

**Aus dem Institut für Agrarökologie**

**Hans-Joachim Weigel  
Cathleen Frühauf  
Remigius Manderscheid**

**Ulrich Dämmgen  
Stefan Burkart**

**Zwischen Himmel und Erde : dem Kohlenstoff aus der  
Atmosphäre auf der Spur**

Manuskript, zu finden in [www.fal.de](http://www.fal.de)

Published in: Forschungsreport Verbraucherschutz, Ernährung,  
Landwirtschaft (2001)1, pp. 14-18

**Braunschweig  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)  
2001**



# Zwischen Himmel und Erde

## Dem Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf der Spur

Hans Joachim Weigel, Ulrich Dämmgen, Cathleen Frühauf, Stefan Burkart und Remi Manderscheid (Braunschweig)

**O**bwohl sich die Anzeichen für den so genannten „anthropogenen Treibhauseffekt“ mehren, ist bis heute offen, wie sich der Klimawandel konkret auf die Temperaturen und Niederschläge in Mitteleuropa auswirken wird. Sicher ist hingegen, dass sich die chemische Zusammensetzung unserer Erdatmosphäre fortlaufend und rasch ändert. Die Konzentrationen klimarelevanter Spurengase wie Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und insbesondere

Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) in der Atmosphäre nehmen weiter zu. Landwirtschaftlich genutzte Flächen sind sowohl Quellen als auch Senken für diese Spurengase, das heißt, sie geben die Gase ab, nehmen sie andererseits aber auch auf. Wie und in welchem Ausmaß klimatische und biologische Einflüsse sowie die Bewirtschaftung selbst die Stärke dieser Quellen- und Senkeigenschaften steuern, ist nur unzureichend bekannt. Vor diesem Hintergrund hat das Institut

für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) mit dem „Braunschweiger Kohlenstoff-Projekt“ ein umfangreiches Vorhaben begonnen, das sich mit dem Spurenstoffaustausch zwischen der bodennahen Atmosphäre und ackerbaulich genutzten Flächen befasst. Schwerpunkt ist die Analyse des Kohlenstoffumsatzes. Dazu wird auch ein künftiger, erhöhter  $\text{CO}_2$ -Anteil in der Atmosphäre unter realen Feldbedingungen simuliert.

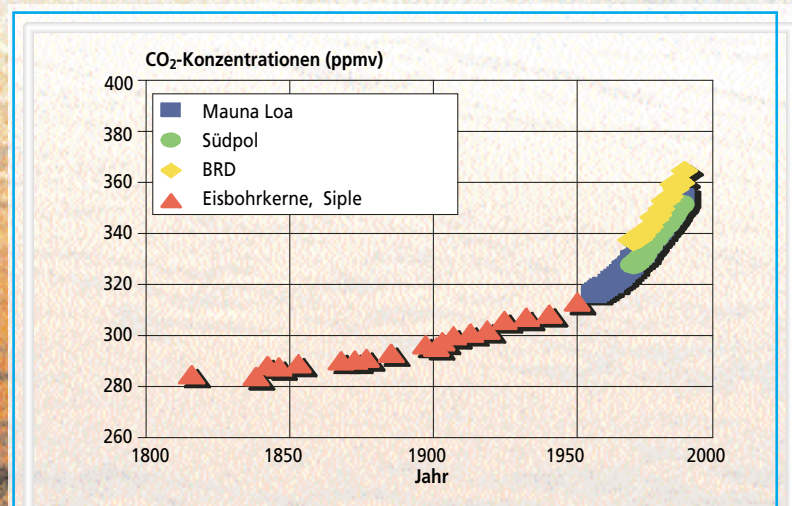


Abb. 1: Entwicklung der atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen in den letzten 200 Jahren



