

Gartenbau und Klimawandel in Deutschland

Dr. Matthias Fink, Dr. Hans-Peter Kläring, Prof. Dr. Eckhard George¹

1 Einleitung

Kaum eine menschliche Tätigkeit ist schon immer in solch direkter Weise vom Klima abhängig gewesen wie die gärtnerische Arbeit. Dies gilt für den frühen Gartenbau als Grundlage menschlicher Sesshaftwerdung, für den modernen Hausgärtner und auch für den europäischen Erwerbsgartenbau. Vom Gärtner wird die Bereitstellung von Frischware für den Markt von Obst, Gemüse und Zierpflanzen erwartet. Die Qualität dieser Frischware ist meist noch deutlicher von den Witterungsbedingungen beeinflusst, als dies bei anderen landwirtschaftlichen Produkten der Fall ist. Deshalb ist mit großer Sicherheit davon auszugehen, dass globale Klimaveränderungen im Gartenbau unmittelbare Konsequenzen haben werden. Auf der anderen Seite ist der Gartenbau schon immer darauf angewiesen gewesen, ein Verständnis für die Veränderbarkeit des Klimas zu entwickeln und anpassungsfähig zu reagieren.

Das IGZ hat deshalb die Aufgabe, an der vorliegenden Forschung zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Gartenbau mitzuwirken. Dabei ist das IGZ auf Partner angewiesen, unter anderem aus der Klimaforschung, der Klimafolgenforschung, der Pflanzenzüchtung, der Industrie und dem praktischen Gartenbau. Die vorliegende Kurzübersicht soll dazu dienen, den Wissenstand zum Thema Gartenbau und Klimawandel in Deutschland zusammenzufassen und Partner zu gemeinsamen Forschungsvorhaben anzuregen.

In der Diskussion um mögliche Auswirkungen des zu erwartenden Klimawandels spielen die Begriffe Vulnerabilität und Anpassungskapazität eine zentrale Rolle (IPCC, 2001). **Vulnerabilität** (gegenüber dem globalen Wandel) ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein spezifisches Mensch-Umwelt-System Schaden nimmt, durch Veränderungen in der Gesellschaft oder der Umwelt und unter Berücksichtigung seiner Anpassungskapazität (Zebisch et al., 2005). **Anpassungskapazität** ist die Fähigkeit, geplante Anpassungsmaßnahmen durchzuführen.

Ziel dieser Studie ist es, Vulnerabilität und Anpassungskapazität des Gartenbausektors in Deutschland darzustellen. Dabei werden nur agronomische – nicht aber sozioökonomische oder ökologische – Aspekte betrachtet. Um die Vulnerabilität des Gartenbausektors analysieren zu können, ist es zunächst erforderlich, das Ausmaß möglicher Klimaänderungen zu definieren. Dazu wird in der vorliegenden Studie ein Bericht verwendet, den das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) erstellt hat (Zebisch et al., 2005). Aus der Kurzfassung dieses Berichts wird nachfolgend das Kapitel „Szenarien zum zukünftigen Klimawandel“ zitiert.

2 Szenarien zum zukünftigen Klimawandel

Bezogen auf die zukünftige **Temperaturentwicklung** ist in allen innerhalb der PIK-Studie verwendeten Szenarien eine deutliche Erwärmung Deutschlands zu erkennen. Die Spanne der Erwärmung der langjährigen Jahresmitteltemperaturen der berücksichtigten sieben Klimaszenarien bis zum Jahr 2080 reicht von +1,6 bis +3,8° C. Räumlich zeigen viele Szenarien eine besonders starke Erwärmung im Südwesten, z. T. auch im äußersten Osten Deutschlands. Saisonal ergibt sich in den verschiedenen Szenarien ein uneinheitliches Bild. Der Trend zur stärkeren Erwärmung im Winter, der in der Vergangenheit beobachtet wurde, wird in den Zukunftsszenarien nicht wiedergegeben. Für den **Jahresniederschlag** zeigen alle Klimaszenarien nur sehr geringe Veränderungen, die bis 2080 im Wesentlichen unter 10 % liegen. Stärkere Veränderungen zeigen sich bei Sommer- und Winterniederschlägen. Während in allen sieben Szenarien eine Erhöhung der Winterniederschläge zu beobachten ist, nehmen die Sommerniederschläge in den meisten Szenarien ab. Dies ist konsistent mit dem bereits zu beobachtenden Trend einer Verschiebung der Niederschläge in den Winter. Regional ergibt sich für die Winterniederschläge eine

