

Mehr CO₂ in der Atmosphäre: Prima Klima für die Landwirtschaft?

Effekte auf Pflanzenwachstum und -qualität

Hans-Joachim Weigel, Remi Manderscheid, Andreas Pacholski, Stefan Burkart (Braunschweig) und Gisela Jansen (Groß Lüsewitz)

Der vorausgesagte Klimawandel, also die Veränderung der mittleren Klimawerte sowie die Häufung von Klimaextremen, wird sich auf landwirtschaftliche Kulturpflanzen und die Agrarökosysteme auf vielfältige Weise auswirken. Wegen der komplexen Zusammenhänge fällt es schwer, rein theoretisch abzuschätzen, wie die Pflanzen zum Beispiel auf einen erhöhten Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre reagieren würden. Um zu belastbaren Aussagen zu kommen, wäre es das Beste, über mehrere Jahre Untersuchungen auf einem realen Ackerschlag durchzuführen, über dem die Atmosphäre bereits verändert ist. Unmöglich? Nein. An einigen wenigen Orten der Erde werden solche Untersuchungen mit Hilfe aufwändiger Apparaturen durchgeführt, unter anderem in Braunschweig an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL).

Der CO₂-Düngeeffekt

Zu den deutlichsten Signalen des Klimawandels und den unausweichlichen Entwicklungen der Klimaänderungen gehört der rasche Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Während die globale CO₂-Konzentration der Atmosphäre über mehr als 100.000 Jahre hinweg bis etwa zum Ende des 19. Jahrhunderts bei 280–290 ppm (parts per million) lag, steigt sie seitdem rasch an und beträgt gegenwärtig bereits ca. 375 ppm. Dieser Trend wird sich mit noch größerer Intensität als bisher fortsetzen, sodass wir schon in 50 Jahren mit CO₂-Konzentrationen von 450–550 ppm rechnen müssen.

Der CO₂-Anstieg führt nicht nur zur Klimaerwärmung, sondern hat auch direkte Konsequenzen für die Landökosysteme und damit für die Landwirtschaft. Bekanntlich ist CO₂ bzw. Kohlenstoff der stoffliche Eckpfeiler allen Lebens, da Pflanzen CO₂ zur Photosynthese benötigen. Allerdings ist die gegenwärtige CO₂-Konzentration der Atmosphäre für die

meisten Pflanzen des so genannten C3-Typs suboptimal. Eine CO₂-Erhöhung in der Umgebungsluft stimuliert daher im Allgemeinen die Photosynthese und das Pflanzenwachstum (sofern nicht andere Faktoren limitierend wirken). Dieser „CO₂-Düngeeffekt“ ist vom Prinzip her schon lange bekannt. Gleichzeitig sind bei einem höheren CO₂-Anteil in der Atmosphäre die Spaltöffnungen (Stomata) der meisten krautigen Pflanzenarten weniger stark geöffnet, was zu einer reduzierten Blatttranspiration führt. Darüber hinaus ändert sich die stoffliche Zusammensetzung des pflanzlichen Gewebes.

Warum Feldversuche?

Eine Fülle von Untersuchungen in den letzten Jahrzehnten hat gezeigt, dass bei einer CO₂-Erhöhung um 200–300 ppm gegenüber dem heutigen Wert hohe Biomasse-

se- bzw. Ertragszuwächse erzielt werden können (im Durchschnitt über alle C3-Pflanzen rund 35% Biomassezuwachs; bei Weizen etwa 20–30% Ertragszuwachs). Diese stark positiven Wachstumseffekte wurden allerdings meist unter „unnatürlichen“ Versuchsbedingungen erzielt, das heißt in Kammern mit Einzelpflanzen unter optimaler Verfügbarkeit anderer Ressourcen (Temperatur, Wasser, Nährstoffangebot). Es stellt sich die Frage, ob ein CO₂-Düngeeffekt unter realen Bedingungen im Agrarökosystem überhaupt – und wenn ja, in welcher Höhe – wirksam wird.

Eine Antwort auf diese Frage ist deshalb so bedeutsam, weil dies eine entscheidende Grundlage für Modelle ist, die die möglichen Effekte der sonstigen Klimaänderungen (Temperatur, Niederschlag) auf die landwirtschaftliche Produktion vorhersagen. Will man zudem die Folgen von Klimaänderungen regional differenzieren, sind auch Informationen über Reaktionen in ortsüblichen Fruchtfolgen notwendig.

