

Kulturpflanzen im Klimawandel – Schaden und Nutzen

Prof. Dr. Hans-Joachim Weigel*

Landwirtschaftliche Kulturpflanzen sind in Zukunft mit durchschnittlich längeren, wärmeren und trockeneren Vegetationsperioden konfrontiert, innerhalb derer häufiger als heute Trocken- und Hitzeperioden sowie Starkniederschläge und Hagel etc. auftreten können. Diese Einflüsse werden gleichzeitig unter einem CO₂-Angebot für die Pflanzen, das um 150 - 200 ppm über dem heutigen Wert liegt, wirksam. Nachfolgend werden mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Quantität und Qualität der pflanzlichen Produktion vorwiegend im mitteleuropäischen Raum sowie Beispiele zur Anpassung angesprochen.

Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum: wie und wie stark?

Temperatur

Ein weiterer Anstieg der Durchschnittstemperaturen führt zu positiven Effekten auf Photosynthese und Wachstum überall dort, wo die gegenwärtige Temperatur limitierend ist. Weiter moderat zunehmende warme Winter- und Frühjahrstemperaturen werden daher tendenziell zu einer Wachstumsbeschleunigung bzw. -stimulation in feucht-kühlen Bereichen führen. Allerdings muss dabei auch mit einer beschleunigten Dunkel- bzw. Lichtatmung gerechnet werden, über die bis zu 40 - 50 % des assimilierten Kohlenstoffes wieder verloren gehen kann. Eine mit der Temperaturerhöhung einhergehende weitere Verlängerung der Vegetationsperiode (eine Zunahme von 1°C bedeutet eine weitere Verfrühung des Vegetationsbeginns um ca. 1 Woche) wäre für verschiedene Kulturpflanzenarten (z. B. Zuckerrüben und im Grünlandbereich) positiv. Allerdings spielen noch andere Faktoren wie die Abhängigkeit von der Länge der Photoperiode eine Rolle.

Bei den meisten Körnerleguminosen bzw. Getreiden wird die Länge einzelner Entwicklungsphasen vorwiegend von der Temperatur gesteuert. Für den Kornertrag bei Getreide ist die Zeitdauer von der Blüte bis zur Kornreife von entscheidender Bedeutung. Die Länge dieser Phase wird durch die Temperatur bestimmt, d. h. die Pflanze benötigt eine genetisch fixierte Temperatursumme. Wärmere Temperaturen verkürzen diese Phase und können Ertragsminderungen zur Folge haben: eine Temperaturerhöhung von z. B. 1°C verkürzt die Kornfüllungsphase um ca. 5 % und verursacht damit einen Ertragsverlust von ca. 10 %. Diese Zusammenhänge spiegeln sich u. a. in dem Nord-Südgefälle von Weizenerträgen in Europa und Deutschland wider. Daneben geht eine Temperaturerhöhung mit einer Verschiebung in den Anbaugebieten zu nördlicheren Breitengraden (pro 1°C ca. 100 - 150 km nordwärts) und zu größeren Höhenlagen (pro 1°C ca. 100 m) einher. Dies bedeutet für Europa bzw. Deutschland eine weitere Nordwärtsverschie-

bung der Anbaumöglichkeiten z. B. für Sommergetreide und Körnermais. In Bergregionen kann sich der Rohfutteranbau in höhere Lagen verschieben.

