

# Effekte erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Stickstoffversorgung auf Kornertrag und Kornqualität von Sommerweizen (*Triticum aestivum* cv. Minaret)

Petra Högy, Andreas Fangmeier und Hans-Jürgen Jäger

## Synopsis

Effects of CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen supply on grain yield and grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* cv. Minaret)

Spring wheat (*Triticum aestivum* L., cv. Minaret) was exposed from sowing to grain ripening to ambient CO<sub>2</sub> concentrations (380 µmol mol<sup>-1</sup>) and to enhanced CO<sub>2</sub> concentrations (515 and 665 µmol mol<sup>-1</sup>) in open-top chambers at two nitrogen fertilizer levels (150 and 300 kg N ha<sup>-1</sup>). Plant samples were taken at maturity and aboveground biomass, yield parameters and grain composition were measured. The CO<sub>2</sub> enrichment increased aboveground biomass by 20–30% and grain yield by approximately 30–50% compared with ambient CO<sub>2</sub> due to an increase in the number of tillers. 1000 grain weight remained almost unaffected, whereas an increased number of grains due to CO<sub>2</sub> enrichment was observed. At high CO<sub>2</sub>, the wheat grains contained lower concentrations of protein, which is closely related to grain quality. The starch concentration and the amino acid composition of the grain protein was not significantly influenced, but starch amount in grains per plant increased with high CO<sub>2</sub>. Finally, there were only small effects of enriched CO<sub>2</sub> concentrations on grain composition, but the grain protein concentration decreased so severely, that the quality of wheat grains in a future CO<sub>2</sub> world might be affected.

*Triticum aestivum*, Atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Anstieg, Open-top-Kammer, Stickstoff, Ertrag, Kornprotein, Stärke, Aminosäuren, Kornqualität.

*Triticum aestivum*, elevated CO<sub>2</sub>, open-top chamber, nitrogen, yield, grain protein, starch, amino acids, grain quality

## 1 Einleitung

In den letzten 200 Jahren stieg die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration global von etwa 280 µmol mol<sup>-1</sup> auf gegenwärtig 380 µmol mol<sup>-1</sup> an. Bei einer momentan aktuellen jährlichen Steigerungsrate von 1,5 µmol mol<sup>-1</sup> wird bis zum Jahre 2100 mindestens eine

Verdopplung der vorindustriellen CO<sub>2</sub>-Werte erreicht werden (IPCC 1995).

Die gegenwärtig in der Atmosphäre vorherrschende CO<sub>2</sub>-Konzentration ist – zumindest für C<sub>3</sub>-Pflanzen – suboptimal. Getreidearten reagieren auf eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration unter optimalen Wachstumsbedingungen mit einer Steigerung des Pflanzenwachstums und des Ertrags (KIMBALL 1983, ROGERS & DAHLMAN 1993) durch eine vermehrte Ausbildung von Seitenhalmen. Der beobachtete positive CO<sub>2</sub>-Effekt zeigt eine starke Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung der Pflanzen. Die durch erhöhtes CO<sub>2</sub> hervorgerufenen physiologischen und biochemischen Veränderungen des vegetativen Pflanzengewebes (HOCKING & MEYER 1991, CONROY 1992, THOMPSON & WOODWARD 1994) stehen in direkter Beziehung mit der Zusammensetzung und der Qualität der Getreidekörner. Bisher gibt es wenig Untersuchungen, die sich in Langzeitversuchen mit dieser Problematik beschäftigen.

In der vorliegenden Studie wurden die Folgen von erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf den Ertrag, das Tausendkorngewicht und die Kornzahl der Ähren bei unterschiedlicher Stickstoffversorgung erfaßt. Um Aussagen über die Qualität des Erntegutes von Sommerweizen treffen zu können, wurde in den Körnern die Stärkekonzentration, die Proteinkonzentration und die Aminosäurezusammensetzung des Kornproteins untersucht.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Pflanzenkultur

Sommerweizen (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) wurde während der gesamten Vegetationsperiode (25. April–05. August 1996) in Open-top-Kammern (OTC's) am Institut für Pflanzenökologie Gießen (FANGMEIER & al. 1992) unter drei verschiedenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (380, 515 und 665 µmol mol<sup>-1</sup>) in Wechselwirkung mit zwei Stickstoffversorgungsstufen (150 und 300 kg N ha<sup>-1</sup>) in zwei Kammerwiederholungen exponiert. Die Klima- und Kulturbedingungen über den Expositionszeitraum sind in Tabelle 1 angegeben. Die Pflanzenanzucht erfolgte in

Tab. 1  
Klima- und Kulturbedingungen während der CO<sub>2</sub>-Exposition  
von Sommerweizen in den Open-top Kammern 1996.