¹ Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e. V. (IGZ), Theodor Echtermeyer Weg 1, 14979 Großbeeren, fink@igzev.de.

besonders deutliche Zunahme in Süddeutschland, zumindest in den auf dem Klimamodell HadCM3 aufbauenden Szenarien. Der Rückgang der Sommerniederschläge konzentriert sich in diesen Szenarien auf Südwestdeutschland (Rheinland) und die zentralen Teile Ostdeutschlands. Die Ergebnisse der anderen Modelle liefern allerdings räumlich z. T. widersprüchliche Trends. (Zebisch et al., 2005).

Die Vorhersage der zukünftigen **CO₂-Konzentration** wird vom IPCC (2007) als unsicher bezeichnet. Es wird erwartet, dass die Kopplung von Klima und Kohlenstoffkreislauf der Atmosphäre Kohlendioxid hinzufügt, wenn sich das Klimasystem erwärmt, aber die Stärke dieser Rückkopplung ist unsicher. Dies erhöht die Unsicherheit in Bezug auf den für die Erreichung eines bestimmten Stabilisationsniveaus der Kohlendioxidkonzentration nötigen Verlauf der Kohlendioxid-Emissionen. (IPCC, 2007).

Die Menge der auf die Erdoberfläche auftretenden photosynthetisch aktiven **Strahlung** (PAR) hängt im Wesentlichen von der geografischen Breite und von der Jahreszeit ab. Bewölkung vermindert die lokale PAR und verändert die Anteile von direkter und indirekter Strahlung. Die Bewölkung wird durch lokale Klimamodelle bisher noch nicht mit ausreichender Sicherheit prognostiziert (Otte, 2007). Die Berichte des IPCC (2007) und des PIK (Zebisch et al., 2005) enthalten keine Prognosen für Veränderungen der PAR oder der UV-Strahlung in Deutschland.

In den vergangenen Monaten sind immer wieder neue Szenariorechnungen zum zukünftigen Klimawandel in Europa veröffentlicht worden. Die oben erläuterten Trends wurden in den meisten Fällen bestätigt. Deutlich wird aber aus diesen Studien auch, dass noch eine große Unsicherheit über regionale Verteilung und zeitliche Abläufe der erwarteten Klimaänderungen besteht.

3 Gartenbau als Betroffener von Klimawandel

Auswirkungen des Klimawandels, die spezifisch den Gartenbau betreffen, sind insbesondere zu erwarten, wenn veränderte Wachstumsfaktoren zu Änderungen in der Ertrags- und Qualitätsbildung von gartenbaulich genutzten Pflanzen führen. Nachfolgend werden klimatische Wachstumsfaktoren – **Temperatur, CO₂-Konzentration, Strahlung und Wasser** – betrach-

tet. Die Wirkung dieser Wachstumsfaktoren auf landwirtschaftliche Kulturpflanzen sind im Zusammenhang mit dem erwarteten Klimawandel ausführlich von Zebisch et al. (2005) und von Schaller et al. (2007) beschrieben. Im Folgenden wird auf die Besonderheiten der gartenbaulichen Produktion eingegangen.

3.1 Temperatur

Die Temperaturreaktionskurven aller pflanzlichen Wachstums- und Entwicklungsprozesse sind Optimumsfunktionen, die durch Temperaturminimum, -optimum und -maximum gekennzeichnet sind. Innerhalb einer Pflanzenart werden für unterschiedliche Prozesse zum Teil stark unterschiedliche Temperaturreaktionskurven beobachtet. Insbesondere können sich die Temperaturoptima von Wachstums- und Entwicklungsprozessen erheblich unterscheiden. Ob eine Temperaturerhöhung positive oder negative Auswirkungen auf den Ertrag hat, hängt von der Pflanzenart ab. Gartenbaulich relevante Kulturpflanzen stammen aus sehr unterschiedlichen Regionen der Erde, daher sind auch die Unterschiede der Temperaturreaktionen zwischen den Arten sehr groß. Einige Pflanzenarten können sich darüber hinaus an Temperaturveränderungen phänotypisch anpassen, so dass z. B. das Temperaturoptimum der Photosynthese - innerhalb von einigen Tagen bis Wochen - mit steigender Lufttemperatur steigt. Bei einem Anstieg der lokalen mittleren Temperatur um bis zu 1 bis 3° C wird vom IPCC (2007) für das Ernteertragspotenzial in mittleren bis hohen Breiten – abhängig von der Nutzpflanze – ein leichter Anstieg, bei Temperaturen oberhalb dieser Schwelle für einige Regionen ein Rückgang projiziert. Aus den oben genannten Gründen handelt es sich bei dieser Einschätzung um eine extreme Vereinfachung. Eine detaillierte Bewertung kann nur für jeweils einzelne Pflanzenarten im Zusammenhang mit dem Produktionssystem gemacht werden. Eine solche Studie liegt für gartenbauliche Produktionssysteme in Deutschland bisher nicht vor.