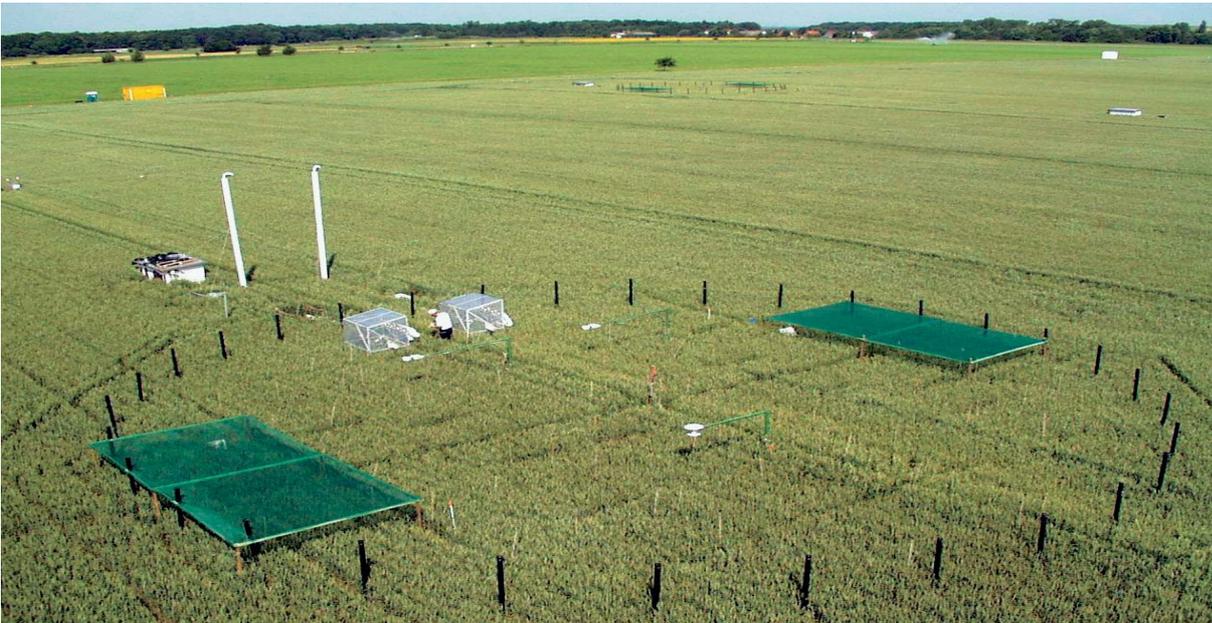


Abb.1: Ansicht eines FACE-Ringes für CO₂-Anreicherungsversuche im Feld. Innerhalb des Ringes wird die CO₂-Konzentration der Atmosphäre kontinuierlich auf ca. 550 ppm eingestellt. Schattierungsversuche dienen der Aufklärung von Interaktionen zwischen Strahlung und CO₂-Konzentration

Man hat daher experimentelle Methoden entwickelt, mit denen sich zukünftige atmosphärische CO₂-Szenarien direkt im Feld simulieren lassen, ohne dass Pflanzenbestände in Kammern oder kammerähnlichen Einschlüssen wachsen müssen. Eine solche Freiland-CO₂-Anreicherungstechnik ist das so genannte FACE-System (FACE = Free Air Carbon Dioxide Enrichment), das seit dem Jahr 2000 am Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) im Rahmen des „Braunschweiger Kohlenstoffprojekts“ eingesetzt wird (Abb. 1; vgl. Forschungsreport 1/2001). Auf einem 24 Hektar großen Feld befinden sich mehrere „Begasungsringe“ mit einem Durchmesser von 20 Metern. Innerhalb dieser Ringe lässt sich die CO₂-Konzentration gezielt erhöhen. Das geschieht mit einer Regelungstechnik, in die die Windrichtung und Windgeschwindigkeit an den Rin-

