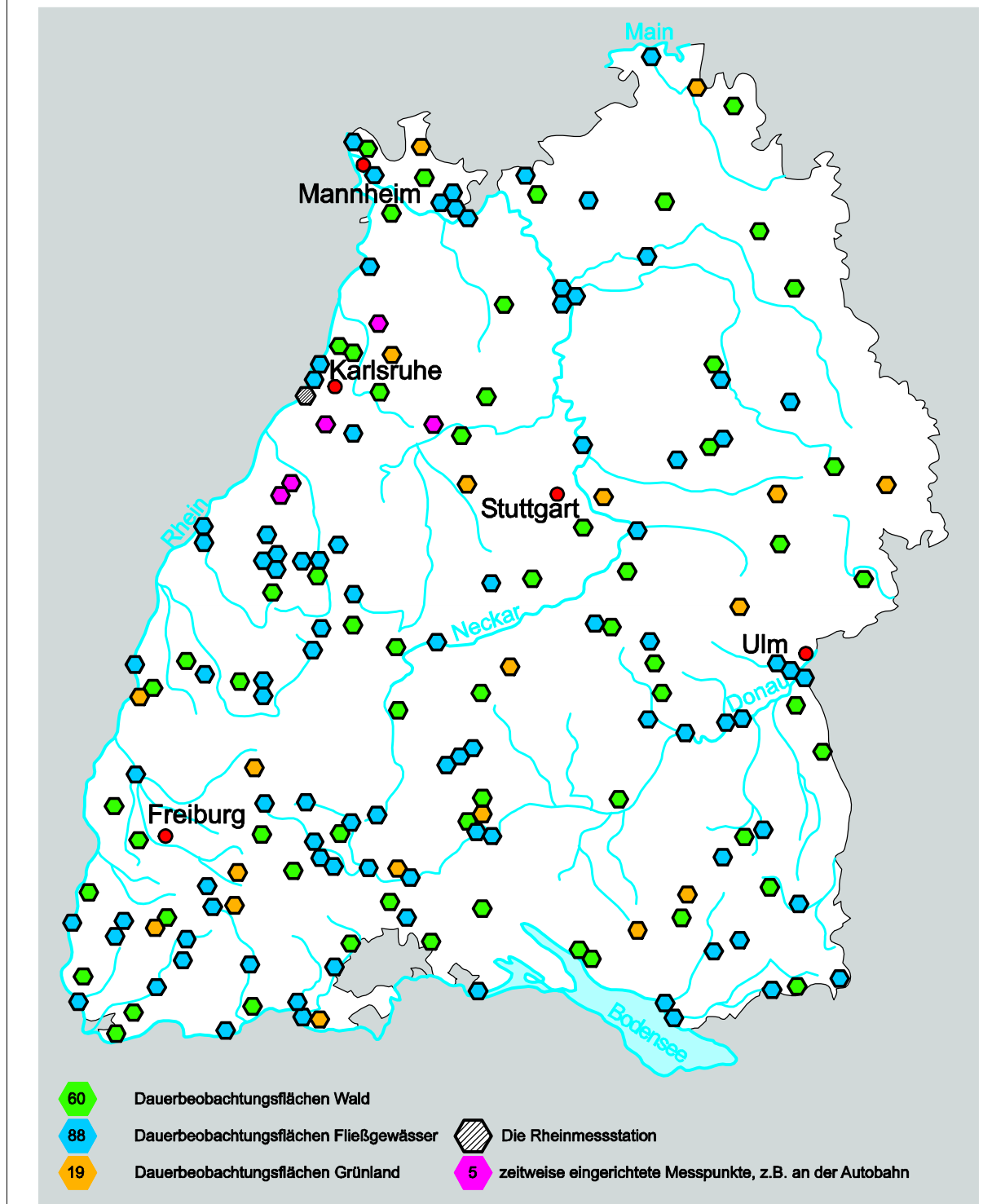


Abb. 2: Messnetze des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg

## **Bodenorganismen**

Im Rahmen der Auswertungen zum Ökologischen Wirkungskataster wurden 10 Bodenorganismengruppen (Collembola, Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae, Gastropoda, carnivore und phytophage Coleoptera, Oribatida, Chilopoda, Opiliones) unter den Gesichtspunkten Klima, Bodengüte, geografische Lage, Vegetation und Biodiversität untersucht. Als ein Ergebnis wurde festgestellt, dass auf den klimatisch begünstigten Untersuchungsflächen eine höhere Artenvielfalt anzutreffen war. Darüber hinaus ergaben sich erste Hinweise, dass Arten aus Tieflagen in höher gelegene - und bisher nicht besiedelte - Untersuchungsflächen vordringen, da sich dort die klimatischen Verhältnisse langsam ändern. Dies ist ein Befund der sich auch durch die Auswertung phänologischer Daten (s. unten) und durch Beobachtungen bei anderen Tierarten bestätigen lässt. In den kommenden Jahren sollen diese Ergebnisse durch weitere Untersuchungen verifiziert werden.

## **Vogelwelt**

Die bisher genannten Ergebnisse korrespondieren gut mit anderen Beobachtungen (Berthold 1997, 1998), wie z. B.

- Vordringen von Vogelarten nach Norden in bisher von diesen Arten nicht besiedelte Gebiete,
- Änderungen von Zugverhalten, Zugrouten, Zugzeiten,
- Änderung von Überwinterungsstrategien,
- Änderung der Brutzeitpunkte in den zurückliegenden Jahren.

Auch das Vordringen in bisher nicht besiedelte Höhenlagen konnte bei Vogelarten festgestellt werden. So hat der Auerhahn seine Aufenthaltsbereiche nach oben, in höhere Lagen des Schwarzwaldes erweitert. Außerdem beginnt die Mauser früher, was für die Tiere zu einer Gefährdung bei Spätfrösten führen kann (Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg, mündl. Mitt.).

## **Subalpine Faunen- und Florenelemente**

Über die Vogelfauna hinaus, gilt es die Frage zu beantworten, ob der Bestand von subalpinen Faunen- und Florenelementen (wie z. B. Alpendost *Adenostyles alliariae*, Alpen-Milchlattich *Cicerbita alpina*, Alpenblattkäfer *Chrysochloa alpestris*) in den Höhenlagen des Schwarzwaldes vor dem Hintergrund eines Temperaturanstiegs noch gesichert ist. Zur Beantwortung dieser Fragestellung werden die im Untersuchungsprogramm befindlichen 19 Grünland- Dauerbeobachtungsflächen der LfU herangezogen, die sich landesweit in Höhenlagen zwischen 100 - 1470 m über NN befinden (vgl. Abb. 2). Somit kann ein relativ breites Temperaturspektrum mit Untersuchungsflächen abgedeckt werden, die die klimabegünstigte, ja fast mediterrane Rheinebene sowie mittlere Höhenlagen bis hin zur subalpinen Region mit entsprechender Fauna und Flora umfassen.