## Offene Fragen

Dass wir einen raschen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zu verzeichnen haben (Abb. 1), ist mittlerweile allgemein bekannt. Doch im globalen Kreislauf des Kohlenstoffs gibt es noch zahlreiche Unbekannte. Welche Rolle spielen zum Beispiel landwirtschaftlich genutzte Flächen bzw. Böden als Quellen oder als Senken für Treibhausgase? Welche Funktion und Bedeutung haben die dort anzutreffenden Lebensgemeinschaften aus Pflanzen und Mikroorganismen? Diese Fragen sind bei der aktuellen Klimadiskussion (z. B. im Rahmen der Beschlüsse des sog. Kyoto-Protokolls) von großer Relevanz. Insbesondere der Austausch von CO<sub>2</sub> (sowie weiterer kohlenstoffhaltiger „Treibhausgase“ wie Methan) zwischen Atmosphäre und Bestand, dessen Steuerung durch biologische Prozesse sowie die räumliche und zeitliche Variation dieser CO<sub>2</sub>-Flüsse sind noch nicht hinreichend bekannt.

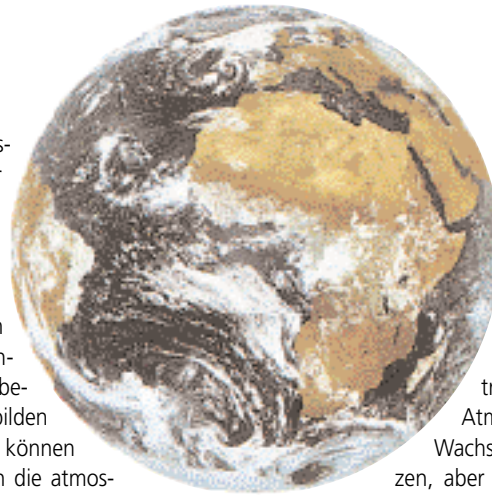
Zusätzlich kompliziert werden die Zusammenhänge durch die Rückkopplungen mit dem Wasserkreislauf und anderen Spurenstoffkreisläufen (z. B. Lachgas). Genauere Kenntnisse dieser ökologischen Regelgrößen sind aber notwendig, um daraus verbesserte biologische bzw. biogeochemische Prozessmodelle abzuleiten. Diese Modelle sind wiederum die Grundlage für Regionalmodelle oder auch globale Modelle, die zur Vorhersage von Wasser- und Stoffkreisläufen sowie von Klimafolgen insbesondere auch für die Landwirtschaft benötigt werden.

Die bislang vorliegenden Daten zum Austausch von CO<sub>2</sub> und anderen Spuren gasen zwischen Atmosphäre und Agrarökosystemen basieren fast ausschließlich

auf Kurzzeitmessungen unter Anwendung von verschiedenen Kammertypen, in denen sich die natürlichen Wachstumsbedingungen nur unbefriedigend nachbilden lassen. Folglich können mit diesen Daten die atmosphärischen Austauschigenschaften nicht angemessen abgebildet werden. Zudem beziehen sie sich nur auf kleine Flächen – Modelle zur Beschreibung von Bestandeseigenschaften und von Kohlenstoffbilanzen lassen sich so nicht erstellen. Für Agrarökosysteme ist es vielmehr notwendig, den Austausch von Spurenstoffen zwischen Bestand und Atmosphäre in einem kontinuierlichen Langzeitmonitoring zu erfassen, und zwar möglichst auf der Ebene von Ackerschlägen.

## Mehr Ertrag durch mehr CO<sub>2</sub>?

Erhöht man die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Umgebungsluft von Pflanzen, so führt dies (unter sonst optimalen Bedingungen) unmittelbar zu einem Rückgang der Wasserabgabe, zu einer Stimulation der Photosyntheserate und häufig auch zu einer – teils beträchtlichen – Förderung des Pflanzenwachstums. Dieser so genannte „CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt“ ist in vielen Kammerexperimenten nachgewiesen worden. Daraus wurde auch abgeleitet, dass Pflanzen bei höherer CO<sub>2</sub>-Konzentration die sonstigen Wachstumsressourcen wie Licht, Wasser und Nährstoffe



effizienter ausnutzen (vgl. Tab. 1).

Man sollte daher erwarten, dass eine Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre das Wachstum von Pflanzen, aber auch den Austausch von Kohlenstoff, Wasser und anderen Elementen (z. B. Stickstoff) zwischen Landoberflächen und der Atmosphäre verändern und dadurch in vielfältiger Weise unsere Landökosysteme beeinflussen wird. Ob und vor allem in welchem Ausmaß dies unter realen Bedingungen im Feld geschehen wird, ist allerdings noch sehr umstritten, da dazu – außer Kammerversuchen – fast keine Feldversuche vorliegen.

