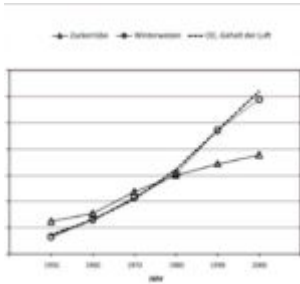


Mehr CO₂ bedeutet Ertragsteigerung in der Landwirtschaft



Der CO₂-Gehalt der Luft hat von Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Jahrtausendwende von 0,028 auf 0,038% (280 bis 380ppm) zugenommen, was im Wesentlichen auf anthropogene Aktivitäten, wie Nutzung fossiler Energien zurückgeführt wird. Da etwa zur gleichen Zeit die globale Temperatur um 0,7°C anstieg, wird auf einen Zusammenhang geschlossen. In der Annahme eines weiteren Anstiegs des CO₂-Gehaltes und damit auch der Temperatur werden mittels Computersimulationen mögliche Szenarien vorausgesagt, die in der Lage sind, die Menschheit auszulöschen.

In diesem Zusammenhang wird völlig ausgeblendet, dass das Spurengas CO₂ eine Grundlage für das Leben auf unserem Planeten darstellt. Grüne Pflanzenteile synthetisieren aus CO₂, Wasser und Sonnenenergie Glukose, den Grundstoff für alle natürlichen organischen Verbindungen und die Primärenergie für alle lebensnotwendigen Auf-, Um- und Abbauprozesse in tierischen und pflanzlichen Zellen.

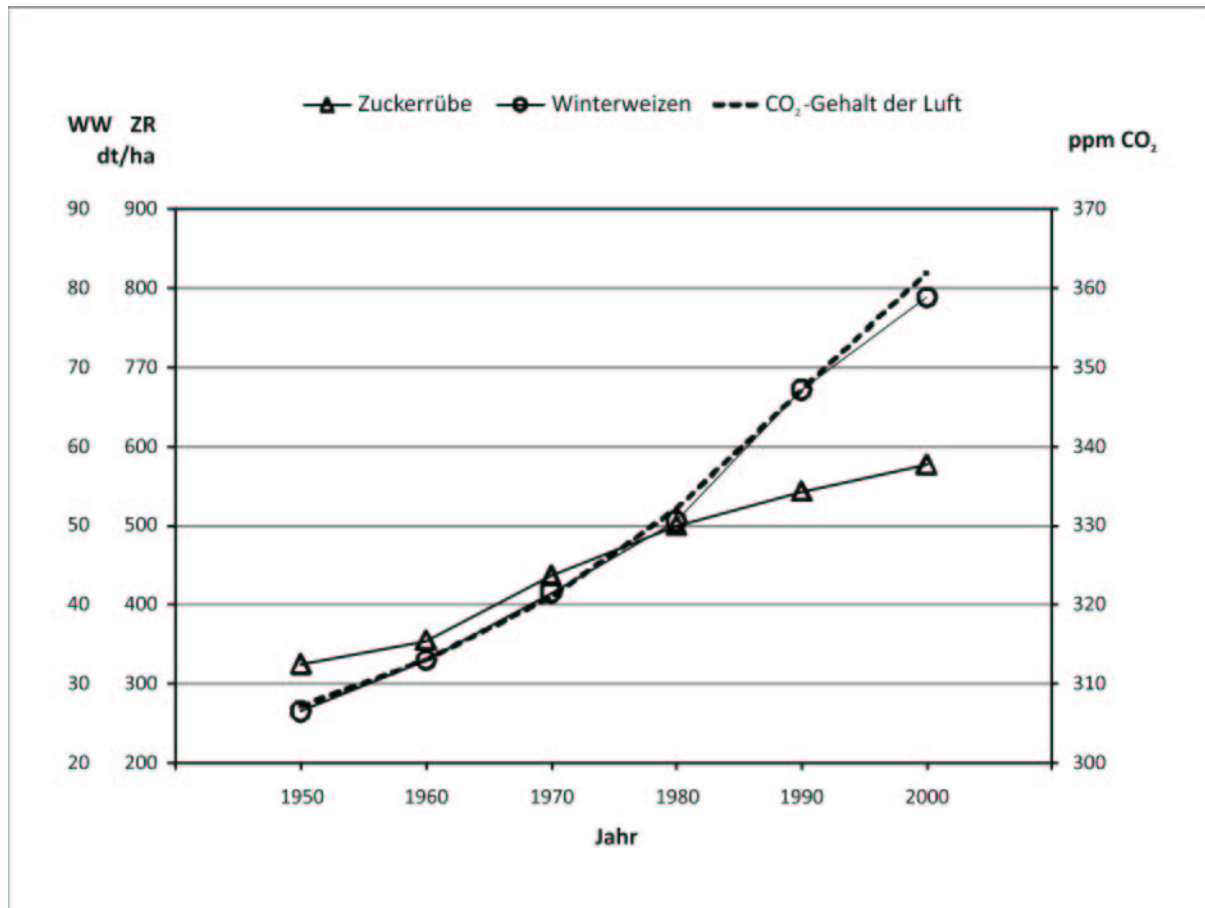
Ältere, wie neuere Versuche in geschlossenen Systemen haben übereinstimmend ergeben, dass der derzeitige CO₂-Gehalt der Luft nicht für ein optimales Pflanzenwachstum ausreicht und ein Anheben Mehrerträge bringen, die nach Hochrechnungen auf einen CO₂-Anstieg von 100ppm Ertragsteigerungen von 30 bis 70 % bewirken. Darüber hinaus erhöhen Synergieeffekte die Wirkung anderer Wachstumsfaktoren. Für gärtnerische Intensivkulturen ist die CO₂-Düngung eine gängige Kulturmaßnahme.