Vegetationszeitraum	25. April–05. August 1996
Expositionszeitraum	29. April–05. August 1996
Stickstoffversorgung (gesplittetes Düngedesign)	150 und 300 kg N ha <sup>-1</sup>
Mittlere CO <sub>2</sub> -Konzentrationen in den OTC	380 ± 2,0 µmol mol <sup>-1</sup>
	515 ± 4,0 µmol mol <sup>-1</sup>
	665 ± 1,8 µmol mol <sup>-1</sup>
Mittlere Temperatur in den OTC	18,9 °C
Mittlere relative Feuchte in den OTC	64,76 %
Mittlere Globalstrahlung in den OTC	113,9 Watt/m <sup>2</sup>

Table 1  
Climatic and culture conditions during exposition of summer  
wheat with CO<sub>2</sub> in open-top chambers 1996.

Pflanzgefäßen mit einem Gesamtvolumen von 3300 cm<sup>3</sup> (Durchmesser 10,3 cm, Höhe 40 cm), die zum Schutz vor Überhitzung mit weißer Farbe lackiert wurden. Das verwendete Substrat bestand aus lehmigem Sand, welcher von einer landwirtschaftlichen Fläche in der Nähe Gießens kam und zur weiteren Verwendung mit Sand (50:50 vol:vol) vermischt wurde. Je Topf wurden fünf Körner ausgesät, die nach dem Auflaufen auf zwei Pflanzen pro Topf reduziert wurden. Um eine möglichst hohe Pflanzdichte zu erzielen und einen geschlossenen Pflanzenbestand zu simulieren, wurden die Töpfe während der gesamten Vegetationsperiode in »Bündel« angeordnet. Bei Bedarf wurden die Pflanzen gegen Schädlinge gespritzt. Die Bewässerung der Töpfe erfolgte regelmäßig über ein Tröpfchenbewässerungssystem (DGT Volmatic, Sank Augustin/Germany). Ein mögliches Auswaschen von Nährstoffen aus dem Substrat wurde durch Untersetzer unter den Töpfen verhindert. Alle Gefäße waren ausreichend mit Phosphor und Kalium versorgt, lediglich der Stickstoffgehalt wurde durch differenzierte Zugabe von NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> variiert. Die zwei Düngestufen, 150 kg N ha<sup>-1</sup> (niedrige Stickstoffversorgung) und 300 kg N ha<sup>-1</sup> (hohe Stickstoffversorgung), wurden im gesplitteten Düngedesign appliziert.

## 2.2 Ernten

Die Pflanzen wurden zur Vollreife (Stadium 92, TOTTMAN & BROAD 1987) geerntet und in vegetative oberirdische Biomasse, Haupt- und Nebenähren getrennt. Die vegetative oberirdische Biomasse wurde bei 70 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, das Trocknen der Ähren erfolgte bei einer Temperatur von 35 °C im Umluftschrank. Die Körner wurden von Hand von den Spelzen getrennt.

## 2.3 Biochemische Analytik

### 2.3.1 Enzymatische Stärkebestimmung

Im Mehl enthaltene lösliche Kohlenhydrate wurden durch Extraktion mit 70%igem Ethanol aus der Probe entfernt. Die im Mehl enthaltene Stärke wurde durch Aufschluß mit DMSO (Dimethylsulfoxid) in eine gelöste Form überführt (FRENCH 1984) und enzymatisch durch Amyloglucosidase zu D-Glucose hydrolysiert. D-Glucose reagierte mit 4-Aminoantipyrin über ein Glucoseoxidase/Glucoseperoxidase-System (GOD-POD-System) zu einem Chinonfarbstoff, dessen Konzentration gegen eine Glucoseeichreihe im Photometer bestimmt wurde (BLAKENEY & MATHESON 1984).

### 2.3.2 Rohproteinbestimmung nach Kjeldahl

Die Gesamtstickstoffkonzentration der Probe wurde nach der Methode von Kjeldahl bestimmt. Der Proteingehalt im Korn berechnete sich aus der Multiplikation der Gesamtstickstoffkonzentration mit dem Faktor 5,7 (REINER & al. 1992).

### 2.3.3 Aminosäurebestimmung über HPLC

Die im Korn enthaltenen Proteine wurden in 6 N HCl (18 h, 110 °C) zu Aminosäuren hydrolysiert. Die chromatographische Auftrennung der Aminosäuren erfolgte mittels des Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie-Verfahrens (HPLC, Varian Vista 5500) unter Anwendung der Reversed-Phase-Technik nach Vorsäulenderivatisierung der Aminosäuren mit FMOC-Cl (9-Fluoenylmethoxycarbonylchlorid). Die Aminosäuren wurden zur Detektion in fluoreszierende FMOC-Derivate überführt, über eine chromatographische Trennsäule aufgetrennt und am Ende durch einen Detektor erfaßt und quantifiziert (JOHNSON & STEVENSON 1978, EINARSSON & al. 1983). Erfafßt wurden die Aminosäuren Alanin, Arginin, Asparagin, Asparaginsäure, Glutamin, Glycin, Histidin, Isoleu-

cin, Leucin, Phenylalanin, Prolin, Serin, Threonin und Valin. Die Berechnung der prozentualen Anteile der Aminosäuren am Gesamtprotein beziehen sich auf die erfaßten Aminosäuren.