## **Vegetationsaufnahmen und phänologische Daten**

Für die Wald-Dauerbeobachtungsflächen an denen im Zusammenhang mit Vegetationsuntersuchungen die Artenvielfalt, Sukzession, pflanzensoziologische Aspekte, Flächenanteile einzelner Pflanzen in Untersuchungsquadraten seit 1985 erhoben wurden, gibt es inzwischen ebenfalls auffällige Befunde. So stieg im Untersuchungszeitraum 1985 bis 1997 der Deckungsgrad von Efeu (*Hedera helix*) - einer Indikatorart für wintermildes Klima - an den Waldflächen von 1,4 % auf 4,2 %.

Ebenfalls ausgewertet wurden phänologischen Daten (Quelle: DWD) der letzten 30 Jahre für Baden-Württemberg (Abb. 3). Diese Auswertung zeigte beispielsweise, dass im Zeitraum

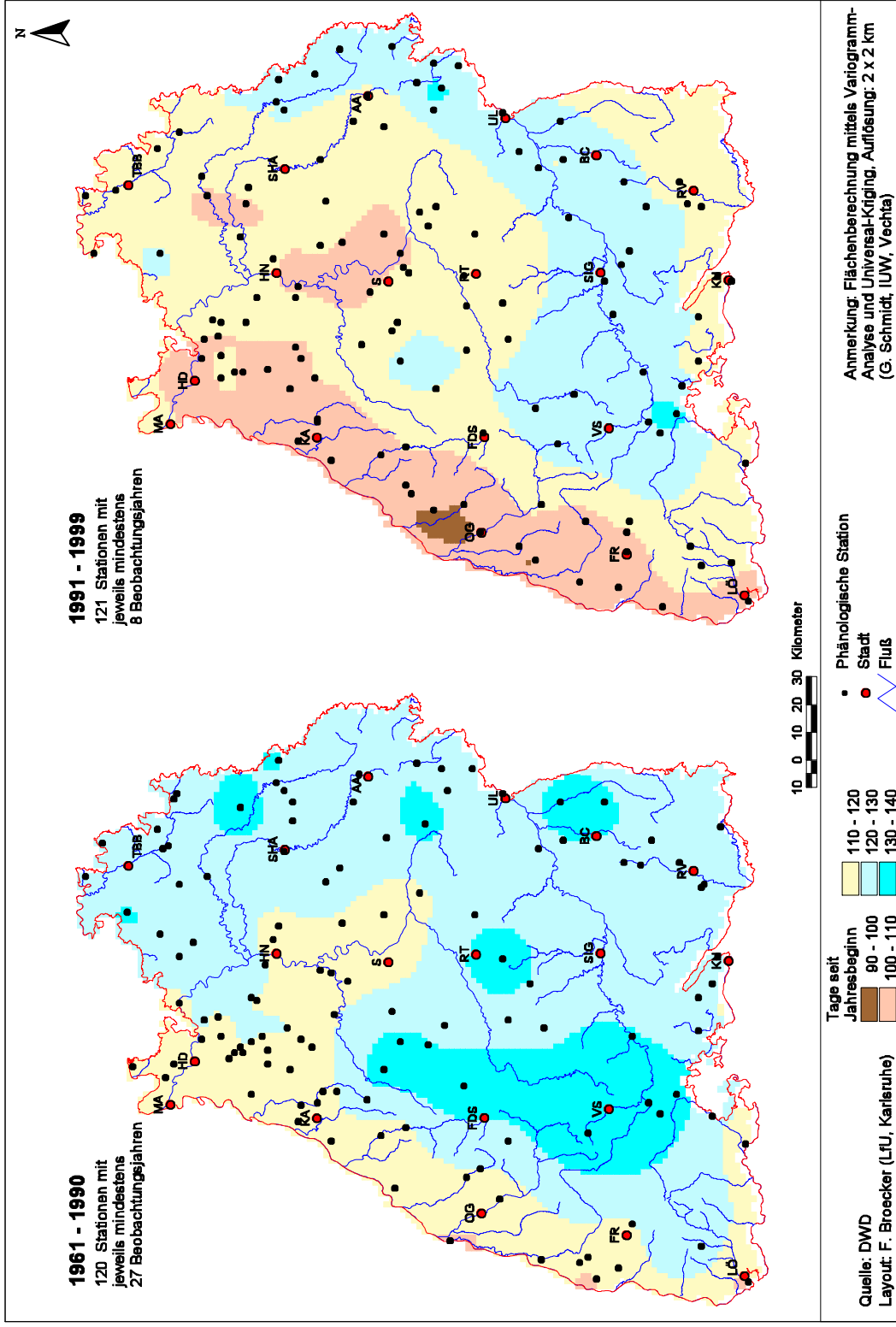


Abb 3: Durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte - Vergleich der Perioden 1961 - 1990 und 1991 - 1999.



1990 bis 1999 ein früherer Frühlingsbeginn um bis zu 10 Tagen gegenüber dem Mittel aus den Jahren 1961 bis 1990 eingetreten ist. Auch die räumlichen Verteilungsmuster von Gebieten mit früherem Frühlingsbeginn (indiziert über den Beginn der Apfelblüte) zeigen bei einem Vergleich der beiden untersuchten Zeiträume deutliche Änderungen. So nehmen die Gebiete mit einem früheren Beginn der Apfelblüte im Zeitraum 1990 bis 1999 deutlich zu und schließt auch Gebiete ein, die für ihr rauheres Klima bekannt sind. Nutzen ist aus solchen Ergebnissen in mehrfacher Hinsicht zu ziehen. Es können Gebiete ausgegliedert werden, in denen es aufgrund der klimatischen Entwicklung für den Menschen zu gesundheitlichen Belastungen durch Hitzestress und hohe Luftfeuchtigkeit kommen kann (z.B. Oberrheinebene). Gleichzeitig sind dies aber auch Gebiete in die wärmeliebende Tier- und Pflanzenarten (darunter auch Schädlinge und Krankheitserreger) bevorzugt einwandern können. Für die Land- und Forstwirtschaft ergeben sich Hinweise für den Zeitpunkt des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, für die Sortenwahl von Nutzpflanzen sowie Hinweise bezüglich der Erntezeitpunkte, aber auch im Hinblick auf Spätfrostgefahren für den Wein- und Obstbau.