Grundsätzlich werden sich zukünftig also die Anbaumöglichkeiten für wärmeliebende Kulturpflanzenarten bzw. -sorten (z. B. Sonnenblume, Mais, Soja, Hirse) verbessern. Ob dies zu einem verstärkten Anbau dieser Pflanzen führt und damit auch zu einer Veränderung des Landschaftsbildes, hängt von weiteren Faktoren ab. Allerdings wird auch die Begleitflora und -fauna auf die Erwärmung reagieren, was u. U. zu Ertragsbeeinträchtigungen durch vermehrten Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsbefall führen kann. Die relative Bedeutung des prognostizierten mittleren Temperaturanstieges von ca. 2°C über die nächsten 50 Jahre für den Kulturpflanzenanbau kann man einschätzen, wenn man z. B. die derzeitige Temperaturdifferenz zwischen südlichen (z. B. Karlsruhe: 40-jähriges Jahresmittel 10,7°C) und nördlichen Regionen (z. B. Rostock: 8,8°C) und die damit verbundene landwirtschaftliche Praxis vergleicht.

Während viele Prozesse des Wachstums bei Kulturpflanzenarten kurzfristige Temperaturschwankungen zwischen ca. 0 - 38°C ohne schwerwiegende Beeinträchtigung vertragen, sind Fortpflanzungsorgane während ihrer Ausdifferenzierungsphase bzw. während Phasen der Samen- und Fruchtbildung sehr temperatursensitiv und reagieren auf Hitzeperioden. Extremtemperaturen, die nur wenig oberhalb der Durchschnittstemperaturen liegen, beeinträchtigen generative Stadien, wie z. B. die Anthese, d. h. das Entfalten der Blüte bei Getreide. Hier können hohe Temperaturen (für Weizen, Mais oder Reis ab $T > 30^\circ$ bzw. 35°C) zu Problemen bei der Befruchtung bis hin zur Sterilität führen, was bei Getreide durch die Verringerung der potenziellen Kornzahl deutliche Ertragseinbußen nach sich zieht. Vor dem Hintergrund der prognostizierten Zunahme von Sommer- und heißen Tagen ist dies eine kritische Entwicklung. Hierzu sind bisher kaum Szenarien der Folgewirkungen entwickelt worden.

* Prof. Dr. Hans-Joachim Weigel, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Biodiversität, Braunschweig, Tel. (0531) 596 2501, hans.weigel@vti.bund.de

Wasserverfügbarkeit

Wasser ist neben der Temperatur der entscheidende Wachstums- und Ertragsfaktor. Selbst geringe Veränderungen der Niederschlagsmengen wirken sich deutlich auf die Produktivität von Kulturpflanzen bzw. von landwirtschaftlich genutzten Ökosystemen aus. Grundsätzlich sind die Konsequenzen der zukünftigen Entwicklung der Niederschläge in Deutschland für die Pflanzenproduktion nur schwer zu bewerten, da die zu erwartenden Niederschlagsveränderungen sehr kleinräumig unterschiedlich sein werden. Abnehmende Sommerniederschläge einerseits und durch die Erwärmung zunehmender Wasserverbrauch über eine erhöhte Verdunstung andererseits dürften aber generell zu einer Verschärfung von Sommertrockenheitsproblemen führen. Dies insbesondere auf flachgründigen, sandigen Böden. Eine knappe Wasserversorgung ist bereits heute in einigen Regionen Ostdeutschlands problematisch für die Ertragsleistungen von Kulturpflanzen. In Europa führten die Jahre 2003 und z. T. 2006 vor Augen, welche großräumig wirkenden Effekte für die Landwirtschaft bei Niederschlagsdefiziten auftreten. Ein verändertes Wasserdargebot der Flüsse durch die zeitigere und verringerte Schneeschmelze im Frühjahr und eine reduzierte Rate der Grundwasserneubildung könnten zukünftig Trockenheitsprobleme regional weiter verschärfen, da Verdunstungsverluste zusätzlich durch die verlängerte Vegetationsperiode ansteigen und der oberirdische Abfluss bei geringerer Infiltration von Starkniederschlägen nach Trockenperioden zunimmt. Darüber hinaus sind Nährstoffe bei geringer Bodenfeuchte schlechter verfügbar und die Anfälligkeit gegenüber Winderosion nimmt zu.