2.4 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS PC+ (SPSS inc., Chicago/ U.S.A.). Die multiple Varianzanalyse (MANOVA, SPSS PC+) wurde angewendet, um die Einflüsse von erhöhtem CO<sub>2</sub>, der Stickstoffversorgung sowie deren Interaktionen auf die einzelnen Parameter zu ermitteln. Die Ergebnisse der Statistik werden im Ergebnisteil folgendermaßen bezeichnet:

- ns = nicht signifikant
- \* = P < 0,05
- \*\* = P < 0,01
- \*\*\* = P < 0,001

3 Ergebnisse

3.1 Ertragsparameter

Die oberirdische Biomasse der Weizenpflanzen wurde zum Zeitpunkt der Vollreife durch erhöhtes CO<sub>2</sub> und abhängig von der Stickstoffversorgung der Pflanzen signifikant beeinflusst. Ansteigende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen verursachten bei hoher Stickstoffversorgung (300 kg N ha<sup>-1</sup>) einen Anstieg der oberirdischen Bio-

masse um 18,3% in der mittleren (515 µmol mol<sup>-1</sup>) und 33,5% in der hohen CO<sub>2</sub>-Behandlung (665 µmol mol<sup>-1</sup>). Unter niedriger Stickstoffversorgung (150 kg N ha<sup>-1</sup>) betrug die Förderung der oberirdischen Biomasse 23,4% in der mittleren und 30,2% in der hohen CO<sub>2</sub>-Behandlung. Zusätzliche Stickstoffgaben (300 kg N ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu 150 kg N ha<sup>-1</sup>) führten zu einer Steigerung der oberirdischen Biomasse um 11,4% bei 380 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, 6,8% bei 515 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> und 14,2% bei 665 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>.

Kornertragssteigerungen können auf einer erhöhten Anzahl der ausgebildeten Ähren, einer Zunahme der Kornzahl pro Ähre und einer Erhöhung des Tausendkorngewicht der Körner beruhen. In der vorliegenden Studie resultierte der beobachtete CO<sub>2</sub>-Effekt auf den Ertrag der Weizenpflanzen (Abb. 1) abhängig von der Stickstoffversorgung der Pflanzen in erster Linie aus der vermehrten Ausbildung von Nebenähren. Die Ertragsförderung in den Nebenähren betrug bei einer Stickstoffversorgung von 300 kg N ha<sup>-1</sup> in der mittleren CO<sub>2</sub>-Konzentration 27,4% und bei verdoppelten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen 49,0%. Unter niedriger Stickstoffversorgung (150 kg N ha<sup>-1</sup>) lagen die Ertragssteigerungen in den Nebenähren durch erhöhtes CO<sub>2</sub> in einem Bereich von 40,0% bis 42,7%. Eine höhere Stickstoffversorgung (300 kg N ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu 150 kg N ha<sup>-1</sup>) steigerte den Ertrag in den Nebenähren um 22,5% bei 380 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, um 11,6% bei 515 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> und um 28,0% bei 680 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>. In den Hauptähren konnte kein signifikanter Ertragsanstieg durch erhöhte CO<sub>2</sub>-

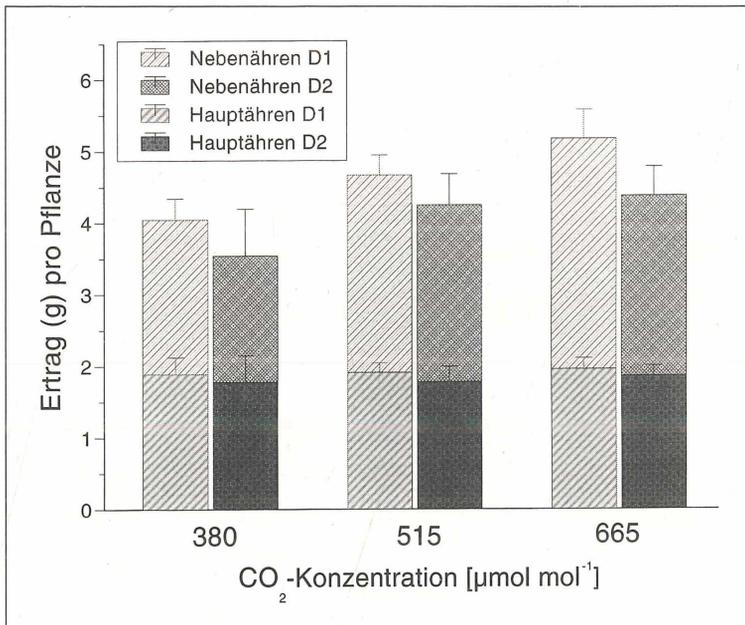


Abb. 1 Wirkung erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung auf den Ertrag von Sommerweizen; D1: 300 kg N ha<sup>-1</sup>, D2: 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Ergebnisse der MANOVA: Hauptähre PCO<sub>2</sub> (ns), PN (ns), PCO<sub>2</sub>xN (ns), Nebenähre PCO<sub>2</sub> (\*\*\*), PN (\*\*\*), PCO<sub>2</sub>xN (ns).