Im Produktionssystem „**Anbau im Gewächshaus**“ werden in Deutschland vor allem Zierpflanzen und Fruchtgemüse produziert. Die Temperatur im Gewächshaus wird – innerhalb der technischen Möglichkeiten – unabhängig von der Temperatur der Außenluft geregelt. Eine Temperaturerhöhung würde bei gleichbleibenden Heizungs- und Lüftungssollwerten keinen Einfluss auf Pflanzenwachstum und Ertrag

haben, aber Heizenergie einsparen und dadurch die Produktionskosten und die CO₂-Produktion senken. Nach einer Schätzung von Heißner (1978) sinkt der Heizenergieverbrauch um etwa 7 % bei einem Anstieg der Lufttemperatur um 1 Kelvin. Es handelt sich hierbei um eine Schätzung der relativen Einsparung auf der Grundlage eines vereinfachten k'-Modells. Für eine Bestimmung von absoluten Werten müssen die Gewächshauskonstruktion und die eingestellten Sollwerte berücksichtigt werden.

Es ist zu beachten, dass beim Anbau im Gewächshaus Heizung und Lüftung nicht nur zur Regelung der Temperatur, sondern auch zur Regelung der Luftfeuchte genutzt werden. Höhere Außentemperaturen führen bei gleichbleibenden Temperatursollwerten nicht nur zu geringerem Energiebedarf, sondern auch zu einer erhöhten Luftfeuchte im Gewächshaus. Der zur Luftentfeuchtung notwendige Energieaufwand, könnte die Einsparung von Heizenergie kompensieren. Eine pauschale Quantifizierung ist nicht möglich, da die Effekte sehr stark von Außentemperatur, Temperatursollwert und Gewächshauskonstruktion abhängen. Verzichtet man auf die Verminderung der Luftfeuchte, ist ein höherer Befallsdruck durch Pilzkrankheiten zu erwarten, z. B. durch *Botrytis*, ein Krankheitserreger, der besonders beim Anbau von Zierpflanzen über Winter bereits jetzt ein großes Problem darstellt (Hendriks, 2008).

Hohe Außentemperatur und Strahlung können zu unerwünscht hohen Innentemperaturen führen, insbesondere bei Gewächshäusern älterer Bauart mit ungenügender Lüftungskapazität. Diese Problematik würde durch die erwartete Zunahme von heißen Tagen im Sommer (Otte, 2007; Zebisch, 2005) verstärkt. Als Folge ist mit Ertragsminderungen beim Anbau von Fruchtgemüse zu rechnen. Das Ausmaß der Ertragsminderung kann aus den in der Literatur vorliegenden Daten nicht abgeschätzt werden. Die aus den südlichen Ländern (z. B. Südspanien, Israel) bekannten großen Probleme beim Sommeranbau im Gewächshaus werden vor allem durch die dort viel höhere Einstrahlung verursacht. Diese Probleme sind in Deutschland auch bei einer Zunahme von heißen Tagen nicht zu erwarten.

Die Produktion im Gewächshaus wird in Deutschland im Winter nicht nur durch die Heizkosten limitiert, sondern insbesondere durch die geringe Strahlung. Daher ist auch bei

einer Temperaturerhöhung und dadurch verminderten Heizkosten nicht mit erheblichen Veränderungen der Produktion zu rechnen, wahrscheinlich aber mit einer Ausweitung des Anbauzeitraumes durch frühere Pflanzung. Ein wichtiges Segment des Zierpflanzenbaus sind Beet- und Balkonpflanzen, mit denen etwa 40 % des Jahresumsatzes erzielt werden. Der Hauptabsatzzeitraum von Beet- und Balkonpflanzen hat sich in den letzten Jahren von etwa Mitte Mai auf März bis April verfrüht (Hendriks, 2008). Sollten höhere Frühjahrstemperaturen zu einer weiteren Verfrühtung des Angebotszeitraums führen, wäre es erforderlich, die Produktion in der besonders lichtarmen Jahreszeit zu beginnen. Es ist nicht auszuschließen, dass eine Temperaturerhöhung dadurch zu einem insgesamt höheren Energieaufwand für die Produktion führen könnte (Hendriks, 2008). Dieser Effekt wurde bisher jedoch noch nicht quantifiziert.