Auf die Bearbeitung ehemals vernässter Flächen sowie auf den Krankheitsdruck, insbesondere von Pilzkrankungen, können sich trockenere Bedingungen eher positiv auswirken. Dagegen wird die Zunahme winterlicher Niederschläge besonders auf schweren Böden oder bei hoch anstehendem Grundwasser die Bodenbewirtschaftung erschweren. Verstärkt auftretende Hochwasserereignisse bzw. Überflutungen und Probleme mit Staunässe werden häufiger; dadurch nehmen die Erosionsgefahr und die Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen zu. Sollte sich die Häufigkeit und Stärke von Stürmen tatsächlich erhöhen, ist zudem vermehrt mit Lagerschäden zu rechnen. Generell dürften die Niederschlagsverschiebungen zwischen den Jahreszeiten für die Landwirtschaft ein größeres Problem bedeuten als die Änderung in den mittleren Jahreswerten.

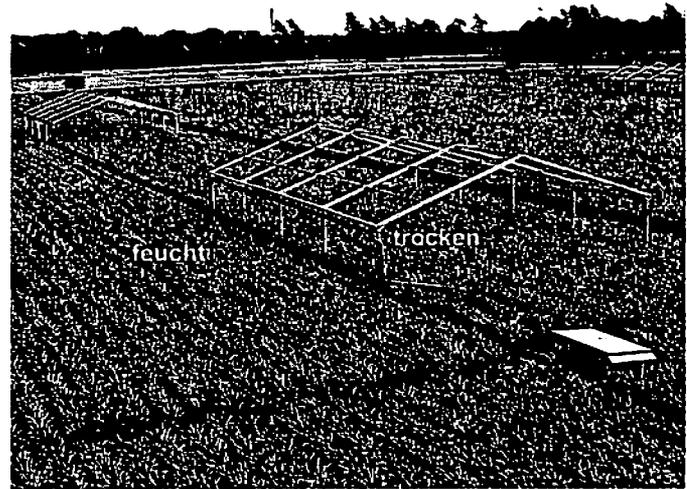
CO₂-Konzentration der Atmosphäre

CO₂ aus der Atmosphäre ist als Substrat für Photosynthese und Wachstum aller Pflanzen von fundamentaler Bedeutung. Für Pflanzen des C₃-Typs, zu denen bis auf Mais alle wichtigen einheimischen Kulturpflanzenarten gehören, ist die heutige CO₂-Konzentration in der Atmosphäre suboptimal, d. h. ein erhöhtes CO₂-Angebot bewirkt eine Erhöhung der Blatt-Photosyntheserate und eine Verringerung der Wasserabgabe bzw. der Blatt-Transpiration. Der „Wasserspareffekt“ gilt auch für C₄-Pflanzen, während die Photosynthese dieser Pflanzen nicht auf CO₂ reagiert. Die unter erhöhten CO₂-Konzentrationen reduzierte Wasserabgabe ist verbunden mit einer erhöhten Wassernutzungseffizienz und geht häufig einher mit einer Abnahme der relativen Empfindlichkeit gegenüber Trockenheit.