Wie die für unsere mitteleuropäische Landwirtschaft relevanten Pflanzen also tatsächlich reagieren werden, ist spannend und für die landwirtschaftliche Praxis durchaus bedeutend. Um diese Zusammenhänge zu klären bedarf es experimenteller Methoden, mit denen sich zukünftige atmosphärische CO<sub>2</sub>-Szenarien direkt im Feld simulieren lassen. Das klingt zunächst utopisch, ist aber doch möglich. Im „Braunschweiger Kohlenstoff-Projekt“ sind die Voraussetzungen dafür geschaffen worden.

## Mikrometeorologie und CO<sub>2</sub>-Begasung im Freiland

Auf einem 20 Hektar großen Ackerschlag des FAL-Versuchsbetriebes in Braunschweig hat das Institut für Agrarökologie ein Messfeld etabliert (Abb. 2), auf dem unter identischen Klima-, Boden- und Bewirtschaftungsbedingungen

der Austausch von CO<sub>2</sub> und Wasserdampf (sowie weiterer Spurengase wie z. B. Ammoniak, Ozon) zwischen Pflanzenbestand und bodennaher Atmosphäre auf Schlagebene durch kontinuierliche mikrometeorologische Messungen erfasst wird und

**Tab. 1: Wasserausnutzung bei einer CO<sub>2</sub>-Anreicherung in der Umgebungsluft auf 670 ppm: Wie viel Biomasse bildet Sommerweizen pro kg verbrauchtem Wasser bei ausreichender (A) und reduzierter (R) Wasserversorgung? Die Untersuchungen wurden im Laufe von zwei Vegetationsperioden auf dem Messfeld des Instituts für Agrarökologie unter Verwendung von Open-Top Kammern durchgeführt.**

Variable	Jahr	Wasserversorgung	„Normal“ CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -Anreicherung	CO <sub>2</sub> -Effekt (%)
Wasserausnutzungseffizienz (g Trockenmasse / kg Wasser)	1998	A	4,88	6,22	27
		R	5,30	7,59	43
	1999	A	4,08	4,64	14
		R	4,10	6,98	43

■ Langzeit-CO<sub>2</sub>-Anreicherungsversuche in realen Fruchtfolgen unter Verwendung der sogenannten Free Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE) – Technik durchgeführt werden. Unter dieser Bezeichnung verbirgt sich ein Freiland-begasungssystem, mit dem sich zukünftige CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre simulieren lassen, ohne dass die Pflanzen in Kammern oder sonstigen Behältern aufwachsen und ohne dass das Bestandsklima (Temperatur, Luftfeuchte, Strahlung, Wind) beeinträchtigt wird.

Die Flüsse von Wärme, CO<sub>2</sub> und Wasserdampf werden 1–2 Meter über dem

speziellen Kammertechniken auch innerhalb der Ringflächen gemessen (Abb. 4). Mikrometeorologische Messungen und CO<sub>2</sub>-Begasungen werden auf alle Glieder einer ortsüblichen Fruchtfolge aus Wintergerste (Sorte „Theresa“) (1999/2000) → Weidelgras (Zwischenfrucht 2000/2001) → Zuckerrübe (2001) → Winterweizen (2001/2002) angewandt. Die Bewirtschaftung des Feldes erfolgt unter ortsüblicher Praxis durch die Versuchsstation der FAL.

## Die FACE-Technik

Die in Braunschweig eingesetzte Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherungsanlage (FACE) wurde vom Brookhaven National Laboratory in den USA entwickelt. Sie besteht aus Begasungsringen mit je 20 m Durchmesser, die mit einer CO<sub>2</sub>-Tankversorgungsanlage in Verbindung stehen, einem Gebläse und einer Steuer-, Mess- und Dosiereinheit für CO<sub>2</sub> (Abb. 5 u. 6). Innerhalb dieser Ringe – und damit auf einer Fläche von jeweils rund 315 m<sup>2</sup> pro Ring – lässt sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration gezielt erhöhen. Dazu dient eine Regelung, in die die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit an den Ringen und die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Umgebungsluft und in den Ringen eingehen. Die Begasungsringe selbst bestehen aus einer waagerechten Ringleitung und 32 senkrechten, gelochten Ausblasröhren mit je einer pneumatischen Klappe (CO<sub>2</sub>-Sperrre) am unteren Ende.