Fig. 1 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and different nitrogen fertilizer levels on yield of wheat; D1: 300 kg N ha<sup>-1</sup>, D2: 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Results of MANOVA: mainstem PCO<sub>2</sub> (ns), tillers PCO<sub>2</sub> (\*\*\*), PN (\*\*\*), PCO<sub>2</sub>xN (ns).

Konzentrationen und Stickstoffgaben beobachtet werden. Die Kornzahl der Hauptähren blieb ebenfalls von ansteigenden  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen unbeeinflusst, eine höhere Stickstoffversorgung der Pflanzen ( $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Vergleich zu  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) bewirkte eine Zunahme der Kornzahl in den Hauptähren um durchschnittlich 5,9% in allen  $\text{CO}_2$ -Behandlungen. In den Nebenähren stieg die Anzahl der Körner pro Pflanze bei guter Stickstoffversorgung um 33,1% in der mittleren und 49,3% in der hohen  $\text{CO}_2$ -Exposition. Unter niedriger Stickstoffversorgung wurden die Kornzahlen in den Nebenähren um 46,7% bei  $515 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$  und 40,7% bei  $665 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$  gefördert. Eine erhöhte Stickstoffversorgung steigerte die Kornzahlen in den Nebenähren um 24,9% bei  $380 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$ , 13,3% bei  $515 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$  und 32,5% bei  $680 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$ . Auch die Kornzahl pro Ähre wurde unter erhöhten  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zwischen 6,1% und 13,7% gefördert, sie wies jedoch keine Abhängigkeit zur Stickstoffversorgung auf. Ein Effekt von  $\text{CO}_2$  oder der Stickstoffversorgung auf das Tausendkorngewicht wurde in keiner der Behandlungsvarianten beobachtet.

## 3.2 Korninhaltsstoffe

### 3.2.1 Stärke

Erhöhte  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zeigten keinen signifikanten Effekt auf die Stärkekonzentrationen der Körner von Haupt- und Nebenähren. Eine hohe Stick-

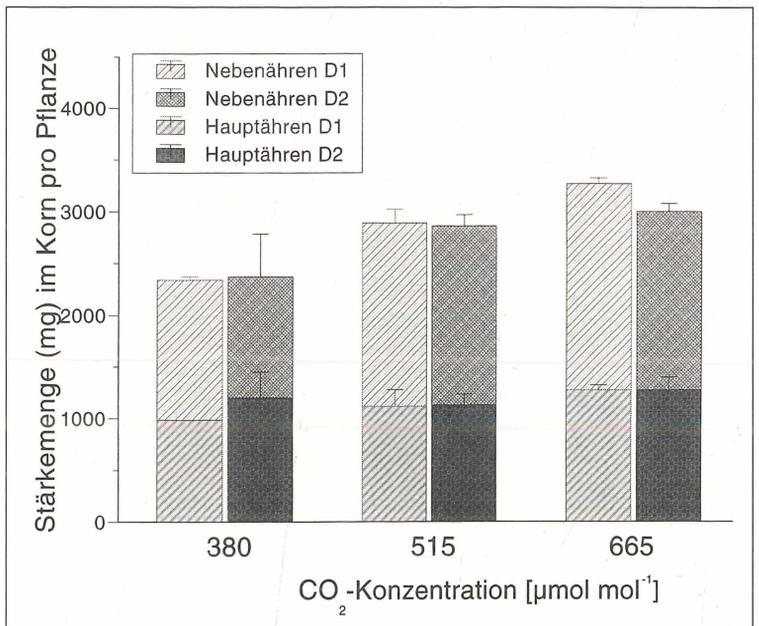
stoffversorgung ( $300 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Vergleich zu  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) führte jedoch zu einer signifikanten Abnahme der Stärkekonzentrationen um durchschnittlich 11,9% in den Körnern der Hauptähren und um 7,8% in den Körnern der Nebenähren. Die Pflanzen reagierten auf ansteigende  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen mit einer Anpassung der Stärkeproduktion an die unter erhöhtem  $\text{CO}_2$  größer werdenden Sinkkapazitäten, so daß der beobachtete signifikante Anstieg der Stärkemenge unter erhöhtem  $\text{CO}_2$  in erster Linie aus der vermehrten Stärkeeinlagerung in den Nebenähren der Pflanzen resultierte (Abb. 2). Bei hoher Stickstoffversorgung wurde die Stärkemenge in den Nebenähren bei  $515 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$  um 30,8% und bei  $665 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$  um 48,0% gefördert, unter niedriger Stickstoffversorgung war die in den Nebenähren eingelagerte Stärkemenge um 47,3% in der mittleren bzw. 47,6% in der hohen  $\text{CO}_2$ -Exposition erhöht. Ein Effekt erhöhter Stickstoffgaben auf die in Haupt- und Nebenähren eingelagerte Stärkemenge konnte in keiner der  $\text{CO}_2$ -Behandlungsvarianten beobachtet werden.