Untersuchungen über den Einfluss des seit Mitte des 19. Jahrhunderts steigenden CO₂-Gehalt der Luft auf die ebenfalls steigenden Erträge landwirtschaftlicher Früchte liegen nicht vor. Sie bedürfen der Klärung und sind Gegenstand dieser Arbeit.

Grundlagen dafür sind Ertragserhebungen aus den Alten

Bundesländern Deutschlands (ABL) für Winterweizen (Getreide) und Zuckerrüben (Hackfrucht), die von 1949 bis 2007 vorliegen (und die mittleren jährlichen CO₂-Gehalte der Luft von 1850 bis 2000).

Abb.1 zeigt die Entwicklung der Getreide- und Zuckerrübenenerträge von 1950 bis 2000 im dreijährigen Mittel. In diesem Zeitraum sind W-Weizenerträge von 27 auf 79dt/ha, d. h. um 192% und für Z-Rüben von 320 auf 577dt/ha, d. h. 80% gestiegen. Der CO₂-Gehalt stieg in diesem Zeitraum von 307 auf 362ppm.

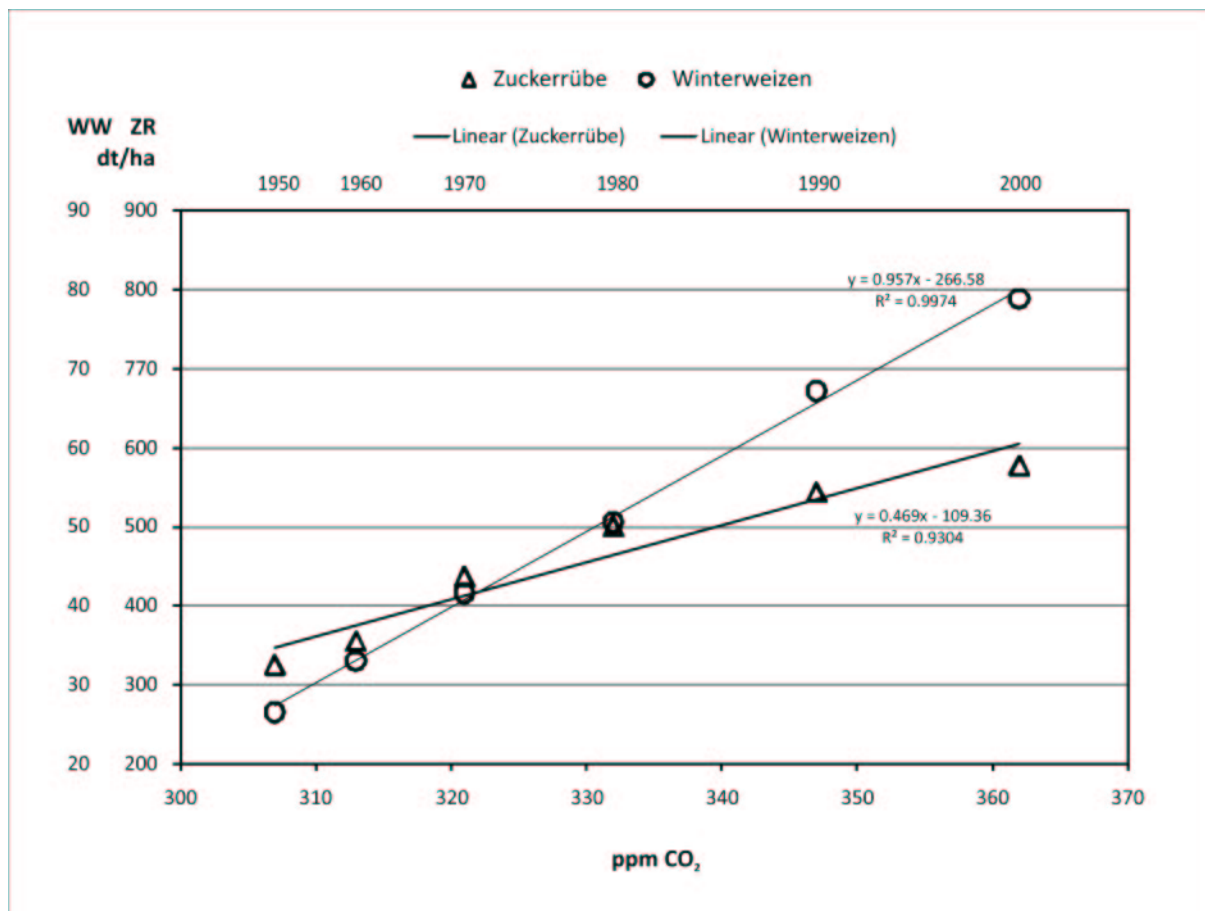


2000

In Abb. 2 sind die Erträge von W-Weizen und Z-Rüben in Abhängigkeit zum CO₂-Gehalt gesetzt. Sie ergeben für den Untersuchungszeitraum lineare, hoch signifikante Relationen.

Aus den Darstellungen in Abbildungen 1 und 2 ist zwingend zu folgern, dass der steigende CO₂-Gehalt die Erträge von W-Weizen und Z-Rüben entscheidend beeinflusst hat. An der Plausibilität

besteht kein Zweifel; denn:



Zwischen Wachstumsfaktoren bestehen Synergieeffekte; jede Verbesserung eines Faktors erhöht auch die Effizienz der übrigen. So erbringt z. B. bei vergleichbarer Grundversorgung der gleiche Düngeraufwand auf einem fruchtbaren Boden einen höheren Mehrertrag als auf einen weniger fruchtbaren.

Um den Einflüsse von Standorten auf

die CO₂-Wirkung nachzugehen, wurden die Ertragsentwicklungen von Schleswig-Holstein und Baden Württemberg verglichen. Schleswig-Holstein mit Seeklima ist Gunststandort für Winterweizen. Die Erträge nehmen im Bundesgebiet von Nord nach Süd ab. Baden-Württemberg mit wärmerem, aber stark variierendem Binnenlandklima ist dagegen Gunststandort für Zuckerrüben, die Erträge nehmen von Süd nach Nord ab.