Zurzeit werden sechs Ringe betrieben (Abb. 7): zwei Ringe mit einer auf 550 ppm erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration, zwei Ringe, in die nur Umgebungsluft mit normaler CO<sub>2</sub>-Konzentration (380 ppm) eingeblasen wird und – zur Bewertung möglicher mikroklimatischer Effekte des Gebläses selbst – zwei Ringe als „echte“ Kontrollen, bestückt nur mit Begasungsrohren, durch die keine Luft fließt. Die räumliche Verteilung des CO<sub>2</sub> innerhalb der großen Ringfläche wird mit Hilfe eines CO<sub>2</sub>-Gasprobenahmesystems überwacht, das über zwei Ebenen im Bestand verteilt ist (Abb. 8).

Um darüber hinaus auch zu überprüfen, welche Wechselwirkungen zwischen einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration und

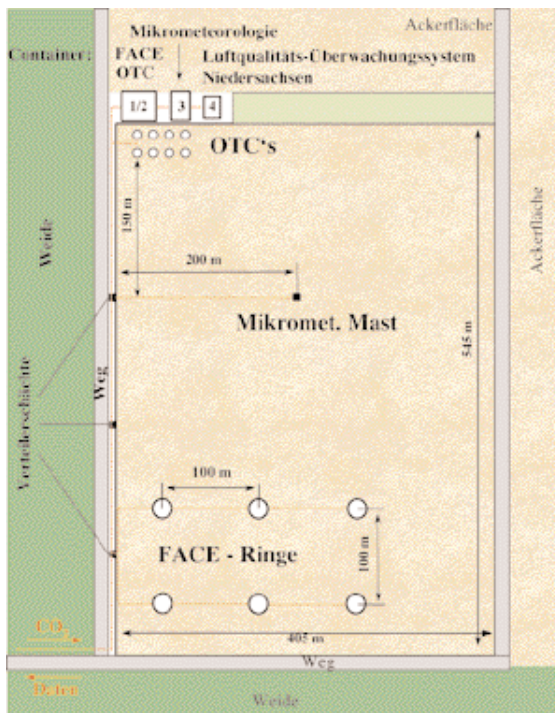


Abb. 2: Schematische Darstellung des Messfeldes des Instituts für Agrarökologie auf dem Gelände der FAL in Braunschweig

Bestand bestimmt (Eddy-Covariance-Methode). Weitere Aufschlüsse lassen sich aus der Höhenabhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Konzentration gewinnen, die an einem 10 Meter hohen Mast (Abb. 3) gemessen werden. Zusätzlich werden auf dem Schlag die Konzentrationen und Flüsse weiterer atmosphärischer Spurengase sowie sedimentierender Stoffe (z. B. Nitrat- und Ammonium-Stickstoff; Schwermetalle) erfasst. Teilflüsse des CO<sub>2</sub> werden mit



Abb. 3: Mikrometeorologischer Mast und Messgeräte-Container zur Ermittlung von Spurengasflüssen über einem Getreideschlag

Abb. 4: Kammersystem in einem FACE-Ring zur Messung des Wasserdampf- und CO<sub>2</sub>-Austausches





der Stickstoffversorgung der Pflanzen bestehen, wird in jeweils einer Ringhälfte nur exakt die halbe ortsübliche Stickstoffmenge (Wirtschafts- und Mineraldüngung) ausgebracht (Abb. 7).