### 3.2.2 Kornprotein

Die Proteinkonzentration in den Körnern der Nebenähren wurde bei hoher Stickstoffversorgung ( $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) um 16,9% in der mittleren und um 20,8% in der hohen  $\text{CO}_2$ -Konzentration signifikant reduziert (Abb. 3). Unter niedriger Stickstoffversorgung ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) nahm die Proteinkonzentration durch erhöhtes  $\text{CO}_2$  um 26,4% ab. Die Proteinkonzentration

Abb. 2  
Effekt ansteigender  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen in Abhängigkeit von der Stickstoffbehandlung der Pflanzen auf die eingelagerte Stärkemenge im Korn; D1:  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , D2:  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ergebnisse der MANOVA: Hauptähre  $\text{PCO}_2$  (ns), PN (ns),  $\text{PCO}_2 \times \text{N}$  (ns), Nebenähre  $\text{PCO}_2$  (\*), PN (ns),  $\text{PCO}_2 \times \text{N}$  (ns).

Fig. 2  
Effect of  $\text{CO}_2$  enrichment and different nitrogen fertilizer levels on starch amount in grains; D1:  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ , D2:  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Results of MANOVA: mainstem  $\text{PCO}_2$  (ns), PN (ns),  $\text{PCO}_2 \times \text{N}$  (ns), tillers  $\text{PCO}_2$  (\*), PN (ns),  $\text{PCO}_2 \times \text{N}$  (ns).



der Hauptähren wurde durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ebenfalls reduziert, dieser Effekt war jedoch nicht signifikant. Die Pflanzen reagierten unter erhöhten Stickstoffgaben in keiner der CO<sub>2</sub>-Behandlungen mit signifikanten Veränderungen der Proteinkonzentration der Haupt- und Nebenähren. Die von den Pflanzen ins Korn eingelagerte Stickstoffmenge blieb durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen unbeeinflusst, in den Nebenähren konnte eine direkte Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung der Pflanzen beobachtet werden. Die eingelagerte Kornproteinmenge in den Nebenähren stieg durch hohe Stickstoffgaben (300 kg N ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu 150 kg N ha<sup>-1</sup>) um 29,8% bei 380 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, 33,2% bei 515 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> und 45,3% bei 680 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> an.

**3.2.3 Aminosäuren des Kornproteins**

Die Aminosäurekonzentrationen in den Körnern nach Hydrolyse der Proteine wurden nur in den Nebenähren bei hoher Stickstoffversorgung (300 kg N ha<sup>-1</sup>) durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen signifikant beeinflusst (Tabelle 2). Die Konzentrationen aller Aminosäuren sanken bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 515 μmol mol<sup>-1</sup> durchschnittlich um 28,5% und bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 665 μmol mol<sup>-1</sup> durchschnittlich um 40,9% im Vergleich zur Kontrolle (380 μmol mol<sup>-1</sup>) ab. Ein signifikanter CO<sub>2</sub>- und Stickstoffeffekt auf die Aminosäurekonzentrationen in den Hauptähren konnte nicht beobachtet werden. Zusätzlicher Stickstoff (300 kg N ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu 150 kg N ha<sup>-1</sup>) steigerte die Konzentration der Ami-

nosäuren Alanin, Glutaminsäure, Leucin, Threonin und Prolin in den Nebenähren um 29,8 bis 58,8% bei 380 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> und 7,1 bis 55,4% bei 515 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>. In der CO<sub>2</sub>-Exposition mit 680 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> wurde in den Nebenähren bei den Aminosäuren Alanin, Glutaminsäure, Leucin, Threonin und Prolin eine Abnahme der Konzentrationen um 0,4 bis 14,6% nach zusätzlicher Stickstoffgabe beobachtet. In den Körnern der Hauptähren konnte kein signifikanter Effekt erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und zusätzlicher Stickstoffversorgung auf den prozentualen Anteil der Aminosäuren am Gesamtprotein gefunden werden. Tendenziell stieg jedoch der prozentuale Anteil der essentiellen Aminosäuren am Kornprotein in den Nebenähren durch die Zunahme von Phenylalanin und Valin in der hohen CO<sub>2</sub>-Behandlung an, die Anteile der Aminosäuren Leucin und Prolin nahmen ebenfalls unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu. Die durch CO<sub>2</sub> induzierten Zunahmen von Leucin, Phenylalanin, Prolin und Valin wurden fast ausschließlich durch die Abnahme von Glutaminsäure kompensiert. Alle anderen gemessenen Aminosäuren blieben von den erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen unbeeinflusst. Zusätzlicher Stickstoff (300 kg N ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu 150 kg N ha<sup>-1</sup>) reduzierte den prozentualen Anteil der Aminosäuren Alanin, Asparaginsäure und Threonin am Gesamtprotein der Nebenähren um durchschnittlich 4,1% bei 380 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, 14,0% bei 515 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> und 10,7% bei 680 μmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>. Die im Korn enthaltenen Aminosäuremengen wurden weder in den Körnern der Hauptähren – noch in den Körnern