Ein erhöhtes CO₂-Angebot (550 - 700 ppm) kann die Photosynthese um 30 - 50 % gegenüber dem heutigen CO₂-Wert stimulieren. Dies wirft die Frage auf, ob auch Wachstums- und Ertragseffekte bei Kulturpflanzen durch die rasch weiter zunehmende atmosphärische CO₂-Konzentration zu erwarten sind bzw. wie hoch dieser „CO₂-Düungeeffekt“ sein könnte. Hunderte von Experimenten sind dieser Frage nachgegangen. Dabei wurden Pflanzen meist unter naturfernen Bedingungen (z. B. in Klimakammern im Labor unter optimaler Wasser- und Nährstoffversorgung) zukünftigen CO₂-Konzentrationen ausgesetzt. Die aus solchen Versuchen und aus Modellrechnungen abgeleiteten potenziellen Biomasse- und Ertragszuwächse schwanken in weiten Bereichen. Werden die Ergebnisse derartiger Versuche mit verschiedenen Pflanzenarten gemittelt, ergeben sich daraus für einen CO₂-Konzentrationsbereich von ca. 550 - 700 ppm Biomasse- bzw. Ertragszuwächse von ca. 20 bis > 30 % im Vergleich zur heutigen CO₂-Konzentration (ca. 385 ppm). Demgegenüber gibt es in Europa nur wenige relevante Versuche zum CO₂-Düungeeffekt unter realen Feldbedingungen. Freiland-CO₂-Anreicherungsversuche mit der sog. Free-Air Carbon Dioxide Enrichment = sog. FACE-Technik (s. Abb. 1) sind solche aktuellen Ansätze im Feldmaßstab. Diese Versuche sind aufwändig und selten. Die bisher damit weltweit erzielten Ergebnisse zeigen, dass die Biomasse- bzw. Ertragszuwächse für wichtige C₃-Kulturpflanzen (Weizen, Reis, Soja, Gerste, Zuckerrübe) nur bei ca. 10 - 15 % liegen und damit deutlich geringer ausfallen als von der Photosynthesesteigerung her erwartet und in den naturfernen Versuchsansätzen beobachtet. Die Ursachen für diese Diskrepanz zwischen potenzieller und tatsächlich möglicher Wirkung des CO₂-Düungeeffektes sind noch offen und die Frage nach dem möglichen Ausmaß des CO₂-Düungeeffektes bleibt umstritten.

Abbildung 1:

Freiland-CO₂-Anreicherungsanlage (Air Carbon Dioxide Enrichment (= FACE) am vTI in Braunschweig zur Simulation zukünftiger CO₂-Konzentrationen im Feld. Innerhalb des angedeuteten Ringes ist die CO₂-Konzentration erhöht; die CO₂-angereicherten Flächen können mit Regenausschlussvorrichtungen kombiniert werden (rechts), um Trockenstress zu simulieren.



Wie werden die o. g. Klimaelemente Temperatur, Niederschlag und CO₂ in der Atmosphäre hinsichtlich ihrer zukünftigen Auswirkungen tatsächlich zusammenwirken und in welcher Weise werden wiederum weitere Faktoren wie das landwirtschaftliche Management (Düngung, Bodenbearbeitung, Bewässerung) diese Zusammenhänge beeinflussen? Hierzu gibt es noch zahlreiche Unsicherheiten. Offen bleibt z. B. ob und inwieweit der CO₂-Düngeeffekt negative Effekte erhöhter Temperaturen z. B. auf Getreideerträge kompensiert. Wird bei einem Temperaturanstieg zunehmend die Wasserversorgung zum limitierenden Faktor, könnte der CO₂-Düngeeffekt eine entscheidende Rolle für das Ergebnis der Wechselwirkungen spielen, da bei einer erhöhten CO₂-Konzentration bei C₃-Pflanzen die Photosyntheserate gesteigert wird, sich das Photosynthese-Optimum zu höheren Temperaturen hin verschiebt und gleichzeitig die Wassernutzungseffizienz verbessert wird. Eigene Untersuchungen am vTI mit der o. g. FACE-Technik ergaben, dass Biomasse- bzw. Kornertragsverluste bei Mais (ca. 30 bzw. 40 % gegenüber der gut bewässerten Kontrolle), die durch einen mehrwöchigen gezielten Trockenstress verursacht wurden, unter einer erhöhten CO₂-Atmosphäre (550 ppm) wesentlich geringer (ca. 15 %) ausfielen. In den meisten Pflanzenwachstums- bzw. Ertragsmodellen, mit denen Folgen des Klimawandels für Kulturpflanzen wie Weizen, Reis, Soja etc. berechnet werden, fallen negative Ertragseffekte aufgrund zunehmender Temperaturen und schlechterer Wasserversorgung wesentlich geringer aus bzw. kehren sich in positive Wirkungen um, wenn der CO₂-Düngeeffekt in die Bewertung mit einbezogen wird. Für die Bewertung der Folgen einer zunehmenden Klimavariabilität bzw. der

Zunahme von Extremereignissen muss berücksichtigt werden, dass diese Szenarien in einer Atmosphäre wirksam werden, in der allen Pflanzen grundsätzlich deutlich mehr CO₂ zur Verfügung steht und damit die Wirkung des klimatischen Stresses beeinflusst werden kann.