## Wie reagieren Pflanzen und Boden?

Die Experimente in Braunschweig haben im Oktober 1999 mit Wintergerste begonnen. Seitdem werden die Gasflüsse in den Ringen und auf dem sonstigen Messfeld ermittelt und zahlreiche Umweltparameter gemessen (z. B. Luft- und Boden-Temperatur, Niederschlag, Bodenwassergehalt, Evaporation, Bestandes- transpiration). In den verschiedenen Stickstoff-/CO<sub>2</sub>-Behandlungen der FACE-Begasungsringe selbst werden verschiedene Parameter erhoben. Dazu zählen unter anderem Messungen der Photosynthese am Einzelblatt und im Bestand, die

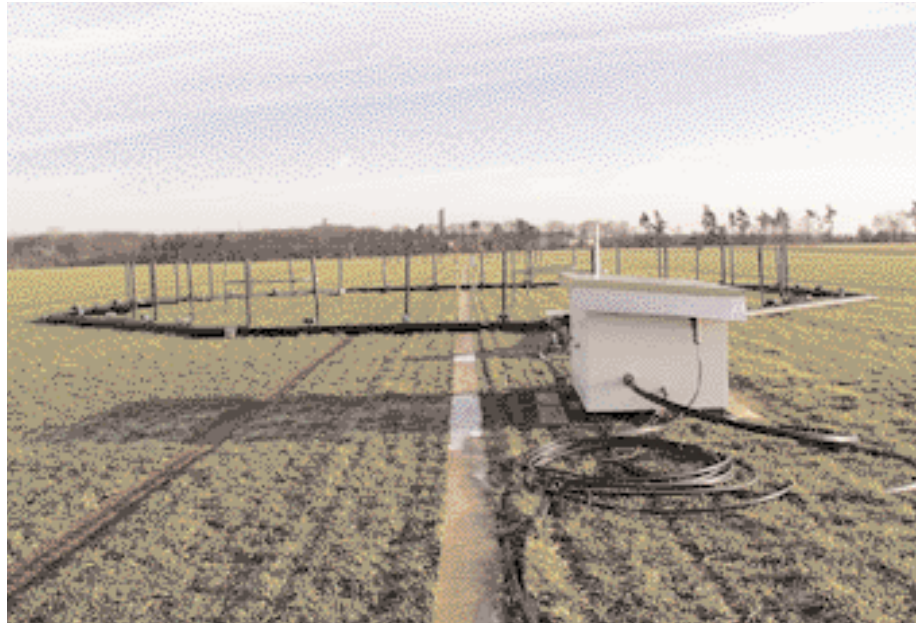


Abb. 6: Gesamtansicht eines FACE-Ringes zur Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherung in einem Wintergerstebestand (der Container im Vordergrund enthält das Dosierventil für die CO<sub>2</sub>-Hauptversorgungsleitung und die Ansteuerung der 32 pneumatischen Klappen für die vertikalen CO<sub>2</sub>-Ausströmröhre)

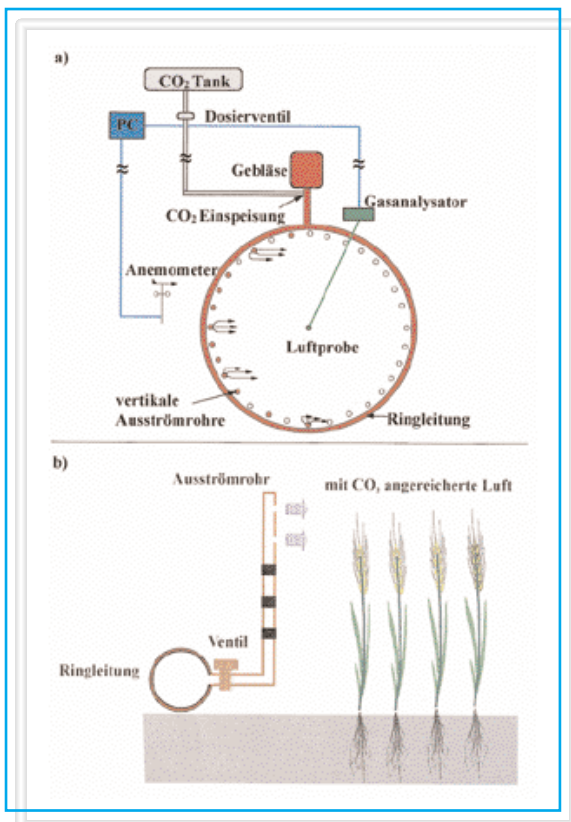


Abb. 5: Schematische Darstellung einer FACE-Begasungsanlage. a) Aufsicht auf die Komponenten. b) Querschnitt eines Begasungsringes