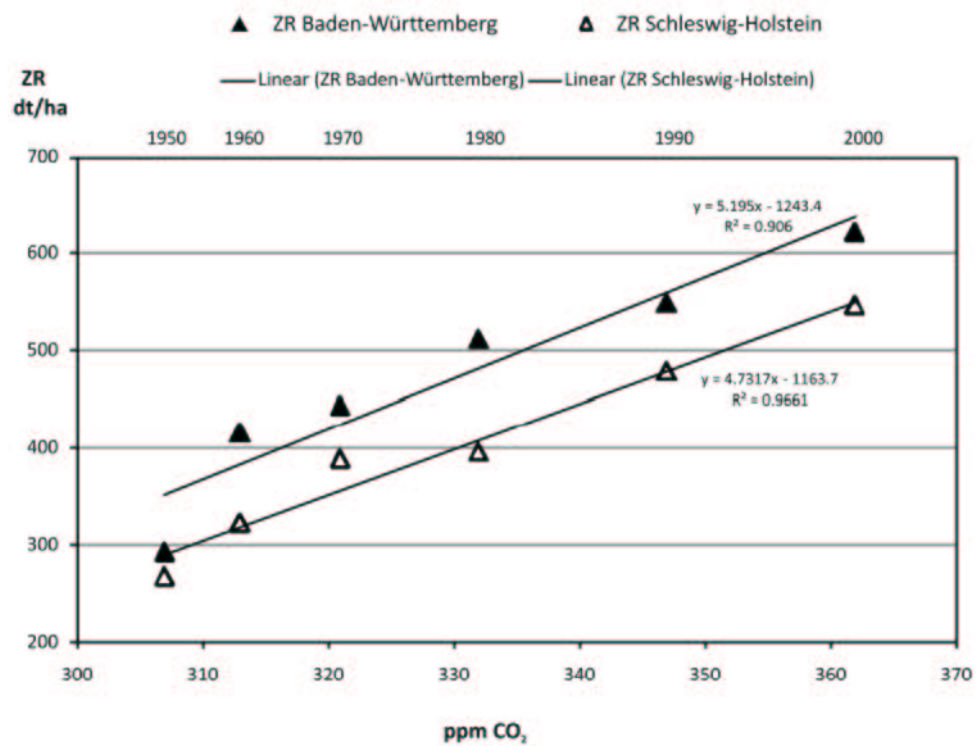
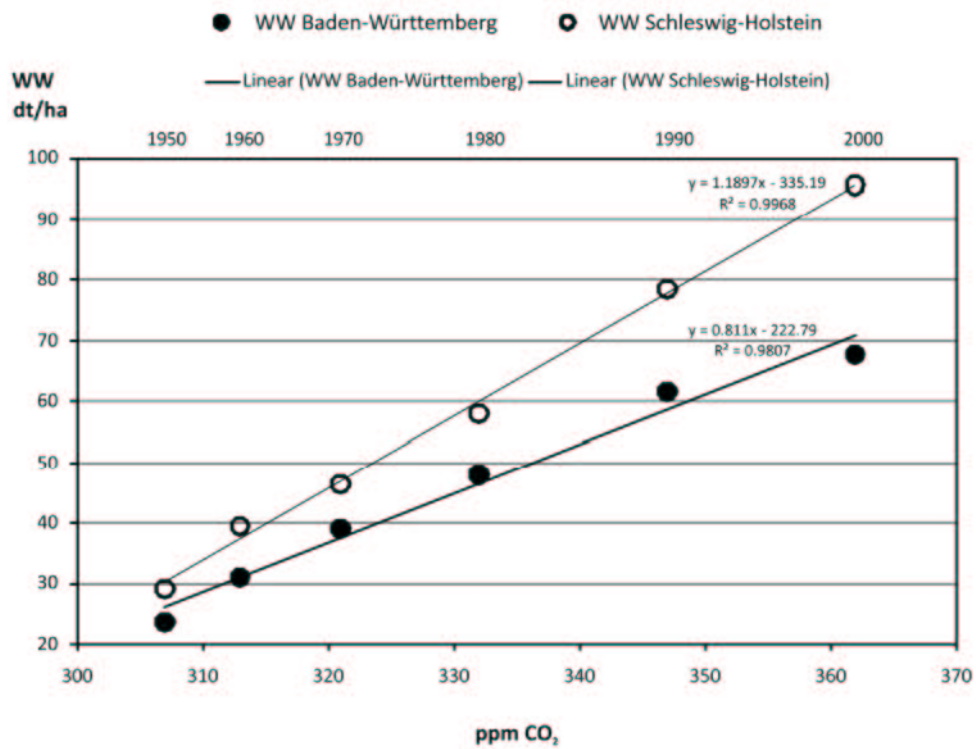


Abb. 3: Beziehungen zwischen CO₂-Gehalt und W-Weizen (obere) und Z-Rüben (untere Darstellung) in Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg.

Die Darstellungen in Abb. 3 zeigen, dass die Erträge in den Gunststandorten nicht nur höher lagen sondern mit zunehmender CO₂-Versorgung auch stärker anstiegen. So betragen die Regressionskoeffizienten bei Weizen in SH 1,19 gegenüber 0,81 in BW und bei Z-Rüben in BW 5,20 gegenüber SH 4,73. CO₂ hatte somit auf den jeweils günstigeren Standorten einen höheren Wirkungsgrad.

Pflanzen benötigen zum Aufbau der organischen Substanz, die schon von

der Begründern der Pflanzenernährung, Carl Sprengel und Justus von Liebig, erkannten 10 Hauptnährelemente*: Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N), Phosphor (P), Schwefel (S), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Eisen (Fe). Mit Fortschreiten der Chemie wurde die Bedeutung der Spurenelemente erkannt: Bor (B), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), und Zink (Zn).