### **Zustrom gebietsfremder Arten**

Für Baden-Württemberg wurde außerdem ein Zustrom gebietsfremder bzw. wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten, insbesondere mediterraner Faunen- und Florenelemente festgestellt. Mehrere Libellenarten (u.a. Südl. Mosaikjungfer, *Aeshna affinis*, s. Abb. 4; Südl. Heide-libelle *Sympetrum meridionale*, Südl. Blaupfeil, *Orthetrum brunneum*) aus dem mediterranen Raum sind in den vergangenen 10-15 Jahren in den süddeutschen Raum eingewandert (OTT 2000). Auch die Ausbreitung der Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) ist hierfür ein gutes Beispiel (Abb. 5).



**Abb. 4: Die Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*), - eine in Süddeutschland eingewanderte mediterrane Libellenart. (Foto: H.-P. DÖLER).**

### **Krankheitsüberträger (Vektoren)**

Der Zustrom gebietsfremder Organismen, darunter subtropische und tropische Schädlinge und Krankheitserreger bringt für unsere Breiten bisher nicht gekannte bzw. auch wiederkehrende Gefahren für (Nutz-)Pflanzen und (Nutz-)Tiere sowie für den Menschen mit sich (BÖCKER et al. 1995, GEBHARDT et al. 1996).

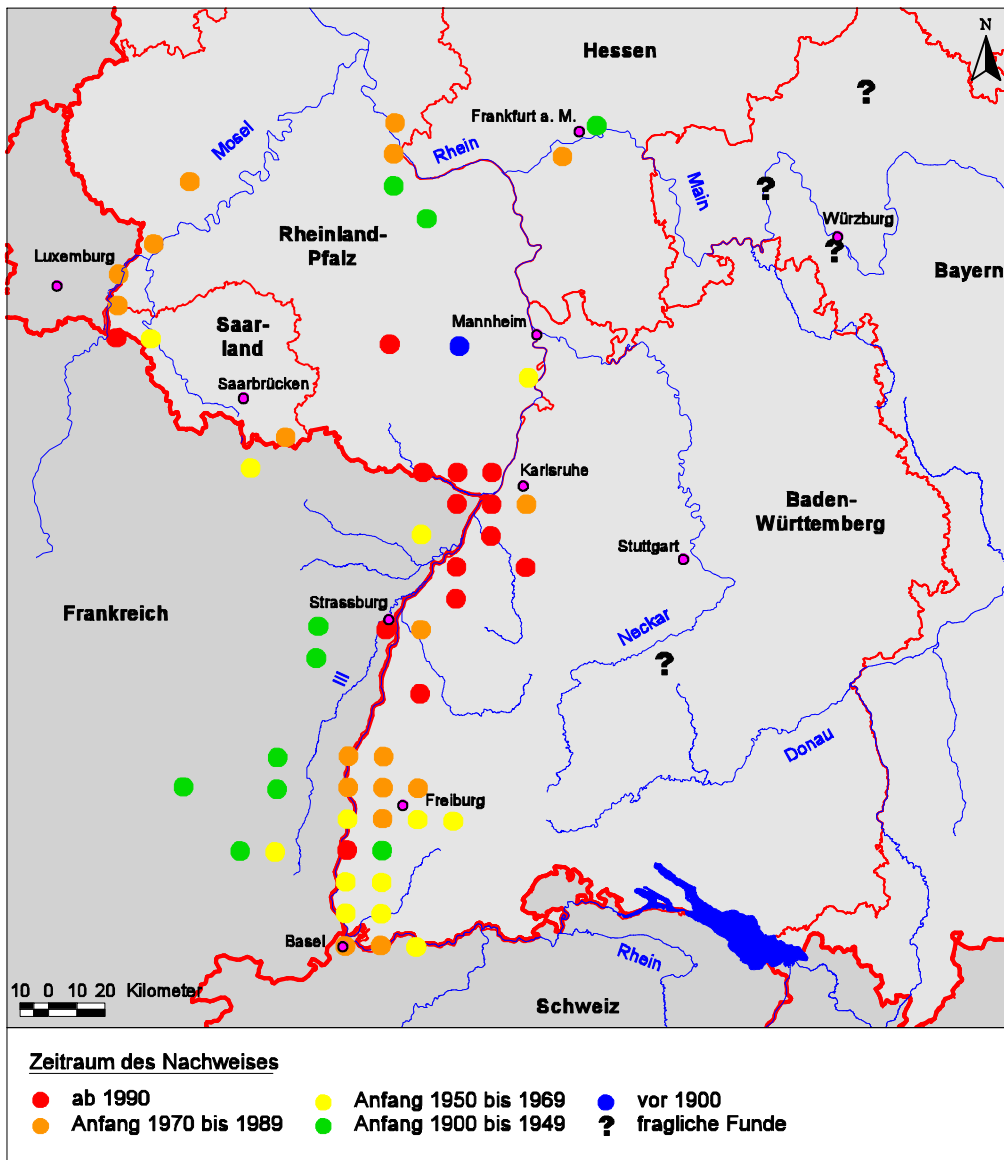




Abb. 5: Nachweise der Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) in Deutschland und Nachbargebieten. (verändert nach BRECHTEL et al. 1996). (Foto: F. BRECHTEL).

Speziell für den Menschen ergeben sich Gefahren durch von Vektoren übertragene Krankheiten, die sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland verstärkt ausbreiten, wie z. B. FSME oder Borreliose, wobei jeweils die Zecke (*Ixodes ricinus*) als Vektor fungiert (vgl. Abb. 6). Durch die Einschleppung des Tigermoskitos *Aedes albopictus* nach Italien und Frankreich ist hiermit ein Gelbfieber- und Denguefieber-Vektor nach Europa gelangt (MAEZO-Projekt 2001). Eine potentielle Gefahr für die Menschen in der Oberrheinischen Tiefebene ist dadurch gegeben, dass das Oberrheingebiet über die Burgundische Pforte eine Verbindung nach Italien und Frankreich besitzt, die sich als Invasionspfad für den Tigermoskito eignet. Auch der Malaria-Vektor, die *Anopheles*-Mücke (*Anopheles sp.*) ist in der Oberrheingebiet anzutreffen. Früher wurden Malariaerkrankungen auch für das Oberrheingebiet registriert. Nach WEYER (1956) gibt es jedoch in Deutschland seit 1951 keine Malariagebiete mehr. Hierbei scheint die Veränderung ökologischer Verhältnisse eine Rolle zu spielen (GABRIEL 1965).