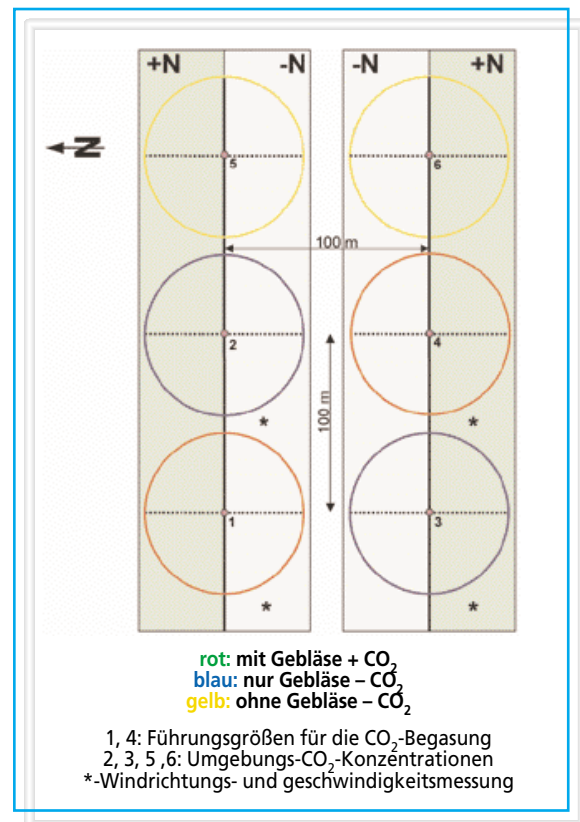


Abb. 7: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns des FACE-Versuches im Jahr 1999/2000 (+N/- N = ausreichende/reduzierte Stickstoffversorgung).