Qualitätsänderungen durch den Klimawandel

Wie sich die Qualität von Nutzpflanzen unter dem Klimawandel verhalten könnte, ist vergleichsweise wenig untersucht worden. Im „Hitzejahr“ 2003 wurden erstmalig in Deutschland aus dem mediterranen Raum bekannte Hitzestressmerkmale bei Weizen beobachtet, wie höhere Protein- und Klebergehalte, weichere Kleber und geringere Wasseraufnahmen der Teige. Temperaturen über 35°C für mehrere Tage können überdies zu einer Verschlechterung der Eiweißzusammensetzung führen. Eine in fast allen Studien zum CO₂-Düngeeffekt an verschiedenen Kulturpflanzenarten beobachtete Reaktion ist die Veränderung der Gehalte an Makro- und Mikroelementen sowie sonstiger Inhaltsstoffe (z. B. Zucker, Vitamine, sekundäre Pflanzenstoffe) in vegetativen und generativen Pflanzenteilen (Früchte, Samen). Meist untersuchtes Beispiel für die Wirkung eines erhöhten CO₂-Angebotes ist die Reduktion des Stickstoffgehaltes in Blattorganen (z. B. Futterpflanzen) und in Früchten (z. B. Getreidekörnern) in der Größenordnung zwischen 10 und 15 % im Vergleich zur heutigen CO₂-Konzentration. Häufig werden unter diesen Bedingungen auch geringere Konzentrationen an Mikroelementen (z. B. Zink, Eisen, Mangan) beobachtet.

Für großräumige Bewertungen der Folgen des Klimawandels werden meist regionalisierte Klimavorhersagemodelle mit Wachstums- oder Ertragsmodellen für Kulturpflanzen verknüpft, die wiederum als Grundlage für sozioökonomische Modelle dienen und die Implikationen der Klimaveränderungen auf höheren räumlichen Skalen abbilden. Für Deutschland existieren derartige Studien mit Bezug zu einzelnen Regionen bzw. Bundesländern (z. B. Hessen, Nordrhein-Westfalen, neue Bundesländer). Deren Vergleichbarkeit wird jedoch durch unterschiedliche Modellannahmen (z. B. verschiedene Emissionsszenarien, Nichtberücksichtigung des CO₂-Düngeeffektes oder indirekter Effekte über veränderte Schaderregersituationen) erschwert. Zudem wurden bisher überwiegend Folgen veränderter mittlerer Klimawerte betrachtet und es wurde von den relativen Witterungs-empfindlichkeiten heutiger Arten bzw. Sorten ausgegangen. Zusammenfassend und grob vereinfacht zeigen diese Studien für Deutschland, dass im Vergleich zu einem Referenzzeitraum (meist ca. 1960 - 2000) bei angenommener Zunahme von Trockenheit (reduzierte Sommerniederschläge) und einer mittleren Temperaturerhöhung im Bereich von ca. 2,0 - 2,5°C Ertragsveränderungen von Kulturpflanzen wie Weizen, Raps, Mais im Bereich von -10 bis -15 % auftreten könnten, wenn der CO₂-Düngeeffekt nicht berücksichtigt wird. Unter Berücksichtigung eines CO₂-Düngeeffektes sind die Ertragsleistungen zukünftig nur geringfügig kleiner (bis -5 %), unverändert oder sie nehmen sogar leicht (+5 %) zu. Auch hier spielt die angenommene Größenordnung des CO₂-Düngeeffektes eine entscheidende Rolle.