<b>Krankheit</b>	<b>Erregertyp</b>	<b>Überträger (Vektoren)</b>
<b>Malaria</b>	<b>Protozoen</b>	<b><i>Anopheles</i>-Arten (Mücken)</b>
<b>Gelbfieber</b>	<b>Viren</b>	<b><i>Aedes</i>-Arten (Mücken)</b>
<b>Lyme-Borreliose</b>	<b>Bakterien</b>	<b><i>Ixodes ricinus</i> (Zecke)</b>
<b>Frühsommer- meningoenzephalitis (FSME)</b>	<b>Viren</b>	<b><i>Ixodes ricinus</i> (Zecke)</b>

**Abb. 6: Vektorkrankheiten, Erreger und Vektoren.**  
(verändert nach TOTH et al. 1996)

## 5. Ausblick

Klimarelevante Untersuchungsprogramme sind in Baden-Württemberg im Aufbau begriffen. Zu den bisherigen, ersten Ergebnissen müssen weitere Daten, Befunde und Informationen im Hinblick auf die Klimathematik ausgewertet werden, um fundierte Kenntnisse über die aktuelle Situation sowie zukünftige Entwicklungen zu erhalten. Die Vorgehensweise muss hierbei von modernen Verfahren (Nutzung von Geografischen Informationssystemen und Methoden der Bio- und Geostatistik) bestimmt sein, die es erlauben, die Vielfalt an Daten und Informationen zu erheben und medienübergreifend auszuwerten. Letztendlich führt die Befassung mit dem Klimathema zum besseren Verständnis des Zustandes und der Veränderung der Umwelt bzw. des Naturhaushaltes. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um umweltpolitische Maßnahmen (u.a. Anpassungsstrategien) zielführend zu gestalten.

## 6. Literatur:

Berthold, P. (1997): Wandel der Avifauna Mitteleuropas im Zuge rezenter Umweltveränderungen. In: Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Zugvögel - Botschafter weltweiter Klima- und Lebensraumveränderungen. - Tagungsdokumentation. Stuttgart:11-16.

Berthold, P. (1998): Vogelwelt und Klima - gegenwärtige Veränderungen. - Naturw. Rdsch., 51:337-346.

Brechtel, F., Ehrmann, R. & P. Detzel (1996): Zum Vorkommen der Gottesanbeterin *Mantis religiosa* (LINNÉ, 1758) in Deutschland. - *Carolinea*, 54: 73-90. Karlsruhe. 216 S.

Böcker, R., Gebhardt, H., Konold, W., & S. Schmidt-Fischer - Hrsg. (1995): Gebietsfremde Pflanzenarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope, Kontrollmöglichkeiten und Management. - Ecomed Verlag, Landsberg. 215 S.

Gabriel, A. (1965): Geographische Probleme der Malaria. – *Anz. Schädlingssk.*, 38:145-150.

Gebhardt, H., Kinzelbach, R. & S. Schmidt-Fischer - Hrsg. (1996): Gebietsfremde Tierarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope - Situationsanalyse. - Ecomed, Landsberg. 314 S.

IPCC (2001): Global Change 2001 - The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press.

MAEzo-Projekt (2001): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren (Überträger) in Deutschland (MAEzo). - Internet-Bericht des Instituts für Medizinische Parasitologie, Universität Bonn. Bonn. 6 S.

Ott, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): Klimaveränderungen und Naturschutz. - *NNABer.*, 13. Jg., 2:13-35.

Toth, F., Hizsnyik, E., Fröhlich, A. & M. Stock (1996): Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg - Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (Hrsg.): Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg. - Pilotstudie:92-117.

Weyer, F. (1956): Bemerkungen zum Erlöschen der ostfriesischen Malaria und zur *Anopheles*-Lage in Deutschland. – *Z. Tropenmedizin u. Parasitologie*: 219-228.

**Simulation der Klimaänderung in Sachsen  
unter einem 2 x CO<sub>2</sub>-Szenario**

**Wilfried Küchler**

**Sächsisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie**

**Kontaktinformationen**

**Tel.: (0351) 8312-639**

**E-Mail: [Wilfried.Kuechler@lfug.smul.sachsen.de](mailto:Wilfried.Kuechler@lfug.smul.sachsen.de)**

# Simulation der Klimaänderungen in Sachsen unter einem 2xCO<sub>2</sub>-Szenario

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

Die schon erkennbare und erwartete Klimaveränderung stellt die größte Herausforderung an den Schutz der Umwelt dar. Nach dem aktuellen IPCC-Bericht wird sich die globale Mitteltemperatur in diesem Jahrhundert um bis zu ca. 6 Grad erhöhen, wenn auf internationaler Ebene keine drastischen Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen eingeleitet werden. Weitere Erkenntnisse sind, dass

- anthropogene Treibhausgas-Emissionen diese Entwicklung nachweisbar verursachen;
- die Existenz künftiger Generationen gefährdet ist
- und der Klimawandel mehrere Jahrhunderte andauern wird.

Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahrzehnten erhebliche Absenkungen des weltweiten Energieverbrauchs nötig sein werden, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf ein "klimaverträgliches Niveau" zu stabilisieren (weltweit ist bis 2050 eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um mindestens 50% erforderlich). Ein durchgreifender Erfolg auf dieser Ebene wird aufgrund der aktuellen Entwicklung der internationalen Klimaschutzpolitik nicht erwartet. Vor diesem Hintergrund gewinnen regionale Strategien im Sinne eines integrierten Klimaschutzes zunehmend an Bedeutung.