Das Produktionssystem „**Satzweiser Anbau im Freiland**“ wird vor allem für die Gemüseproduktion verwendet. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass von Frühjahr bis Herbst, selten auch über Winter, regelmäßig Kulturen gepflanzt und geerntet werden. Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur im Sommeranbau und der Temperatur im Frühjahrs- und Herbstanbau ist erheblich höher als die erwartete Temperaturerhöhung durch Klimawandel. Für satzweise angebaute Pflanzenarten gibt es in der Regel Sorten, die an höhere bzw. niedrige Temperaturen angepasst sind. Eine Temperaturerhöhung würde das Produktionssystem „Satzweiser Anbau im Freiland“ nicht grundsätzlich verändern. Zu erwarten wäre jedoch eine Ausweitung des Anbauzeitraumes im Frühjahr und im Herbst. Viele Gemüsekulturen können trotz etwas geringerer Strahlung im Frühjahr und Herbst ohne Ertrags- und Qualitätsverluste produziert werden. Schonhof et al. (2007a) fanden z. B. bei Brokkoli im späten Herbstanbau keine verminderten Erträge sowie keine verminderten Gehalte an Carotinoiden, Ascorbinsäure und Glucosinolaten.

Im Freilandzierpflanzenbau wird die Verwendung später (bisher frostgefährdeter) Sorten zunehmen. Wahrscheinlich wird sich auch das Spektrum der angebauten Gemüse- und Zierpflanzenarten ändern. In wärmeren Anbaugebieten (z. B. in der Pfalz) könnten Arten angebaut werden, die bisher hauptsächlich in Südeuropa produziert werden (z. B. Melonen)

(Laun, 2008), temperaturempfindliche Arten (z. B. Blattsalate, Spinat) werden dann wahrscheinlich vermehrt in Norddeutschland produziert. Das Management von Kulturschutzfolien und -vliesen, das für den frühen Gemüsebau von großer ökonomischer Bedeutung ist, muss an frühere Anbauermine und höhere Temperaturen angepasst werden.

Zur negativen Wirkung von mehr heißen Tagen im Sommer (Zebisch, 2005; Otte, 2007) gibt es keine Studien für alle gartenbaulich relevanten Pflanzenarten. In den vergangenen Jahren sind bei einigen Gemüsearten (z. B. Kopfsalat) bereits Qualitätsprobleme aufgetreten, wenn hohe Nachttemperaturen ($> 20^{\circ}\text{C}$) und sehr hohe Tagestemperaturen ($> 30^{\circ}\text{C}$) vorlagen (Laun, 2008). Diese Problematik würde sich verstärken.

Einige Arten (z. B. Blumenkohl) müssen durch niedrige Temperaturen vernalisiert werden. Das bedeutet, dass nach längeren Perioden mit hoher Temperatur ($> 20^{\circ}\text{C}$) kein Ernteprodukt ausgebildet wird. Es gibt jedoch Sorten, die auch höhere Temperaturen tolerieren.

In Gebieten, die bereits jetzt milde Winter haben, werden in geringem Umfang auch einige Gemüsearten (z. B. Blumenkohl) über Winter angebaut, um eine sehr frühe Ernte im Frühjahr zu ermöglichen. Dieser Anbau ist in Deutschland bisher risikoreich, da es regelmäßig zu Totalausfällen durch sehr niedrige Temperaturen kommt. Steigende Temperaturen und weniger Frosttage im Winter würden das Anbaurisiko vermindern und wahrscheinlich zu einer Ausweitung des Überwinterungsanbaus führen.