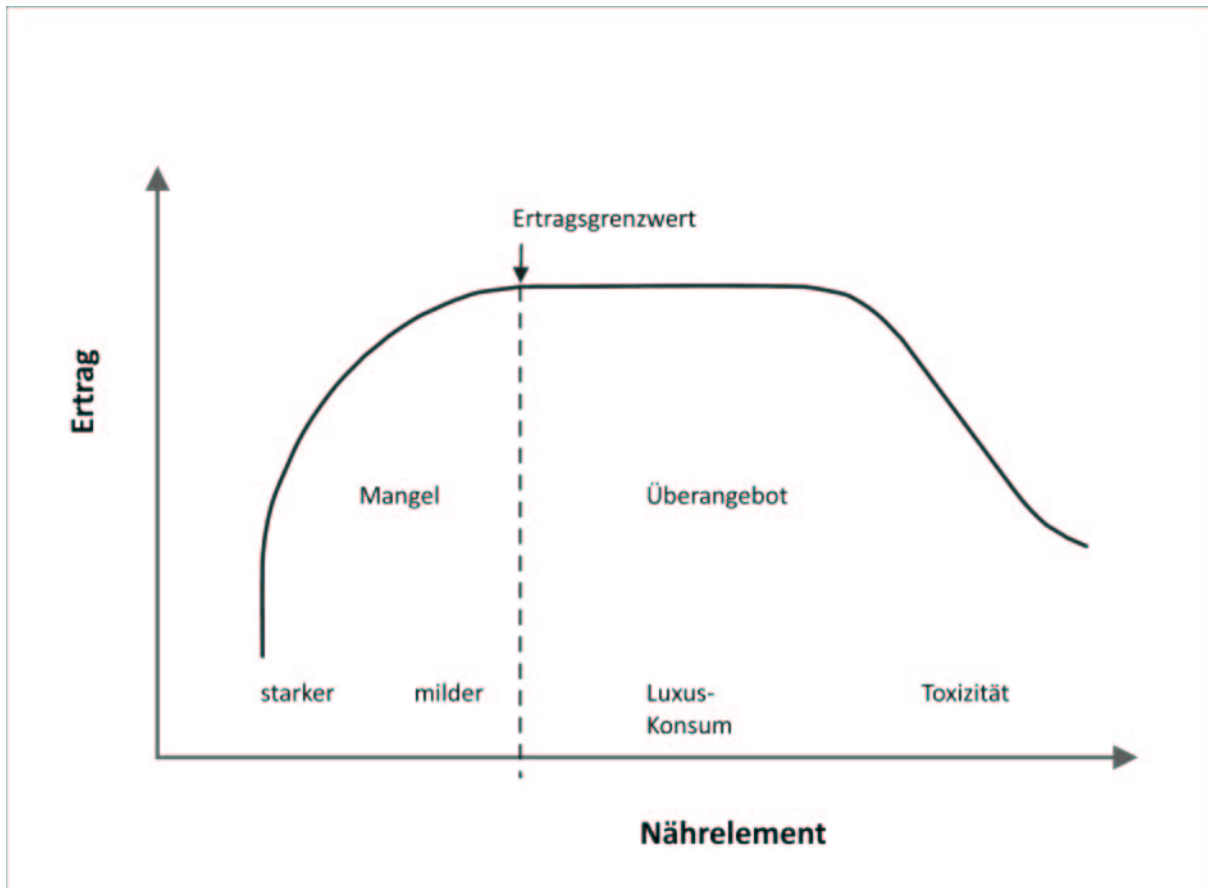
Die Zusammensetzung der organischen Substanz für Landpflanzen beträgt im Mittel C106, H180, O45, N16 und P1 (Wikipedia). Daraus ergibt sich für Weizenkorn eine Zusammensetzung bezogen auf Trockensubstanz von 57% Kohlenstoff, 32% Sauerstoff, 8% Wasserstoff und 3% Mineralstoffe*. Die Werte von Zuckerrüben liegen bedingt durch den etwas höheren Gehalt an Mineralstoffen von 5% geringfügig niedriger

Die Relationen zwischen Versorgung mit

Nährelementen und Wachstumsfaktoren zum Ertrag zeigt Abb. 4. Bei starkem Mangel bewirkt bereits eine geringe Verbesserung der Zufuhr einen starken Anstieg des Ertrages. Dieser nimmt mit zunehmender Sättigung bis zum Erreichen des Ertragsgrenzwertes ab. Überversorgungen führen zum nicht ertragswirksamen Luxuskonsum und wirken bei stark überhöhtem Angebot toxisch mit Verminderung von Ertrag und Qualität.