In Sachsen wird ein **Integriertes Klimaschutzkonzept** mit aufeinander abgestimmten Maßnahmen angesteuert, das folgende Schwerpunkte einschließt:

- *Beitrag zur Vermeidung der Ursachen des globalen Klimawandels (Senkung der Treibhausgasemissionen = **Sächsisches Klimaschutzprogramm**)*
- **Diagnose und Projektion** (Szenarien) des Klimawandels
- **Klimafolgenforschung** (Entwicklung von Anpassungs-Strategien an veränderte Klimabedingungen)

Neben dem Klimaschutzprogramm besteht demnach ein Hauptziel darin, das künftige Klima auf dem neuesten wissenschaftlichen Stand mit möglichst geringer Fehlerbreite zu prognostizieren, die möglichen Klimafolgen abzuschätzen und für die einzelnen Schutzgüter fallweise notwendige Maßnahmen einzuleiten. Im Rahmen entsprechender Forschungsprojekte wird in Sachsen der Fragestellung nachgegangen, welche Klimatrends in den vergangenen 50 Jahren bereits zu verzeichnen sind (*Klimadiagnose*) und mit welchen regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels in den nächsten 50 Jahren gerechnet werden muss (*Klimaprojektion*).

*Auf Basis der Untersuchungen resultieren folgende Ergebnisse:*

## ***Klimadiagnose***

In den vergangenen 50 Jahren hat sich die Jahresmitteltemperatur in Sachsen um durchschnittlich 1 Grad Celsius erhöht. Die deutlichste Temperaturzunahme ist dabei im Winter mit 1,4 bis 2,6 Grad festzustellen. Auffallend ist eine markante Niederschlagsabnahme in Nord-sachsen mit 10 bis 30 %. Besonders in diesen Regionen nehmen Andauer und Häufigkeit von Trockenperioden in der Vegetationszeit zu. Winterniederschläge zeigen vielerorts eine Ten-

denz zur Zunahme, während gleichzeitig die Dauer und Mächtigkeit der Schneedecke in den sächsischen Mittelgebirgen abgenommen hat.

In Übereinstimmung mit diesen Tendenzen ist seit Anfang der siebziger Jahre im Winterhalbjahr eine Zunahme der wintermilden Westwetterlagen, im Sommerhalbjahr andererseits eine Abnahme der sommerkühlen West- und Nordwestwetterlagen zu verzeichnen. Diese Tendenzen und Trends werden insgesamt als Indikatoren für einen bereits stattfindenden Klimawandel angesehen.

### **Klimaprojektion**

Aufgrund der besonderen Sensibilität des Klimas in Mittelgebirgsregionen gegenüber Änderungen der atmosphärischen Zirkulation bzw. Häufigkeitsverteilung der Großwetterlagen in Mitteleuropa wurde ein geeignetes statistisches Downscaling-Verfahren den sächsischen Klimacharakteristiken angepasst und für ein 2xCO<sub>2</sub>-Szenario eingesetzt. Es basiert auf einer Regionalisierung der globalen Modellergebnisse mit Hilfe statistischer Beziehungen (Kombination von Wetterlagenklassifikation und nachfolgender multipler Regression) und erlaubt die Berücksichtigung großräumiger atmosphärischer Prozesse. Das Verfahren stützt sich gegenwärtig auf Ergebnisse von Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM4-OPYC-T42 des DKRZ Hamburg. Das Szenario erfolgte unter der Annahme einer Verdopplung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre und umfasst einen Zeitraum von etwa 2040 bis 2060.

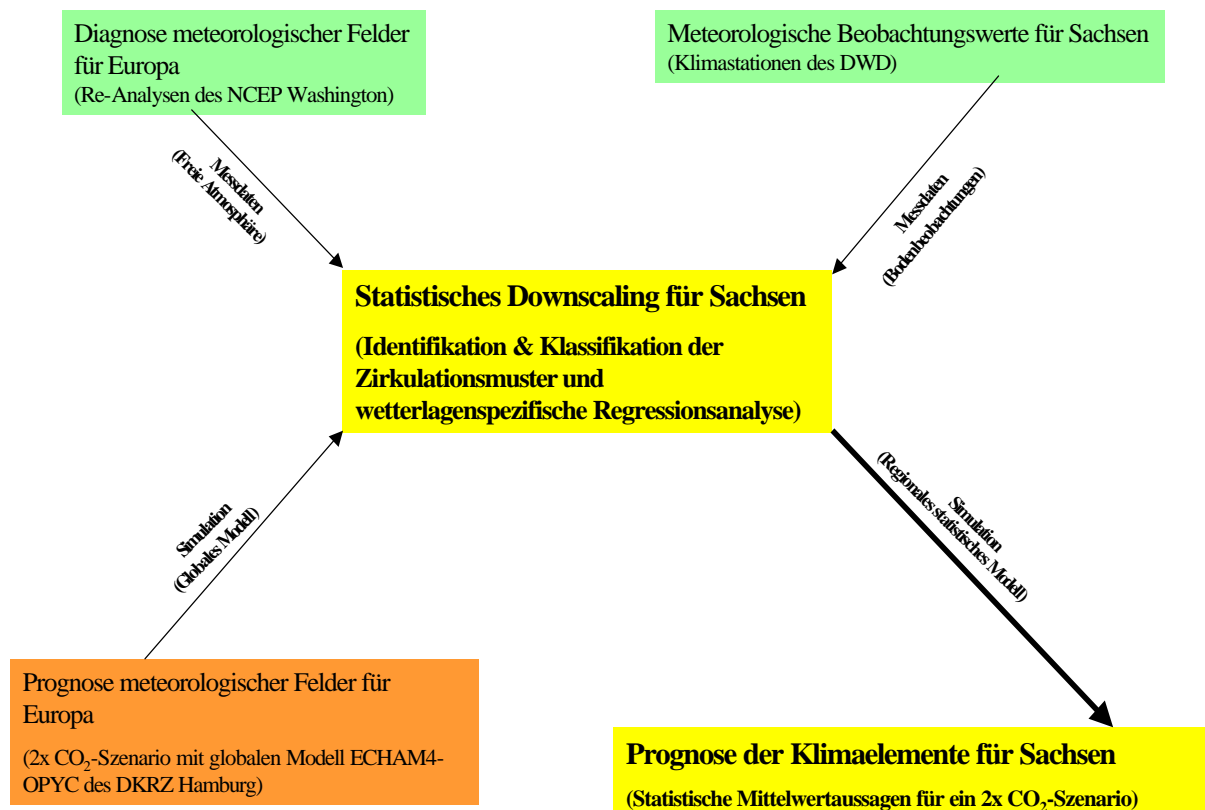
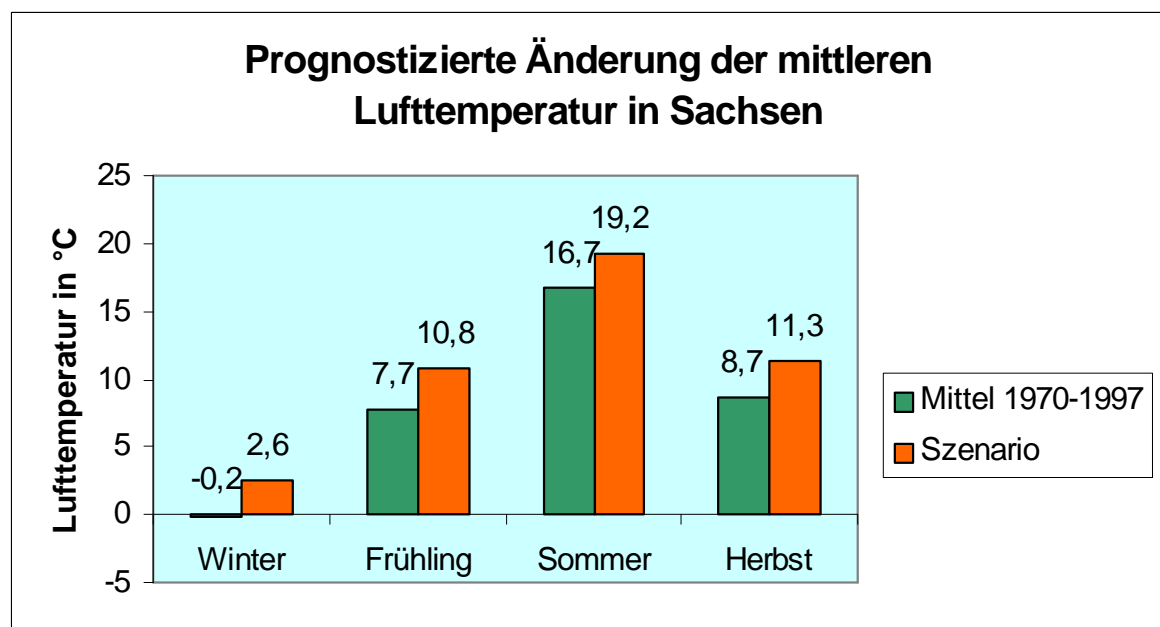