Im suboptimalen Temperaturbereich führen erhöhte Wachstumsraten durch einen Temperaturanstieg bei Kulturen, die nach Gewicht vermarktet werden und/oder regelmäßig beerntet werden, direkt zu einem Mehrertrag. Viele satzweise angebaute gartenbauliche Kulturen werden jedoch geerntet, wenn das Ernteprodukt ein Wachstumsstadium erreicht hat, das die Vermarktung ermöglicht. In Abhängigkeit von der Pflanzenart sind diese Wachstumsstadien durch feste Gewichts- oder Größenklassen definiert. Bei diesen Kulturen führen erhöhte Wachstumsraten nicht zu einem höheren Ertrag, sondern zu einer kürzeren Kulturzeit. Ein höherer Ertrag ist nur zu erzielen, wenn mindestens ein zusätzlicher Satz produziert werden kann.

Das System „**Dauerkulturen im Freiland**“ wird für die Produktion von Obst, Rhabarber und Spargel genutzt. An Obstkulturen wurden bereits Auswirkungen des Temperaturanstiegs der vergangenen Jahre beobachtet. Im Niederelbe-Gebiet wurde eine Verfrühung der Apfelblüte von durchschnittlich 18 Tagen innerhalb der letzten 30 Jahre ermittelt (Schulpin, 2007). Entsprechend früher fällt der Erntetermin aus. Bei der Sorte Boskoop konnte innerhalb der letzten 20 Jahre der Erntebeginn von der ersten Oktoberwoche auf die letzte Septemberwoche vorverlegt werden. Zudem haben ein früherer Frühlingsbeginn, längere und wärmere Wachstumsperioden sowie ein später einsetzender Herbst in der nördlichen Anbauregion den Anbau neuer Sorten wie Braeburn und Pink Lady ermöglicht, deren Ertragssituation sich in den letzten drei Jahren deutlich verbessert hat. Dagegen führen höhere nächtliche Herbsttemperaturen bei regional bewährten Apfelsorten wie Jonagold zu einer verminderten Fruchtausfärbung (Schulpin, 2007). Diese Ergebnisse zeigen die Bedeutung einer vorausschauenden Sortenwahl für Pflanzen, die viele Jahre auf dem Feld verbleiben.

Im Spargelanbau ist in den vergangenen Jahren ein neues Problem aufgetreten, das mit einer Temperaturerhöhung in Zusammenhang gebracht wird. Der Spargelaustrieb war in einigen Anbauregionen (z. B. in der Pfalz) zu Beginn der Saison verzögert und ungleichmäßig. Die betroffenen Betriebe hatten verminderte Einnahmen, da die hohen Preise zu Beginn der Saison nicht genutzt werden konnten und die Erntehelfer nicht ausgelastet waren. Ursache für den ungleichmäßigen Austrieb ist vermutlich, dass das Kältebedürfnis während der Ruhezeit des Spargels nicht erfüllt wurde. Um das Problem zu lösen, muss nach Wegen gesucht werden, die Ruhe des Spargels trotz hoher Wintertemperaturen gleichmäßig zu brechen.

Eine Temperaturerhöhung führt auch zu einer höheren Bodentemperatur und damit zu einer Zunahme der Stickstoff- und CO_2 -Freisetzungen aus Bodenhumus. Beispielhaft für den Standort Großbeeren (Leicht humoser lehmiger Sand, Jahresmitteltemperatur $8,7^{\circ}\text{C}$) durchgeführte Simulationsrechnungen zeigen, dass eine Temperaturerhöhung um 3°C zu einem verstärkten Abbau von Humus führt. Dadurch wird die Stickstofffreisetzung von 63 auf $103\text{ kg N/ha}^1\text{ Jahr}^{-1}$ erhöht und zusätzlich etwa $3.200\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ Jahr}^{-1}$ freigesetzt. Die zusätzliche Stick-

stoffmenge sollte bei der Bemessung der Düngung berücksichtigt werden. Außerdem sollte eine Brache im Winter vermieden werden, um zusätzliche Stickstoffverluste zu begrenzen. Eine zunächst erhöhte Stickstoff- und CO₂-Freisetzung wird, bei unveränderter Wirtschaftsweise, nach mehreren Jahrzehnten wieder auf den Ausgangswert vor der Temperaturerhöhung zurückgehen, sobald sich der Humusgehalt auf einem niedrigeren Niveau stabilisiert hat. Ob verminderte Humusgehalte starke Auswirkungen auf gartenbauliche Produktionssysteme haben, kann zurzeit nicht abgeschätzt werden.