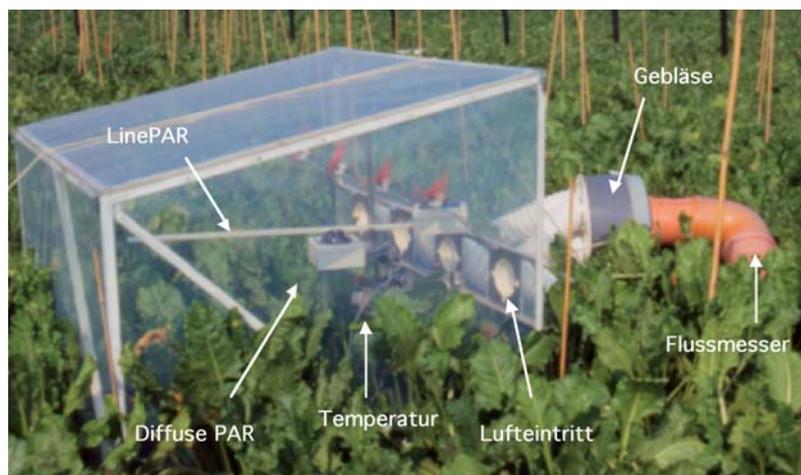


Abb. 2: Bestandeskammer zur Messung von CO₂- und H₂O-Flüssen in Zuckerrüben

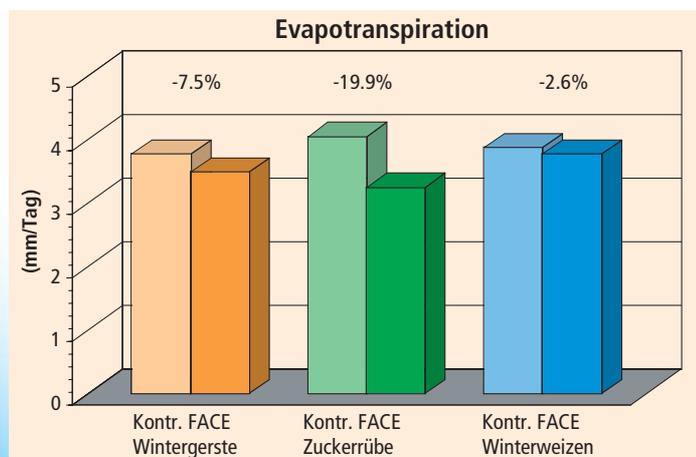


Abb.3: Mittlere saisonale Evapotranspiration (Bestandeswasserabgabe in mm H₂O pro Tag) verschiedener Feldfrüchte unter simulierten zukünftigen CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre im Rahmen des Braunschweiger FACE-Versuches

gen sowie die CO_2 -Konzentration der Umgebungsluft eingehen. Die Pflanzen innerhalb der Ringflächen von je ca. 315 Quadratmetern wachsen ganz normal unter freiem Himmel – lediglich die sie umgebende Luft weist eine CO_2 -Konzentration von rund 550 ppm auf.

Untersucht werden in diesem für Ackerland europaweit einzigartigen Experiment die Auswirkungen einer CO_2 -Erhöhung auf Fruchtfolgeglieder (Wintergerste → Weidelgras → Zuckerrübe → Winterweizen) sowie auf den Kohlenstoffumsatz und auf die biologische Vielfalt im Boden. In diesem Beitrag werden einige pflanzenbauliche Ergebnisse vorgestellt.

CO_2 und Transpiration

In Laborexperimenten wurde wiederholt festgestellt, dass sich bei erhöhter CO_2 -Konzentration die Transpiration – also die Wasserabgabe – der Blätter vermindert. Aber auch hier konnten immer nur einzelne Blätter untersucht werden. Verhält sich die Wasserabgabe ganzer Bestände (Evapotranspiration) unter erhöhten CO_2 -Konzentrationen ähnlich? Im Braunschweiger FACE-Versuch wird mit eigens entwickelten Bestandesgaswechselkammern geprüft, wie die Wasserflüsse auf die CO_2 -Erhöhung reagieren (Abb. 2).

Im ersten Fruchtfolgedurchgang zeigte sich, dass die Evapotranspiration der Arten reduziert wurde, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß (Abb.3). Insbesondere die Zuckerrübe verbrauchte weniger Wasser. Gleichzeitig erhöhte sich die Photosyntheserate im Bestand. Setzt man die aufgenommene CO_2 -Menge in Relation zur abgegebenen H_2O -Menge, so ergibt sich bei Zuckerrüben eine Steigerung der Wasserausnutzungseffizienz. Die im Verlauf der Vegetation verringerte Wasserabgabe der Pflanzen führte auch zu einer deutlich erhöhten Bodenfeuchte. Positive Wachstumseffekte des CO_2 -Anstieges sind demnach auch indirekt über eine verbesserte Wasserversorgung möglich.

Der Wärmehaushalt von Pflanzenbeständen (Oberflächen- und Bestandestemperatur) wird unter anderem auch durch die transpiratorische Kühlung reguliert, die wiederum vom Öffnungsverhalten der Spaltöffnungen abhängt. Die

durch die CO_2 -Erhöhung im FACE-Experiment verringerte Evapotranspiration führte daher zu höheren Oberflächentemperaturen der untersuchten Pflanzenbestände, was mit Hilfe einer Infrarotkamera sichtbar gemacht werden konnte (Abb. 4). Die Temperaturerhöhung variierte im Tagesgang und mit dem Entwicklungsstadium der Pflanzen und betrug bei maximaler Sonneneinstrahlung bis zu 2 °C. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass der CO_2 -Anstieg in der Atmosphäre nicht nur durch die Absorption der atmosphärischen Infrarotstrahlung zu einer Erwärmung führt (Treibhauseffekt), sondern dass dieser Effekt zusätzlich über die physiologische Rückkopplung mit Pflanzen verstärkt werden könnte.