Abb. 3: Prinzipskizze des sächsischen Regionalisierungsverfahrens

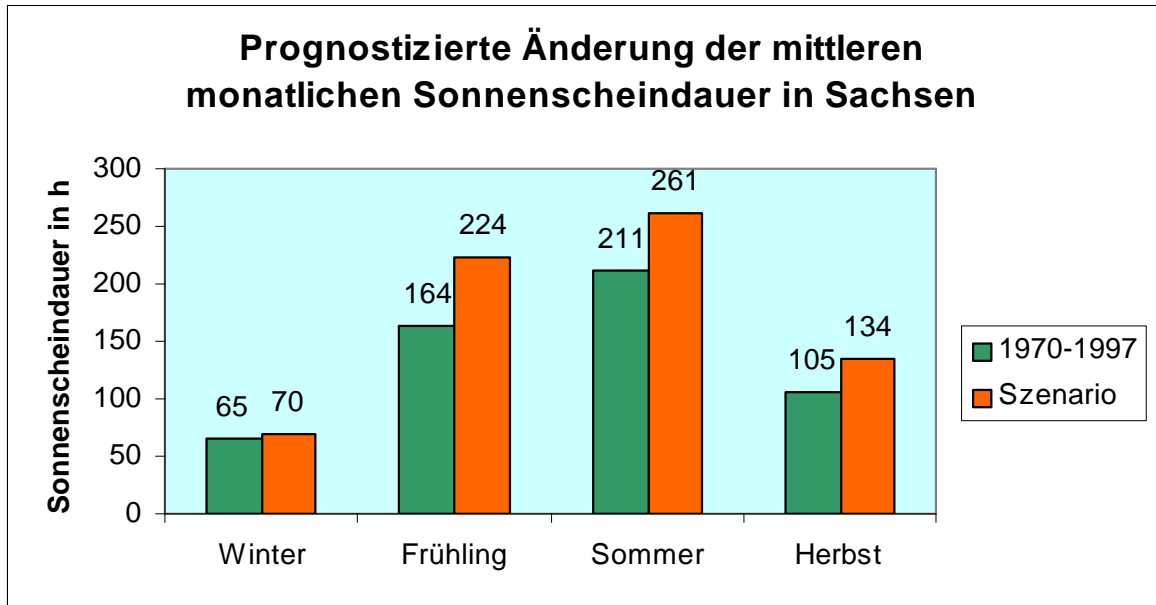
*Gegenwärtig wird das dargestellte Regionalisierungsverfahren mit Blick auf die Simulation von Extremwerten und Extremsituationen weiterentwickelt. Auch dieses qualifizierte Verfahren beruht auf einer objektiven Wetterlagen-Klassifikation. Die regionalen Klimaänderungen bestimmen sich dann ebenfalls aus der prognostizierten Änderung der Häufigkeitsverteilung der Wetterlagen. Auf der Grundlage des neuen Simulationsmodells können der sächsischen Klimafolgenforschung voraussichtlich ab 2003 aktualisierte Datensätze zur Verfügung gestellt werden. Entsprechende Aussagen werden insbesondere in den Bereichen Forst-, Wasser- und Landwirtschaft bei der Abschätzung der spezifischen Folgen des erwarteten Klimawandels benötigt. Sie können beispielsweise für die langfristige Planung der Talsperrenbewirtschaftung zugrunde gelegt werden, wo die Bemessung der Talsperren auf der Grundlage von Extremereignissen vollzogen wird; sowohl betreffs Auswertung von Niedrigwasserperioden als auch von Hochwasserereignissen.*

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts sind gemäß Modellsimulation mittels des statistischen Regionalisierungs-Verfahrens unter einem 2xCO<sub>2</sub>-Szenario voraussichtlich folgende Klimaänderungen in Sachsen zu erwarten:

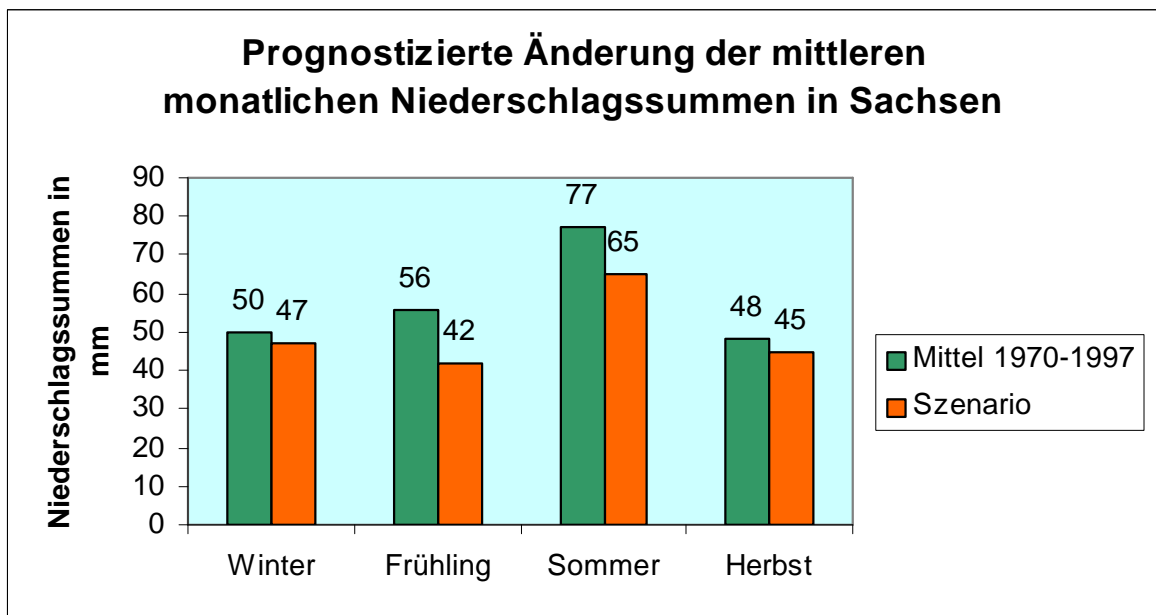
- Es ist mit größeren Häufigkeiten warmer Wetterlagen in Verbindung mit vorherrschender Südwestanströmung und damit einer Verstärkung der mit Niederschlagsabschwächung verbundenen Lee-Effekte nördlich des Erzgebirges zu rechnen.
- Die mittlere Jahrestemperatur wird um bis zu 2,7 Grad ansteigen; im Frühjahr kann es bezüglich der Maximumtemperatur bis zu 4 Grad wärmer werden. Die Sonnenscheindauer nimmt vor allem im Frühjahr und Sommer deutlich zu.







- Die jährlichen Niederschlagssummen werden voraussichtlich abnehmen. Ein drastischer Rückgang ist vor allem im Frühjahr und Sommer zu erwarten und damit wird es in der Vegetationsperiode wesentlich trockener.



Gemäß dieser Projektion relevanter Klimaparameter setzen sich beobachtete Klimatrends in Sachsen in der Zukunft voraussichtlich **verstärkt** fort. Erste Klimafolgen-Szenarien für Talsperren-Zuflüsse und die Entwicklung potenzieller Waldgesellschaften zeigen, dass auf der Basis des simulierten Klimawandels in Sachsen etwa Mitte des 21. Jahrhunderts mit dramatischen Konsequenzen für Wasserhaushalt und Vegetation gerechnet werden muss.

# **Anhang**

## **Ergebnisse des Workshops und Teilnehmerverzeichnis**

## Ergebnis der Abschlussdiskussion<sup>1</sup>

Es wurde allgemein begrüßt, dass ein solcher Workshop durchgeführt wurde. Der Inhalt wurde als sehr interessant und die Veranstaltung als gelungen bezeichnet.

Von mehreren Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurde angeregt, Informationsnetze zu bilden. Dies sei sowohl innerhalb Hessens als auch zwischen den Bundesländern sinnvoll und wichtig.

Verbesserungsvorschläge lassen sich in die Kategorie „Spezialisierung“ einordnen. Von Handwerkern (Schornsteinfeger) wurde bemängelt, dass zu wenige konkrete Hilfestellungen angeboten wurden. Von Vertretern der Industrie wurde vorgeschlagen, weitere Veranstaltungen mit sektoraler Schwerpunktsetzung durchzuführen. (Beispielsweise getrennte Workshops für Industrie, Handwerk/Kleingewerbe, Gebäudebestand, Verkehr etc.) Durch eine solche Fokussierung sollte das Ziel der Konkretisierung erreicht werden.

Die Veranstalter werden die Anregungen aufgreifen und weitere Workshops sektoral organisieren. Ferner wird geprüft, ob eine Vernetzung im Rahmen des geplanten Umweltportals möglich ist. Die Zusammenarbeit zwischen den Landesanstalten und –ämtern für Umwelt im Bereich Klimaschutz steht bereits auf einer soliden Grundlage, wird aber, aufgrund der Anregungen auf dem Workshop, weiter intensiviert.

---

<sup>1</sup> In dieser Zusammenfassung sind alle Rückmeldungen enthalten, die bis zum 18. November 2002 beim HLUG eingingen. Also die Ergebnisse der Diskussion am 19. September 2002 und schriftliche sowie mündliche Meinungsbeiträge an das HLUG.