In allen Produktionssystemen könnte eine Temperaturerhöhung zu einer veränderten Gefährdung durch Krankheiten und Schädlingen führen. In der Literatur sind dazu bisher überwiegend nur pauschale Bewertungen zu finden. Nach Zebisch et al. (2005) profitieren viele Schädlingsarten generell von höheren Temperaturen, insbesondere von höheren Wintertemperaturen. Infolgedessen kann ein Schädlingsbefall bereits früher im Jahr auftreten, Schädlinge können mehr Individuen und mehr Generation pro Jahr ausbilden. Pilzkrankheiten werden nur bei warmer und gleichzeitig feuchter Witterung zunehmen. Auch Laun (2008) geht von einer Erhöhung des Befallsdrucks an Gemüsepflanzen aus, insbesondere dadurch, dass neue, an höhere Temperaturen angepasste Schädlinge auftreten und die Wintermortalität geringer ausfällt. Hendriks (2008) erwartet an Zierpflanzen verstärkte Probleme mit wärmebedürftigen Schädlingen wie Thripsen und Zikaden. Exemplarische Ergebnisse zu diesem Problem liegen aus dem Projekt KLARA für Schädlinge und Krankheiten von Apfelkulturen vor. Danach führt in der Bodenseeregion ein wärmeres und leicht feuchteres Klima bis 2055 zu einem höheren Schaderregerdruck im Apfelanbau durch Apfelwickler und Apfelschorf (Zebisch et al. 2005). Schaller et al. (2007) berichten von einer neuen durch Bakterien (*Xanthomonas fragariae*) verursachten Krankheit, die sich seit einigen Jahren in Deutschland ausbreitet. Andere in Deutschland relevante Schädlinge, z. B. die Möhrenfliege und die Kleine Kohlfliege, reagieren auf eine Temperaturerhöhung im prognostizierten Bereich mit Entwicklungspausen, die insgesamt zu einer Verminderung des Befallsdrucks führen könnten (Schulpin, 2007). Diese Ergebnisse zeigen, dass die Wirkungen einer Temperaturerhöhung nicht pauschal, sondern nur gesondert für jedes

Pathosystem bewertet werden sollten. Für diese Bewertung sind mathematische Simulationsmodelle geeignet, die es bisher aber nur für wenige gartenbaulich relevante Schädlinge und Krankheiten gibt, wie z. B. für Kohl-, Möhren- und Zwiebelfliegen (Gebelein et al., 2007) oder für Zwiebelmehltau (Leinhos et al., 2004).

3.2 CO₂

Eine Erhöhung der CO₂-Konzentration der Luft über den zurzeit gemessenen Wert von etwa 380 ppm wird bei allen Pflanzenarten zu höheren Photosynthese- und Wachstumsraten führen. Die Steigerungsrate hängt von der Pflanzenart ab. Bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration wurde für verschiedene landwirtschaftlich genutzte C3-Pflanzen eine Zunahme von 17 bis 50 % gemessen. Für C4-Pflanzen werden geringere Zunahmen erwartet (Literaturübersicht bei Högy, 2002).

Im Gewächshaus angebaute Arten (z. B. Gurke, Tomate, Paprika, Chrysantheme) zeigten bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration Ertragszuwächse, die in der gleichen Größenordnung lagen, wie bei den landwirtschaftlich genutzten Arten, d. h. bei etwa 20 bis 30 % (Nederhoff, 1994). Bei einer CO₂-Konzentration von etwa 800 ppm fanden Schonhof et al. (2007b) einen leicht erhöhten Frischmassezuwachs der Köpfe von Brokkoli, bei gleichzeitiger Zunahme der qualitätsbestimmenden Glucosinolate. Darüber hinaus liegen Ergebnisse vor, welche CO₂-Konzentrationen negativ auf das Pflanzenwachstum wirken. Auch die überoptimalen Konzentrationen variieren mit der Pflanzenart, z. B. 8.000 ppm für Gurken, 6.000 ppm für Tomaten und 10.000 ppm für Paprika (Literaturübersicht bei Pfeufer, 1990). Die Grenzwerte sind alle so hoch, dass keine Wachstumslimitierung durch zu hohe CO₂-Konzentration zu erwarten ist. Ein Ertragszuwachs durch höhere CO₂-Konzentration kann nur dann realisiert werden, wenn kein anderer Wachstumsfaktor limitierend wirkt. Das bedeutet, dass auch die Düngung und die Wasserversorgung an das höhere Wachstumspotenzial angepasst werden müssen. Der Wasserbedarf steigt aber nicht proportional zum Ertragszuwachs, da die erhöhte CO₂-Konzentration die Wassernutzungseffizienz verbessert (Högy, 2002).