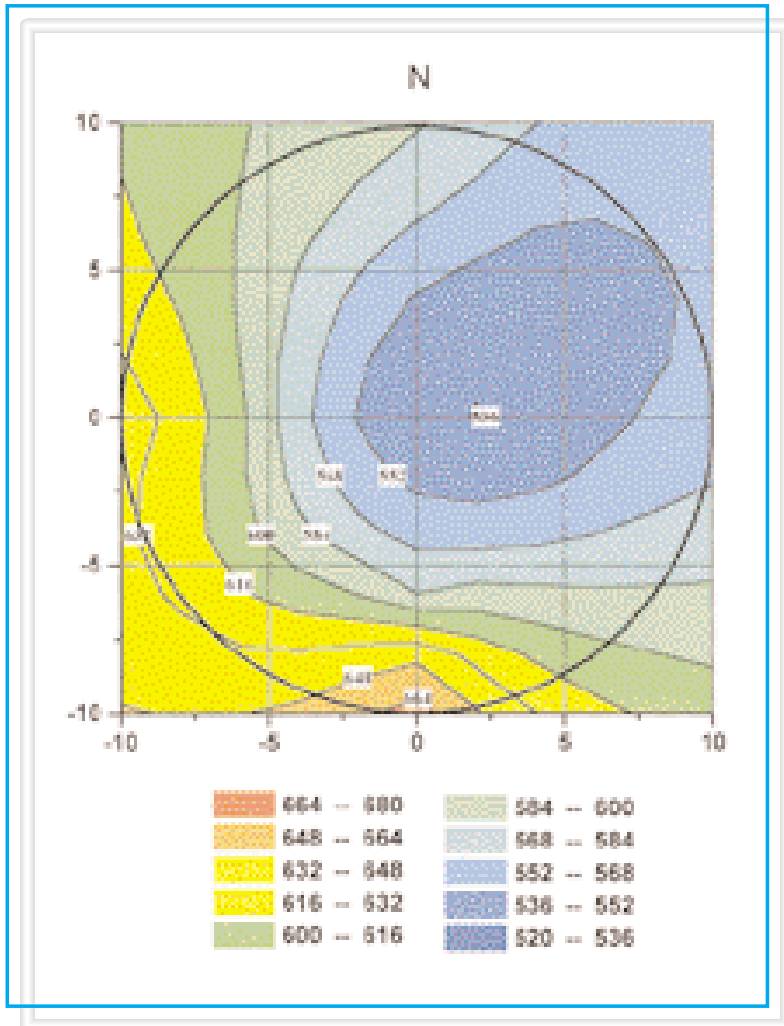


Abb. 8: Räumliche Verteilung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in einem FACE-Ring mit angereicherter CO<sub>2</sub>-Atmosphäre, ermittelt als Mittelwert über die gesamte Vegetationsperiode in einer Höhe von 25 cm über dem Boden

Entwicklung der Bestände, ober- und unterirdische Biomasseentwicklung, Kornertrag, Qualität der Ernteprodukte, organischer Bodenkohlenstoffgehalt (C<sub>org</sub>), mikrobielle Bodenbasalatmung und mikrobielle Biomasse im Boden.

Wie die Wintergerste in ihrem Wachstum und Ertrag auf eine höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration reagiert, ist in Tabelle 2 beispielhaft dargestellt. Demnach beträgt der „CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt“ etwa 11–14 %, wobei die Ertragskomponenten unterschiedlich auf die gleichzeitige Variation der Kohlenstoff- und Stickstoffversorgung reagieren. So sprechen bei einer Unterversorgung mit Stickstoff hauptsächlich die Ertragskomponenten Ährenzahl und Kornzahl auf die CO<sub>2</sub>-Anreicherung an, während das Tausendkorngewicht gering-

fügiger beeinflusst wird. Ergebnisse zu den Bodenuntersuchungen liegen zurzeit noch nicht vor.

## Kooperationen erwünscht

Viele der oben angesprochenen Fragen können durch das Institut für Agrarökologie nur eingeschränkt bearbeitet werden. Das in dieser Form einmalige Vorhaben ist offen für Kooperationen mit anderen Arbeitsgruppen, die Interesse an ähnlichen Fragestellungen haben.

Derzeit sind Zusammenarbeiten mit den FAL-Instituten für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft und für Bauforschung und Betriebstechnik sowie mit dem Brookhaven National Laboratory (New York/USA), dem ZALF/Müncheberg (Institut für Landschaftssystemanalyse), dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), dem Deutschen Wetterdienst (Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig) und der TU Braunschweig (Institut für Zoologie/Bodenökologie) etabliert.

Zudem ist das Experiment in internationale Forschungsverbünde integriert, die sich dem Spurenstoffaustausch zwischen Atmosphäre und Biosphäre sowie mit der Untersuchung der Folgen des CO<sub>2</sub>-Anstieges für die Vegetation befassen.

Dir. u. Prof. Prof. Dr. Hans Joachim Weigel, Dir. u. Prof. Dr. Ulrich Dämmgen, Dr. Cathleen Frühauf, Dr. Stefan Burkart, Dr. Remi Manderscheid, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Agrarökologie, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Tab. 2: Die Auswirkungen einer langfristigen Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherung der Atmosphäre (Vegetationsperiode Oktober 1999 bis Juni 2000) und üblicher (N+) bzw. verringerter (N-) Stickstoffversorgung auf Wachstum und Ertrag von Wintergerste (Sorte „Theresa“)

CO <sub>2</sub> -Behandlung	N-Behandlung	Gesamtbiomasse (g/m <sup>2</sup> )	Kornertrag (g/m <sup>2</sup> )	Ährenzahl/m <sup>2</sup>	Kornzahl/m <sup>2</sup>	Tausendkorngewicht (g)
350 ppm	N-	1.363	781	445	17.460	44,7
550 ppm	N-	1.546	850	482	18.592	45,8
350 ppm	N+	1.637	928	541	22.474	41,3
550 ppm	N+	1.815	1.023	563	23.746	43,2
CO <sub>2</sub> -Effekt	N-	13,5 %	8,8 %	8,4 %	6,5 %	2,4 %
	N+	10,9 %	10,3 %	4,1 %	5,7 %	4,5 %