# 1. Hessischer Klimaschutzworkshop 19.9.2002

## Teilnehmerliste

1. Alcamo, Prof. Dr. Joseph, Universität Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel, Tel.: (0561) 804-3898
2. Bahr, Waldemar, Stiftung Arbeit und Umwelt der IG Bergbau-Chemie-Energie, Königsworther Platz 6, 30167 Hannover, Tel.: (0511) 7631-409
3. Bolze, Dr. Rudolf, Industriepark Wolfgang GmbH, IPW-US-84-216, Postfach 1345, 63403 Hanau, Tel.: (06181) 59-3222
4. Fachinger, Markus, Regierungspräsidium Darmstadt, Abteilung Staatliches Umweltamt Darmstadt, 64278 Darmstadt, Tel.: (06151) 12-3758
5. Fooker, Dr. Cornelia, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dezernat I 1, Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden, Tel.: (0611) 6939-296
6. Fuchs, Sascha, Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, Qualitäts-/Sicherheits-/Umweltmanagement, Grüner Weg 37, 63450 Hanau, Tel.: (06181) 38-2796
7. Gebhardt, Dr. Harald, Landesanstalt für Umweltschutz, Griesbachstraße 1, 76185 Karlsruhe, Tel.: (0721) 983-1222
8. Grünhage, Privatdozent Dr. Ludger, Institut für Pflanzenökologie, Justus-Liebig-Universität, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Gießen, Tel.: (0641) 99-35314
9. Hoffmann, Walter, RWE Power AG, EZ-U, Huysenallee 2, 45128 Essen, Tel.: (0201) 12-22095
10. Hoffmann-Buhr, Kerstin, DekaBank, Deutsche Girozentrale, Mainzer Landstraße 16, 60325 Frankfurt, Tel.: (069) 7147-2246
11. Hofmann, Norbert, Landrat des Kreises Bergstraße, Gräffstraße 5, 64646 Heppenheim, Tel.: (06252) 15345
12. Kammann, Dr. Claudia, Institut für Pflanzenökologie, Justus-Liebig-Universität, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Gießen, Tel.: (0641) 99-35333
13. Kieper, Harry, Schornsteinfeger-Innung für den Bezirk der Handwerkskammer Kassel – Abt. Technik, 34302 Guxhagen-Wollrode, Tel.: (06468) 912937
14. Kloos, Rudi, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. Sektion Hanau/Osthessen, Wachenbuchener Straße 12, 63454 Hanau, Tel.: (06181) 79179
15. Koch, Tobias, Steinbeis „Emissionshandel und Klimaschutz“, Burgauer Straße 44, 86156 Augsburg, Tel.: (0171) 7557480, E-Mail: koch@bvek.de
16. Kronenberger, Martin, Mainova AG, Solmsstraße 38, 60623 Frankfurt, Tel.: (069) 213-22861
17. Küchler, Wilfried, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden, Tel.: (0351) 8312-639
18. Kunka, Rainer, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Prüssingstraße 25, 07745 Jena, Tel.: (03641) 684-231
19. Lau, Dr. Jürgen, Infracorv GmbH & Co. Höchst KG, Immissionsschutz D 787, 65926 Frankfurt, Tel.: (069) 305-6774
20. Lottmann, Jürgen, Leiter der Stabsstelle Umwelt, Kreditanstalt für Wiederaufbau, Palmengartenstraße 5-9, 60325 Frankfurt, Tel.: (069) 7431-3142
21. Marx, Dr. Peter, Fraport AG, Tel.: (069) 690-63108
22. Mitsch-Werthwein, Claudia, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart, Tel.: (0711) 126-2652
23. Mühlenbeck, Jürgen, Bezirksschornsteinfegermeister, Königsberger Straße 20, 35325 Mücke-Merlau, Tel.: (06400) 201685, E-Mail: Drews-Muehlenbeck@t-online.de
24. Nachtigall, Jörg, Gemeinde Mainhausen, Umweltamt, Rheinstraße 3, 63533 Mainhausen, Tel.: (06182) 8900-34
25. Ruffertshöfer, Klaus, Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, Qualitäts-/Sicherheits-/Umweltmanagement, Grüner Weg 37, 63450 Hanau, Tel.: (06181) 38-2359
26. Sartorius, Uwe, Bezirksschornsteinfegermeister, Römerstraße 33, 35423 Lich, Tel.: (06004) 1832
27. Schädler, Gerd, FZK, IMK-IFU, Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch, Tel.: (08821) 183-247
28. Schaldach, Rüdiger, Universität Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel, Tel.: (0561) 304-3966
29. Schiebel, Monika, Umweltbeauftragte Stadt Limburg, Werner-Senger Straße 10, 65549 Limburg, Tel.: (06431) 203382
30. Schmidt, Matthias, Bezirksschornsteinfegermeister, Meerholzer Straße 42, 60386 Frankfurt, Tel.: (069) 415221
31. Schreiber, Barbara, Fraport AG, Tel.: (069) 690-63120

32. Schröder, Helmut, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Referat I 6, Kaiser-Friedrich-Ring 75, 65185 Wiesbaden, Tel.: (0611) 815-2926
33. Schröder, Dr. Kirsten, Planungsverband Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main, Am Hauptbahnhof 18, 60329 Frankfurt, Tel.: (069) 25771552, E-Mail: kirsten.schroeder@pvfrm.de
34. Schweer, Rüdiger, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Referat V 14, Mainzer Straße 80, 65189 Wiesbaden, Tel.: (0611) 815-1543
35. Schweizer, Dipl.-Ing. Henrik, TU Darmstadt, Institut WAR, Fachgebiet Umwelt- und Raumplanung, Petersenstraße 13, 64287 Darmstadt, Tel.: (06151) 16-3448
36. Schwichtenberg, Uwe, Wagner & Co GmbH Solartechnik Regenwassernutzung, Zimmermannstraße 12, 35091 Cölbe, Tel.: (06421) 80070
37. Sperling, Ernst, Adam Opel AG, Leiter Ind. Umwelttechnik, 65428 Rüsselsheim, Tel.: (06142) 7-77442
38. Stephan, Dr. Karlheinz, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Rosenkavalierplatz 2, 81925 München, Tel.: (089) 9214-3406, E-Mail: Karlheinz..Stephan@stmlu.bayern.de
39. Stork, Mario, Bezirksschornsteinfegermeister, Hauptstraße 76, 65817 Eppstein, Tel.: (06198) 501701, E-Mail: mario.stork@web.de
40. Thinh, Dr. Dinh Van, ABB Lummus Global GmbH, Postfach 140 142, 65208 Wiesbaden, Tel.: (06134) 712-313
41. Thüne, Dr. Wolfgang, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Kaiser-Friedrich-Straße 1, 55116 Mainz, Tel.: (06131) 162342
42. Wagner, Johannes, Industrie- und Handelskammer, Börsenplatz 4, 60313 Frankfurt, (069) 2197-1293
43. Wagner, Thomas, Hauptstraße 18, 64579 Gernsheim, Tel.: (06258) 2698
44. Wehr, Stefan, Bezirksschornsteinfegermeister, Am Rossrain 18, 36100 Petersberg, Tel.: (0661) 9625236
45. Weingärtner, Nils, Bezirksschornsteinfegermeister, Ysenburgerstraße 4, 63571 Gelnhausen, Tel.: (06051) 61165, E-Mail: n.weingaertner@t-online.de
46. Wolf, Dr. Helmut, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dezernat I 1, Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden, Tel.: (0611) 6939-276, E-Mail: h.wolf@hlug.de