3.3 Strahlung

Wie oben dargestellt, enthalten die Berichte des IPCC (2007) und des PIK (Zebisch et al., 2005) keine Prognosen für Veränderungen der photosynthetisch aktiven Strahlung oder der UV-Strahlung in Deutschland.

3.4 Wasser

Die Wasserversorgung ist für die gartenbauliche Produktion von herausragender Bedeutung, da die Produkte überwiegend frisch vermarktet werden und die äußere und zum Teil auch die innere Qualität der Produkte vom Wasserstatus bestimmt werden. Anders als z. B. in der Getreideproduktion führt im Gartenbau Wassermangel in der Regel nicht zu einer Ertragsminderung, sondern zu einem Totalausfall, da Produkte mit Qualitätsmängeln nicht vermarktet werden können. Nach Zebisch et al. (2005) sind nur geringe Veränderungen des Jahresniederschlags zu erwarten, die Niederschläge im Sommer werden jedoch wahrscheinlich abnehmen. Lüttger (2007) berichtet, dass für viele Regionen in Deutschland im Zeitraum von 1901 bis 2003 ein Trend zu erkennen ist, dass der Niederschlag in der Vegetationsperiode abgenommen hat. Ein regionales Klimamodell sagt für einige Regionen in Deutschland bis 2080 einen Rückgang der Sommerniederschläge um 33 % vorher (Lüttger, 2007). Zebisch et al. (2005) und Otte (2007) weisen allerdings darauf hin, dass die unterschiedlichen regionalen Klimamodelle z. T. noch widersprüchliche Trends aufzeigen. Probleme für die gartenbauliche Produktion im Freiland werden insbesondere dann entstehen, wenn die vorhergesagten Klimaänderungen in der Kombination auftreten: höhere Tagesmitteltemperatur (dadurch verlängerte Vegetationsperiode) + mehr heiße Tage im Sommer + weniger Niederschlag im Sommer. Durch erhöhte Verdunstung und verminderten Niederschlag im Sommer wird die klimatische Wasserbilanz stark negativ. Sie muss durch Bewässerung ausgeglichen werden, um eine gartenbauliche Produktion im Freiland zu ermöglichen. Von den gemüsebaulich genutzten Ackerflächen in Deutschland ist bereits jetzt der weit überwiegende Teil bewässerbar. Eine offene Frage ist, ob die Wasserwirtschaft das zusätzlich benötigte Wasser zur Verfügung stellen kann. Wasser wird in verschiedenen Regionen Deutschlands in steigendem Maße für Zwecke außerhalb des

traditionellen agrarischen Bereichs eingesetzt. Es ist außerdem zu beachten, dass durch die gestiegenen Preise für andere landwirtschaftliche Produkte, eine Bewässerung von z. B. Getreide und Mais immer lohnender wird. Dadurch wird der Wasserverbrauch insgesamt erhöht und die Konkurrenz um das Wasser verschärft (Laun, 2008). Die Konkurrenz um Wassernutzungsrechte und erhöhte Kosten für Bewässerung sind voraussichtlich diejenigen Folgen des Klimawandels, bei denen die Gartenbaubetriebe in den betroffenen Regionen am deutlichsten zu Anpassungsreaktionen gezwungen sein werden. Selbstverständlich ist die Verknappung von Bewässerungswasser nur teilweise eine Folge von Klimaveränderungen. Nutzungsänderungen in der Landschaft, Ansiedlung neuer Industrien oder Wohnbau können zum Beispiel lokal überwiegende Ursachen von Wasserknappheit sein.

Eine Verminderung des Wasserverbrauchs im Gartenbau ist möglich, durch eine bedarfsgerechte Steuerung der Bewässerung sowie durch Wasser sparende Bewässerungsverfahren, wie z. B. Tröpfchenbewässerung. Derartige Verfahren sind in einigen Ländern bereits Standard (z. B. Spanien, Israel), in Deutschland aber noch nicht etabliert. Ergänzt werden können diese Bewässerungstechniken durch Anbaumaßnahmen wie Häufeln oder Mulchen. Weltweit verfügbare Techniken für Anbau in Trockengebieten müssen hier an deutsche Bedingungen angepasst werden. Darüber hinaus gibt es gartenbauliche Kulturen, deren Bewässerung mit einem besonders hohen Aufwand verbunden ist, z. B. Stadtgrün und Friedhofsbepflanzungen. Um diesen Aufwand zu vermeiden, ist die Verwendung von trockenresistenten Pflanzenarten und -sorten die geeignete Anpassungsstrategie (Hendriks, 2008).