Die volle Ertragsleistung ist nur erreichbar, wenn alle Wachstumsfaktoren -d. h. auch die nicht durch anthropogene Aktionen beeinflussbaren -im Optimum liegen. Unter natürlichen Wachstumsbedingungen ist das nicht erreichbar. Dabei werden die Erträge am stärksten von dem Faktor begrenzt, der am weitesten im Minimum liegt. Bei seiner Optimierung ist die Wirkung umso höher, je günstiger die Situation bei den

anderen Faktoren ist. wie die unterschiedlichen Ertragsentwicklungen von W-Weizen und Z-Rüben in Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg zeigen. Nährelemente sind alle Elemente, die Pflanzen für ihre Entwicklung benötigen. Mit Nährstoff werden nur die Elemente bezeichnet, die in mineralischer Form aufgenommen werden. Wasser und CO₂ gehören nicht dazu. Zu Mineralstoffen gehören außer Nährstoffen auch nicht ertrags wirksame Ballaststoffe wie Silizium (Si) und Aluminium (Al).



Nährstoffe

Wie die Ergebnisse eines umfangreichen Versuchswesen eindeutig zeigen, war die Mineralstoffernährung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen in den Alten Bundesländern aus natürlichen und durch überhöhte Minereraldüngeraufwendungen angereicherter Bodengehalte in Verbindung mit der Düngung seit den 1950er Jahren für das volle

Ertragsniveaus ausreichend. Steigerungen der Düngegaben bewirkten keine Mehrerträge. Die Versorgung lag überwiegend im Bereich des Luxuskonsums, Ertragseinbußen durch Überversorgung waren nicht auszuschließen. Mindererträge durch Nährstoffmangel waren auf extensiv wirtschaftende Betriebe, Nutzungsänderungen und Neukultivierungen beschränkt. Ihr Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche war gering und hatte keinen Einfluss auf die Durchschnittserträge

Wasser

Landpflanzen bestehen zu 10 % (Samen) bis zu über 90% (Blätter) aus Wasser. Es ist das Medium, in dem die lebensnotwendigen Umsetzungen stattfinden, ist Reaktionspartner für Umsetzungen (Zuckersynthese) und Transportmittel für organische und

mineralische Stoffe. Die Nährstoffaufnahme im Boden ist an die Anwesenheit von Wasser gebunden.

Der Transpirationskoeffizient – der Bedarf an Wasser für die Produktion von einem Kilogramm Trockensubstanz - nimmt mit der Versorgung von Nährstoffen und CO₂ ab, d. h. , es wird weniger Wasser für die Produktion benötigt je besser die Versorgung ist.

Die für die pflanzliche Produktion verfügbare Wassermenge ist abhängig von Klimafaktoren, wie Temperatur, Niederschlagsmenge und -verteilung und dem Wasserhaltevermögen des Bodens. Wasser ist in Trockengebieten nach dem CO₂-Gehalt der Luft der ertragsbegrenzende Wachstumsfaktor. Da jede Ertragssteigerung einen höheren Wasserverbrauch mit sich bringt, wird Wassermangel auf weiteren Standort zum begrenzenden Minimumfaktor für die pflanzliche Produktion.

Kohlenstoff.

Kohlenstoff, dessen Anteil in organischen Verbindungen über 50 % beträgt, ist das einzige Nährelement, das aus der Luft assimiliert und sofort in organischen Verbindungen eingebaut wird, d. h. sofort in Ertrag umgemünzt wird.

Der optimale CO₂-Gehalt der Luft für Winterweizen beträgt 1.200ppm (0,1205%), für Zuckerrüben liegt kein Wert vor. Die Versorgung hat sich bei Weizen 2000 von 23,4 auf 30,2% des Optimums verbessert, sie liegt aber nach wie vor im Bereich des starken Mangels, wo bereits geringe Veränderungen des Angebotes hohe Ertrags- und Wachstumssteigerungen bewirken. (Abb.4, Tab 1)

Tabelle 1: der CO₂-Gehalte und W-Weizenerträge von 1850, 1950 und 2000.