Geringere Wachstumssteigerung als erwartet

Führen die stimulierte Photosyntheseleistung, die effizientere Wassernutzung und die geänderten Bestandestemperaturen auch zu einem stärkeren Pflanzenwachstum und einer erhöhten Biomasseproduktion? Der Braunschweiger FACE-Versuch kann frühere, sehr optimistische Wachstumserwartungen durch eine CO_2 -Anreicherung in der Atmosphäre bisher nicht eindeutig bestätigen (Tab. 1). Die Wachstumsstimulationen bewegten sich auf einem relativ niedrigen Niveau von 6–14 %.

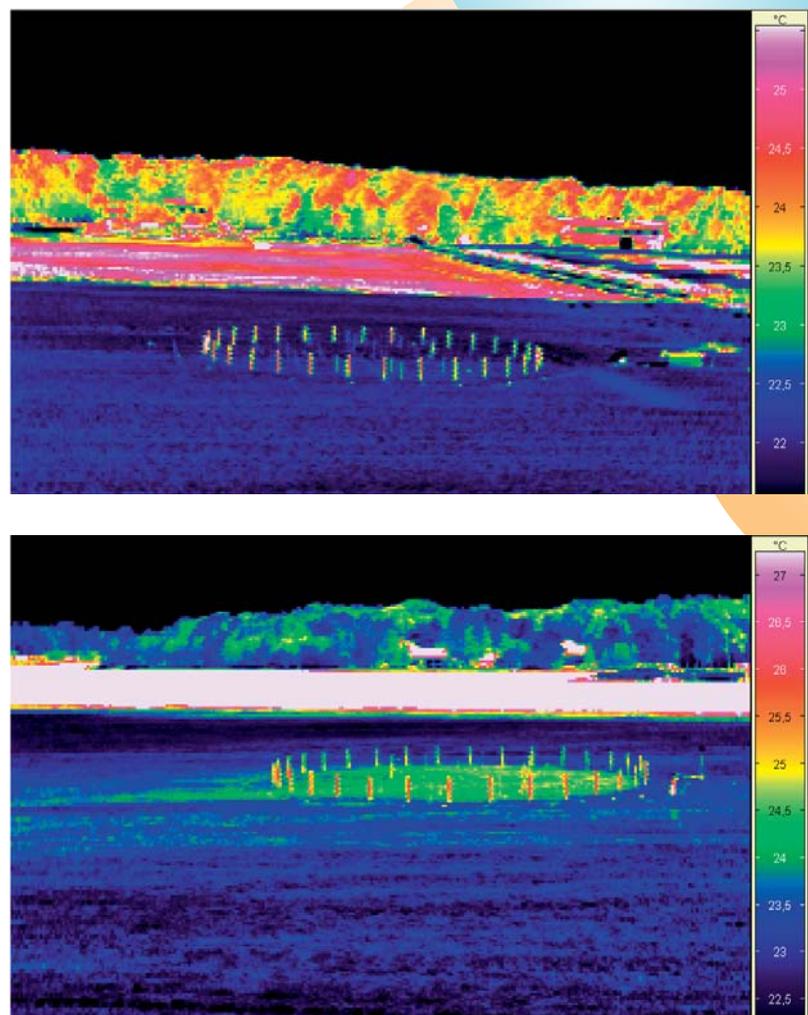


Abb.4: Infrarotaufnahme der Oberflächentemperaturen eines Winterweizenbestandes innerhalb von FACE-Ringen unter heutigen (o.) und zukünftigen (550 ppm; u.) CO_2 -Gehalten in der Atmosphäre

Entgegen den Erwartungen waren auch keine klaren Unterschiede zwischen verschiedenen

Versorgungsstufen mit Stickstoff erkennbar, denn unter reduzierter N-Versorgung sollte die Wachstumsstimulation durch CO₂ eigentlich kleiner sein. Zusätzliche Schattierungsversuche innerhalb der FACE-Ringe (vgl. Abb. 1) weisen darauf hin, dass die im Versuch verwendete heutige Winterweizensorte (Batis) nicht in der Lage ist, den potenziellen CO₂-Düngeeffekt voll auszuschöpfen.