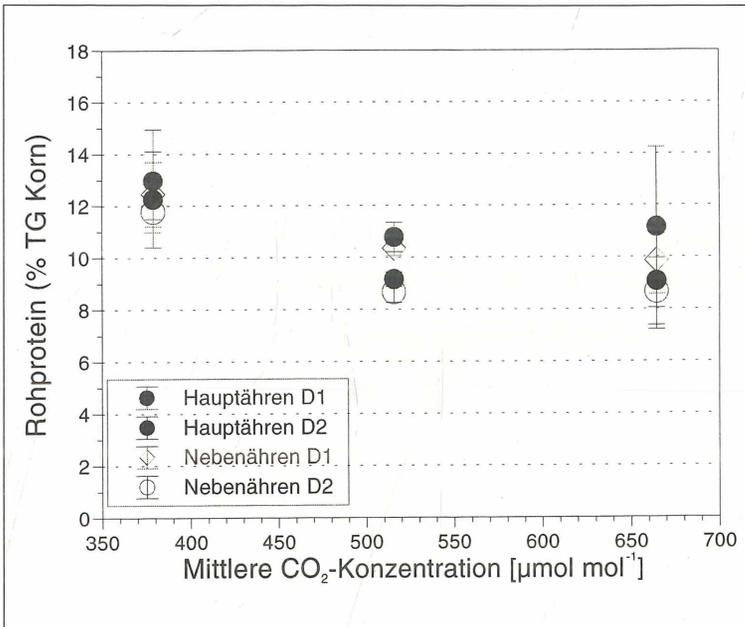


Abb.3 Folgen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Stickstoffversorgung für die Proteinkonzentration in Haupt- und Nebenähren; D1: 300 kg N ha<sup>-1</sup>, D2: 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Ergebnisse der MANOVA: Hauptähre PCO<sub>2</sub> (ns), PN (ns), PCO<sub>2</sub>xN (ns), Nebenähre PCO<sub>2</sub> (\*\*), PN (ns), PCO<sub>2</sub>xN (ns).

Fig.3 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment and different nitrogen fertilizer levels on protein concentration in grains of mainstem and tillers; D1: 300 kg N ha<sup>-1</sup>, D2: 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Results of MANOVA: mainstem PCO<sub>2</sub> (ns), PN (ns), PCO<sub>2</sub>xN (ns), tillers PCO<sub>2</sub> (\*\*), PN (ns), PCO<sub>2</sub>xN (ns).

Tab. 2  
Einfluß von erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Aminosäuren im Korn der Nebenähren von Weizen (Stickstoffversorgung 300 kg N ha<sup>-1</sup>).

Table 2  
Effect of enriched atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on amino acids in grains of tillers in wheat (nitrogen fertilizer level 300 kg N ha<sup>-1</sup>).

Parameter	Prozentuale Konzentrationsveränderung (Vergleich zu 380 µmol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> )			Anteil am Kornprotein (%)		
	515 µmol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>	665 µmol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>	P <sub>CO2</sub>	380 µmol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>	665 µmol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>	P <sub>CO2</sub>
Ala	-33,4	-41,2	**	3,8	4,0	n.s.
Arg	-34,7	-46,6	**	5,5	5,2	n.s.
Asn	-20,5	-36,8	*	0,9	1,1	n.s.
Asp	-35,2	-44,4	**	6,2	6,1	n.s.
Glu	-35,7	-49,1	***	32,7	29,5	n.s.
Gly	-32,5	-42,3	***	4,3	4,4	n.s.
His	-35,6	-51,8	n.s.	3,8	3,6	n.s.
Ile	-31,6	-45,9	*	3,2	3,0	n.s.
Leu	-29,6	-38,8	**	7,7	8,4	n.s.
Phe	-18,6	-25,1	*	3,9	5,1	n.s.
Pro	-11,0	-42,5	***	16,7	17,2	n.s.
Ser	-35,0	-45,8	**	5,5	5,3	n.s.
Thr	-32,7	-42,8	***	2,9	2,9	n.s.
Val	-10,3	-19,6	n.s.	3,0	4,2	n.s.

der Nebenähren – durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Stickstoffgaben signifikant beeinflusst.

#### 4 Diskussion

Die vorliegende Studie bestätigt die Ergebnisse von FANGMEIER & al. (1996), die unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen abhängig von der Stickstoffversorgung bei Sommerweizen Ertragssteigerungen in Höhe von durchschnittlich 36% beobachten konnten.

Darüber hinaus wurde untersucht, ob die quantitativen Veränderungen des Ertrags Folgen für die Qualität der Ernteprodukte nach sich ziehen. Von besonderem Interesse waren die Einflüsse ansteigender CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Kornproteinkonzentrationen, welche direkte Aussagen über die Qualität des Erntegutes zulassen. Unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurden, abhängig von der Stickstoffversorgung der Pflanzen, Proteinkonzentrationen von 8,7% bis 11,2% erreicht, die – je nach geplanter Verwendung – eine Verschlechterung der Kornqualität durch ansteigende atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erwarten lassen. Nur die Kontrollpflanzen (380 µmol mol<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>) erreichten die für eine gute Backqualität erforderliche Kornproteinkonzentration von 11,5%. Eine Abnahme der Kornproteinkonzentration unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurde auch in Studien von HOCKING & MEYER (1991), CONROY (1992), THOMPSON & WOODWARD (1994) beob-