Jahr	CO ₂ -Gehalt		W-Weizen Ertrag in dt/ha
	ppm	% Optimum	
1850	281	23,4	8*
1950	307	25,6	27
2000	362	30,2	77

*Fink 1979

Bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts beschränkte sich die Düngung von Ackerland auf Verwendung von „Natur“-Dünger, der aus dem biologischen Kreislauf stammt und über Tierhaltung auf nicht bewirtschafteten Flächen entzogen wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ernährung mit Mineralstoffen unzureichend war und eine Ergänzung durch mineralische „Kunst“-Dünger die Erträge erhöhte. Da der im absoluten Minimum liegende CO₂-Gehalt ebenfalls anstieg, muss diesem wegen der Wechselwirkung zwischen den Nährelementen ein

wesentlicher Anteil am Ertragszuwachs zugemessen werden, denn jede Verbesserung eines Wachstumsfaktors erhöht die Effektivität der übrigen, wobei von dem Element, das am weitesten vom Optimum entfernt ist, die stärkste Wirkung ausgeht.

Die für W-Weizen und Z-Rüben gezeigten Ertragssteigerungen von 1950 bis 2000 sind auf andere Getreidearten übertragbar, wie Ertragsauswertungen von Dölger (2008) für die übrigen Getreidearten ergeben. Sie liegen bei Wintergetreidearten deutlich höher und unter den Getreidearten spricht Weizen am stärksten auf die verbesserte CO₂-Ernährung an (Tab. 2).

Tabelle 2: Ertragssteigerungen für Getreide von 1950 bis 2005 in dt/ha/Jahr nach Dölger (2008).

Winterweizen	1,1 dt/ha/a	Sommerweizen	0,7 dt/ha/a
Winterroggen	0,9 dt/ha/a	Hafer	0,5 dt/ha/a
Wintergerste	0,7 dt/ha/a	Sommergerste	0,5 dt/ha/a

Weitere mögliche Einflussfaktoren.

Vom Landbau werden als wesentliche Ursache der Ertragssteigerung Pflanzenschutz, Züchtung und verbesserte Bodenbearbeitung angesehen.

Ertragsausfällen durch tierische oder pflanzliche Schädlinge, die in der Vergangenheit zu z. T. verheerende Ertragsausfällen führten, wird durch prophylaktische Maßnahmen begegnet. Spätestens seit den 1960er Jahren ist der Pflanzenschutz so effektiv, dass keine gravierenden Ertragsbeeinflussungen zu verzeichnen sind.

Die Pflanzenzüchtung hat die Ertragsentwicklung der Kulturpflanzen entscheidend, aber nur indirekt mitgeprägt. Sie entwickelt Sorten, die verbesserte Standortbedingungen – wie Versorgung mit Nährelementen,

Bodenbearbeitung -optimal nutzen können. So wären Lokalsorten des 19. Jahrhunderts nicht in der Lage das Ertragspotential heutiger Standorte voll auszuschöpfen. Andererseits könnten die neuen Hochleistungssorten ihre volle Leistungsfähigkeit unter den Anbaubedingungen früherer Jahrhunderte nicht entfalten. Wahrscheinlich wären sie den jeweiligen Lokalsorten im Ertrag sogar unterlegen.

Die Bodenbearbeitungstiefe betrug bis Mitte des im 19. Jahrhunderts 12 bis 15cm. Sie stieg durch Verbesserung der Pflugtechnik und seit Mitte des 20. Jahrhunderts durch Maschineneinsatz auf 30 bis 35 cm. Durch Vergrößerung des Wurzelungs raumes und Brechen undurchlässiger Bodenschichten werden Wasser- und Nährstoff- vor allem aber die Wassergehalte in Unterboden und Untergrund intensiver genutzt. Dies hat zweifellos zu Ertragserhöhungen

beigetragen, ihr Anteil ist schwer abzuschätzen. Auch hier muss davon ausgegangen werden, dass die Standortverbesserung auch die Effizienz des steigenden CO₂-Gehaltes erhöht hat.

Bisher wurden die hohen Ertragssteigerungen von Nahrungspflanzen seit Mitte des 19. Jahrhunderts ausschließlich auf bessere Ernährung mit Mineralstoffen, verbesserte Anbautechniken und Pflanzenzüchtung zurückgeführt. Dem während dieses Zeitraumes steigenden CO₂-Gehalt der Luft wurde keine Bedeutung beigemessen. Die vorliegende Arbeit beweist, dass CO₂ daran einen bedeutenden Anteil hatte und seit Mitte des 20. Jahrhunderts der dominierende Faktor war.