Eine in fast allen Studien zum CO₂-Düngeeffekt beobachtete Reaktion ist die Veränderung in den Gehalten an Makro- und Mikroelementen sowie sonstiger Inhaltsstoffe (z. B. Zucker, Vitamine, sekundäre Pflanzenstoffe). Beispielsweise sinkt der Stickstoff(N)-Gehalt sowohl in vegetativen Organen als auch in Früchten, Samen bzw. Körnern. Dieser Effekt wurde auch im FACE-Versuch deutlich. Tabelle 2 zeigt beispielhaft für Wintergerste, dass der N-Gehalt bzw. der Proteingehalt im Stroh und im Korn um mehr als 10% abnahm. Dieses Ergebnis deutet also auf einen negativen Einfluss der CO₂-Erhöhung auf die Qualität hin (neben der Kornqualität kann auch die Futterqualität bei Grünlandpflanzen betroffen sein). Durch eine derartige Änderung der Inhaltsstoffe einer Wirtspflanze ändert sich auch die Qualität der „Nahrungsquelle“ für herbivore Insekten (darunter Schädlinge) und Pflanzenpathogene. Ob dadurch die Bedingungen für Schaderreger besser oder schlechter werden, lässt sich nicht pauschal beantworten.

Für den Stoffumsatz innerhalb des Ökosystems kann ein erweitertes C-/N-Verhältnis der anfallenden pflanzlichen Rückstände bedeuten, dass der Streuabbau bzw. die Mineralisierung im Boden verzögert wird.

Ausblick

Eine endgültige Auswertung der verschiedenen Aspekte des FACE-Experiments der FAL wird erst nach Ende des

Tab. 1: Durchschnittliche oberirdische Biomasseproduktion (g/m²) verschiedener Fruchtfolgeglieder unter heutigen (375 ppm) und zukünftigen (550 ppm) CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre, ermittelt im Rahmen des Braunschweiger FACE-Experimentes. Gleichzeitig wurden die Auswirkungen einer ortsüblichen (N100) und einer um 50% reduzierten (N50) Stickstoff(N)-Versorgung untersucht.

N-Behandlung	CO ₂ Behandlung	Fruchtfolgeglied			
		Wintergerste (Theresa)	Weidelgras (Lippstädter Futtertrio)	Zuckerrübe (Wiebke)	Winterweizen (Batis)
		g/m ²			
N50	380 ppm	1360	484	1919	1163
N50	550 ppm	1546	531	2036	1292
Relativer CO ₂ -Effekt		+13.7%*	+9.6%	+6.1%	+11.1%*
N100	380 ppm	1679	484	2295	1272
N100	550 ppm	1815	543	2481	1456
Relativer CO ₂ -Effekt		+8.1%*	+12.1%	+8.1%*	+14.4%*

*signifikante Ergebnisse

Tab. 2: Durchschnittliche Stickstoff(N)-Gehalte im Stroh und Proteingehalte im Korn von Wintergerste (Sorte Theresa) nach Wachstum unter heutigen (375 ppm) und zukünftigen (550 ppm) CO₂-Konzentrationen. Gleichzeitig wurden die Auswirkungen einer ortsüblichen (N100) und einer um 50% reduzierten (N50) Stickstoff(N)-Versorgung untersucht.

N-Behandlung	N-50			N-100		
	CO ₂ -Behandlung	380 ppm	550 ppm	CO ₂ -Effekt %	380 ppm	550 ppm
Stroh-N (%)	0,45	0,43	-3,8	0,68	0,55	-19,3*
Korn-Protein (% d. TM)	10,02	8,88	-11,2*	11,65	10,1	-13,4*

* signifikante Ergebnisse

zweiten Fruchtfolgedurchgangs möglich sein.

Neben den hier geschilderten agronomischen Daten zeigt sich, dass weitere agrarökosystemare Eigenschaften (bodenzoologische und bodenmikrobiologische Parameter, Spurengasflüsse) durch die CO₂-Erhöhung beeinflusst werden.

Das FACE-Experiment wird neben Daten, die für die Klimafolgenforschung generell wichtig sind, auch für die Bewertung möglicher Folgen des Klimawandels für die einheimische Landwirtschaft wertvolle Informationen liefern.



Prof. Dr. Hans-Joachim Weigel, Dr. Remi Manderscheid, Dr. Andreas Pacholski, Dr. Stefan Burkart, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Agrarökologie, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig. E-Mail: hans.weigel@fal.de



Dr. Gisela Jansen, Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ), Institut für abiotische Stresstoleranz, Rudolf-Schick-Platz 3, 18190 Groß Lüsewitz.