Anpassung: Schäden mindern, Nutzen steigern

Zumindest in den entwickelten Industrienationen und damit auch in Deutschland existiert ein breites Spektrum an Möglichkeiten zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel. Die Entwicklung und Anwendung von Anpassungsmaßnahmen entscheidet mit darüber, welche tatsächlichen Konsequenzen die Klimaveränderung für die Agrarproduktion haben wird (Vulnerabilität). Ziel jeglicher Anpassung sollte es sein, die o. g. negativen Effekte zu vermeiden bzw. zu mindern und positive Effekte der Klimaänderung soweit wie möglich zu nutzen. Anpassungsmaßnahmen können autonom sein, d. h. fortlaufend über die einzelnen Landwirte bzw. Betriebe erfolgen, oder geplant über Vorgaben durch Wissenschaft, Politik und Administration umgesetzt werden. Grundsätzlich sind Anpassungsmaßnahmen an die zunehmende Klimavariabilität bzw. an die Zunahme extremer Ereignisse schwieriger zu realisieren als an Veränderungen mittlerer Klimawerte.

Beispiele für Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Betriebe, sich fortlaufend anzupassen, sind

- Änderungen von Aussaatterminen, Saaddichten, Reihenabstand und Fruchtfolge sowie der Anbau von anderen Kulturen bzw. Sorten,
- Änderungen von Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen aufgrund veränderter Entwicklungsverläufe der Pflanzen,
- Änderungen der Bodenbearbeitung zur Verbesserung der Wasserregulation (z. B. gezielter Humusaufbau; Bodenbearbeitung zur Konservierung der Bodenfeuchte)
- Ausbau bzw. Optimierung von Be- und u. U. Entwässerungssystemen (Beregnung, Drainage)
- stärkere Diversifizierung von Fruchtfolgen bzw. der landwirtschaftlichen Produktion insgesamt zur Risikominimierung und Klimaplastizität.

Geplante Maßnahmen, die außerhalb der unmittelbaren Möglichkeiten des Landwirtes liegen, könnten z. B. eine fortlaufende Verbesserung der Agrowettervorhersage, die Anlage von Wasserreservoirien in besonders trockenheitsgefährdeten Regionen und die Einführung von Lösungen zur Grundwasseranreicherung in Wasserüberschusszeiten, Mehrfachnutzungen von Wasser, eine verbesserte landwirtschaftliche Beratung und eine verbesserte Risikoabsicherung von Betrieben gegen Ertragsausfälle (Mehrgefahrenversicherung) umfassen.

Eine besondere Rolle kann die Pflanzenzüchtung für die Bewältigung des Klimawandels durch die Entwicklung robuster und unter wechselnden Witterungsbedingungen ertragsstabiler Kulturen spielen. Erforderlich für die Zukunft sind die Verbesserung der Hitze- und Trockenstresstoleranz sowie der Wassernutzungseffizienz traditioneller Kulturpflanzen, die Bereitstellung von Saatgut neuer, wärmeliebender Pflanzensorten und die Anpassung der Entwicklungsraten von Pflanzen an die geänderten Temperatur- und Niederschlagsbedingungen. Darüber hinaus sollte nach Lösungen für eine optimale Ausnutzung des CO₂-Düngeeffektes gesucht werden, um damit das Wachstums- und Ertragspotenzial von Kulturpflanzen zu erhöhen. Die Gewährleistung einer hohen stofflichen Qualität unter zukünftigen Wuchsbedingungen sollte beachtet werden. Erwähnt werden sollte auch, dass die erwartete Zunahme von Schädlingen und Krankheiten im Zuge des Klimawandels durch Weiterentwicklungen der Resistenzzüchtung abgemildert werden muss. □