achtet. Gründe für die Abnahme der Stickstoffkonzentration im Korn durch erhöhtes CO<sub>2</sub> könnten eine Beschleunigung des Pflanzenwachstum und eine damit verbundene verkürzte Kornfüllungsphase sein. Weiterhin beeinflussen CO<sub>2</sub> und die Stickstoffversorgung die Stickstoffaufnahme, deren Verteilung und Umverteilung in der Pflanze in komplexer Weise. Ansteigendes CO<sub>2</sub> führt zu einer verbesserten »N-use efficiency« (VAN KRAALINGEN 1990, HOCKING & MEYER 1991) und verringert den Stickstoffbedarf in den Blättern durch die Abnahme der Photorespiration und/oder die Optimierung des Photosyntheseapparates (WOODROW 1994). Folge ist eine Abnahme der Stickstoffkonzentrationen im vegetativen Pflanzengewebe von Sommerweizen unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die in verschiedenen Studien (HOCKING & MEYER 1991, MANDERSCHIED & al. 1995, FANGMEIER & al. 1997) beobachtet werden konnte. Das durch CO<sub>2</sub> erzeugte Ungleichgewicht der Stickstoffverteilung in den grünen Gewebeteilen von Sommerweizen zieht schwerwiegende Folgen für die Proteinkonzentration im Korn nach sich, da das ins Korn eingelagerte Protein vorwiegend aus Stickstoffverbindungen stammt, die während der Kornfüllung aus den vegetativen Pflanzenteilen remobilisiert werden (VAN KRAALINGEN 1990). Die unter ansteigendem CO<sub>2</sub> verminderte Kornqualität kann daher nicht durch eine erhöhte Stickstoffversorgung der Pflanzen ausgeglichen werden, da diese meist nur die Biomassebildung, nicht aber die Stickstoffaufnahme

und Umverteilung während der Kornfüllung fördert (HOCKING & MEYER 1991, CONROY 1992).

Ein Verdünnungseffekt qualitätsbestimmender Parameter durch vermehrt eingelagerte Kohlenhydrate kann ausgeschlossen werden, da die Konzentrationen des Hauptkohlenhydrates Stärke zum Zeitpunkt der Vollreife im Korn keine oder nur eine sehr geringe Reaktion auf erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigten. Die positive Reaktion der Kohlenhydrate auf CO<sub>2</sub> bestand in erster Linie darin, daß die im vegetativen Pflanzengewebe durch erhöhtes CO<sub>2</sub> vermehrt angelegten Kohlenhydratpools (SCHNYDER 1993) während der Kornfüllung entleert wurden und der Füllung der größer werdenden Sinks in Form von Nebenähren zur Verfügung standen, so daß die eingelagerte Stärkemenge pro Pflanze unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen anstieg.

Die Abnahme der Aminosäurekonzentrationen im Korn um 30–50% unter erhöhtem CO<sub>2</sub> sowie der Anstieg des Anteils essentieller Aminosäuren am Gesamtprotein unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurde auch bei MANDERSCHIED & al. (1995) beobachtet. Allerdings nahm in dieser Studie der Anteil der essentiellen Aminosäuren Lysin und Arginin zu, in der vorliegenden Studie stieg der Anteil von Valin und Phenylalanin am Gesamtprotein. In beiden Studien wurde der Anstieg der essentiellen Aminosäuren durch die Abnahme von Glutaminsäure kompensiert. Die unter erhöhtem CO<sub>2</sub> festgestellten Veränderungen in den Anteilen der einzelnen Aminosäuren am hydrolysierten Kornprotein lassen auf eine Verschiebung der Anteile der einzelnen Proteinfractionen schließen. Die Abnahme des Glutaminsäureanteils und der Anstieg der essentiellen Aminosäuren kann als die relative Abnahme der glutaminsäurereichen Endospermproteine Prolamine und Gluteline bei gleichzeitiger relativer Zunahme der, an essentiellen Aminosäuren reichen Albumine und Globuline in der Aleuron- und Embryoschicht des Kornproteins (MICHAEL & al. 1961) interpretiert werden. Da besonders Glutelin eine wichtige Rolle in der Ausbildung der Qualität von Weizen zugeschrieben wird (HUEBNER & WALL 1976), kann auch hier von einer Verschlechterung der Qualität durch erhöhtes CO<sub>2</sub> gesprochen werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie in Bezug auf die Kornqualität lassen den Schluß zu, daß besonders die Nebenähren einen großen Einfluß auf die Qualität der Körner besitzen. Insgesamt sind die Effekte erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Langzeitversuchen auf die untersuchten Korninhaltsstoffe von Sommerweizen sehr gering. Die beobachtete Abnahme der Kornproteinkonzentration erfolgte jedoch in einer Größenordnung, in der bereits Veränderungen der Kornqualität zu erwarten sind. In weiteren Versuchen sollten die Folgen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen für die Ertragsqualität detaillierter untersucht

werden, um Anweisungen für die Züchtung von Sommerweizen zum Erhalt der Kornqualität in einer zukünftigen CO<sub>2</sub>-Welt geben zu können.