Da die CO₂-Versorgung weiterhin im starken Mangel liegt, wird sich ein weiterer Anstieg des CO₂-Gehaltes der Luft positiv auf die Ertragsniveaus

landwirtschaftlicher Früchte auswirken. Wo die Grenze des Wachstums liegen wird, ist schwer abzuschätzen.

Mit zunehmenden Erträgen gerät Wasser mehr und mehr ins Minimum. Es ist schon jetzt auf schwachen Standorten und in niederschlagsarmen Jahren der begrenzende Faktor und wird sich bei weiter steigenden Erträgen auch bessere Standorte erfassen.

Unbekannt sind ferner die maximal erreichbaren Ertragspotentiale von Kulturpflanzen. Das Ertragspotential für W-Weizen beträgt z. Z. bei 150 -175dt/ha. Ist damit das Ende erreicht oder sind wesentliche Steigerungen durch Züchtung möglich?

Die durch steigenden CO₂-Gehalt der Luft ausgelösten Ertragssteigerungen der Landwirtschaftlichen Produktion haben sich positiv auf die Menschheit ausgewirkt. Sie haben wesentlich zu dem bis dahin nicht bekannten hohen

Lebensstandard in den Industrienationen beigetragen. Durch die steigenden Erträge verbilligten sich die Lebensmittelpreise. Wurden bis Mitte des 20. Jahrhunderts noch über 50% des Einkommens für die Ernährung benötigt, sind es heute 12 % bei einem deutlich höheren Anteil an hochwertigen tierischen Produkten. Die Folge waren erhöhte Nachfragen an industriellen Gütern und Dienstleistungen, die weltweit einen bis dahin nicht bekanntem Innovationsschub auslöste.

Sie hat entscheidend dazu beigetragen, dass die Nahrungsmittelversorgung der steigenden Weltbevölkerung nicht vollends zusammengebrochen ist. Wenn die Weltbevölkerung bis Mitte dieses Jahrhunderts nochmals um 3. Mrd. wachsen soll und bei 9 Mrd. zum Stillstand kommt, und weiterhin die Nachfrage nach hochwertigeren Lebensmitteln und Bioenergie steigt,

**ist dazu eine Verdoppelung der
landwirtschaftlichen Produktion
notwendig. Wird dann das derzeitige
CO₂-Angebot ausreichen?**

**Der Autor dankt Herrn Dipl.-Geoökolog.
Hans-Peter für Gestaltung und
Anfertigung der Abbildungen**

Literatur:

**v. Alvensleben, A., 2002: Kohlendioxid
und Klima. Vortrag vor Old Tabele Frei
burg.**

**Anonym: Statistisches Bundesamt, Land-
und Forstwirtschaft, Fachserie 3, Reihe
1 Jahrgänge 1950 -2001**

**Atmospheric CO₂. Enrichment, 2003:
Just What the Food Doctor Ordered,
CO₂-Science, Editorial, Vol. 6 Nr. 15**

**Fink, A., 1979: Dünger und Düngung,
Verlag Chemie, Weinheim**

Dölger, D., 2008: Entwicklung der Flächenproduktivität auf verschiedenen Stand-orten Mitteleuropas, DLG-Kolloquium, Berlin

Malberg, h., 2009: Über die kritische Grenze zwischen unruhiger und ruhiger Sonne und ihre Bedeutung für den Klimawandel, Beiträge zur Berliner Wetterkarte, <http://www.Berliner-Wetterkarte.de>

Mengel, K., 1968: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, Fischer Verlag, Stuttgart

Wikipedia – Photosynthese: <http://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese>

LLD. a. D. Dr. rer. hort. Werner Köster Reuterkamp 15 D-31840 Hessisch Oldendorf Fax: 05158-990882 e-mail: koester-w@t-online.de

Dr. Werner Köster EIKE

Related Files

- [co2_und_landwirtschaft-htm](#)
- [co2_und_landwirtschaft_0_img-jpg](#)
- [co2_und_landwirtschaft_1_img-jpg](#)
- [co2_und_landwirtschaft_2_img-jpg](#)
- [co2_und_landwirtschaft_3_img-jpg](#)