## Literatur

- BLAKENEY, A.B. & MATHESON, N.K., 1984: Some properties of stem and pollen starches of rice. – Stärke 36: 265–269.
- CONROY, J.P., 1992: Influence of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on plant nutrition. – Aust. J. Bot., 40: 445–456.
- EINARSSON, S., JOSEFSSON, B. & LAGERKVIST, S., 1983: Determination of amino acids with 9-fluorenylmethyl chloroformate and reversed-phase high performance liquid chromatography. – Journal of Chromatography, 282: 609–618.
- FANGMEIER, A., STEIN, W. & JÄGER, H.-J., 1992: Advantages of an open-top chamber plant exposure system to assess the impact of atmospheric trace gases on vegetation. – Angew. Bot. 66: 97–105.
- FANGMEIER, A., GRÜTERS, U., HERTSTEIN, U., SANDHAGE-HOFMANN, A., VERMEHREN, B. & JÄGER, H.-J., 1996: Effects of elevated CO<sub>2</sub>, nitrogen supply and tropospheric ozone on spring wheat. I. Growth and yield. – Environ. Pollut. 91: 381–390.
- FANGMEIER, A., GRÜTERS, U., HÖGY, P., VERMEHREN, B. & JÄGER, H.-J., 1997: Effects of elevated CO<sub>2</sub>, nitrogen supply and tropospheric ozone on spring wheat. – II. Nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn). – Environ. Poll., Vol 96, No. 1: 43–59.
- FRENCH, D., 1984: Chemistry and biochemistry of starch. – In: W.J. WHELAN (ed). Biochemistry of carbohydrates. MTP International review of science. – Butterworths, London: 267–335.
- HOCKING, P.J. & MEYER, C.P., 1991: Effects of CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen stress on growth, and partitioning of dry matter and nitrogen in wheat and maize. – Austr. J. Plant Physiol. 18: 339–356.
- HUEBNER, F.R. & WALL, J.S., 1976: Fractionation and quantitative differences of glutenin from wheat varieties varying in baking quality. – Cereal Chem. 53: 258–269.
- IPCC, 1995: Climate change 1995 – The science of climate change. In: J.J. HOUGHTON, L.G. MEIRO FILHO, B.A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG & K. MASKELL (eds). Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 572 S.

- JOHNSON, E.L. & STEVENSON, R., 1978: Basic liquid chromatography. Varian Associates. Hansen Way, Palo Alto, California. 354 S.
- KIMBALL, B.A., 1983: Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. – *Agron. J.* 75: 779–788.
- MANDERSCHIED, R., BENDER, J., JÄGER, H.-J. & WEIGEL, H.J., 1995: Effects of season long CO<sub>2</sub> enrichment on cereals. II. Nutrient concentrations and grain quality. – *Agr. Ecosyst. Environ.* 54: 175–185.
- MICHAEL, B., BLUME, B. & FAUST, H., 1961: Die Eiweißqualität von Körnern verschiedener Getreidearten in Abhängigkeit von Stickstoffversorgung und Entwicklungszustand. – *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd.* 92: 106–116.
- REINER, L., BUHLMANN, V., GRASER, S., HEIBENHUBER, A., KLASSEN, M., PFEFFERKORN, V., SPANAKAKIS, A., STRAB, F., 1992: Weizen aktuell. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V. (Hrsg.). DLG-Verlag, Frankfurt am Main: 269 S.
- ROGERS, H.H. & DAHLMAN, R.C., 1993: Crop responses to CO<sub>2</sub> enrichment. – *Vegetatio* 104/105: 117–131.
- SCHNYDER, H., 1993: The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling – a review. – *New Phytol.* 123: 233–245.
- THOMPSON, G.B. & WOODWARD, F.I., 1994: Some influences of CO<sub>2</sub> enrichment, nitrogen nutrition and competition on grain yield and quality in spring wheat and barley. – *J. Exp. Bot.* 45: 937–942.
- TOTTMAN, D.R. & BROAD, H., 1987: The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. – *Ann. Appl. Biol.* 110: 441–454.
- VAN KRAALINGEN, D.W.G., 1990: Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on nutrient-deficient plants. In: J.GOULDRIAAN, H. VAN KEULEN, H. & H.H. VAN LAAR (eds). *The greenhouse effect and primary productivity in european agro-ecosystems.* – Pudoc, Wageningen: 42–45.
- WOODROW, I.E., 1994: Optimal acclimation of the C<sub>3</sub>-photosynthetic system under enhanced CO<sub>2</sub>. – *Photosynth. Res.* 39, 401–412.

### Autoren

Dipl.-Biol. Petra Högy  
 Dr. Andreas Fangmeier  
 Prof. Dr. Hans-Jürgen Jäger  
 Institut für Pflanzenökologie  
 der Justus-Liebig-Universität Giessen  
 Heinrich-Buff-Ring 38  
 D-35392 Giessen

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28\\_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Fangmeier Andreas, Jäger Hans-Jürgen, Högy  
Petra

Artikel/Article: [Effekte erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Stickstoffversorgung auf Korntrag und Kornqualität von Sommerweizen \(\*Triticum aestivum\* cv. Minaret\) 381-388](#)