3.5 Zusammenfassung - Vulnerabilität und Anpassungskapazität des Gartenbaus in Deutschland

Basierend auf dem Bericht des PIK (Zebisch et al., 2005) bezeichnet das Umweltbundesamt die Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel nur in den von Dürren bedrohten Regionen Ostdeutschlands mit ihren oft armen Böden als „hoch“. Im Übrigen wird die Vulnerabilität als „mäßig“ eingestuft, da die Landwirtschaft sich relativ kurzfristig an veränderte Klima- und Wetterbedingungen anpassen kann (UBA, 2008). Diese Einschätzung gilt

auch für Teile des Gartenbaus. Auch der Gartenbau hat sich in der Vergangenheit ständig an veränderte (Markt-)Bedingungen angepasst. Eine hohe Vulnerabilität ist jedoch im Freilandgemüsebau und -zierpflanzenbau zu erwarten, wenn die Infrastruktur für die Bewässerung und die zur Verfügung stehende Wassermenge nicht ausreichen, um negative Wasserbilanzen im Sommer auszugleichen.

Die **Gartenbaubetriebe** werden sich an den Klimawandel anpassen, durch veränderte Fruchtfolgen, Saat- und Pflanztermine, durch neue Bewässerungs- und Pflanzenschutzstrategien sowie durch die Arten- und Sortenwahl. Dabei müssen die Betriebe durch entsprechendes Wissen unterstützt werden. Vordringliche Aufgabe der **Klimawissenschaft** ist die Verbesserung der regionalen Klimaprognosen, da diese bisher noch sehr unsicher und zum Teil widersprüchlich sind. Die **Agrarwissenschaft** kann die notwendigen Anpassungen der Gartenbaubetriebe zu erleichtern, indem sie die in den vorigen Kapiteln aufgezeigten Wissenslücken schließt. Darüber hinaus gelten die von der Arbeitsgruppe des Senats der Bundesforschungsgemeinschaften des BMVEL (Balko et al., 2007) formulierten offenen Fragen im Zusammenhang mit Klimawandel und Landwirtschaft in vielen Fällen auch für gartenbauliche Produktionssysteme. Bei der Definition möglicher Wissenslücken und der Feststellung von Forschungsbedarf muss dabei beachtet werden, dass die Anpassung von Pflanzen und pflanzlicher Produktionssysteme an klimatische Gegebenheiten und an Klimavariationen ein klassisches Thema früher Agrar- und Gartenbauforschung waren. Eine Übersicht findet sich zum Beispiel im „Yearbook of Agriculture“ des United State Department of Agriculture, das im Jahr 1941 unter dem Titel „Climate and Man“ auf mehr als 1.000 Seiten das damals bereits vorhandene Wissen zusammenfasste (USDA, 1941). Aufgabe der **Politik** wird es sein, Anpassungsmaßnahmen zu fördern und in den Betriebsalltag zu integrieren. Hierzu gehört auch die Anpassung der Gesetze, die die gute fachliche Praxis von Pflanzenschutz und Düngung regeln (Schaller, 2007). Weiterhin sollte geprüft werden, ob der erhöhte Beregnungsbedarf im Sommer durch die bestehenden Bewässerungssysteme gedeckt werden kann, oder ob ein Ausbau der Infrastruktur erforderlich ist.

4 Gartenbau als Verursacher von Klimawandel

Die Landwirtschaft trägt mit etwa 7% zu den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland bei. Zu den global klimawirksamen Gasen zählen Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas). Die landwirtschaftlich bedingten Methanemissionen mit einem Anteil von etwa 40 % an der Gesamtemission stammen hauptsächlich aus der Rinderhaltung und zu einem geringeren Anteil aus der Wirtschaftsdüngerlagerung. Die Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft tragen mit etwas 50 % zu den Gesamtemissionen von Lachgas bei. Sie sind im Wesentlichen durch Stickstoffumsätze im Boden bedingt, wobei vor allem anaerobe Verhältnisse die Lachgasfreisetzung begünstigen. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Intensität der Bodenbewirtschaftung und der Emissionshöhe. Die Emissionen von Kohlendioxid aus landwirtschaftlichen Böden haben einen Anteil von 4,5 % und spielen damit eine kleinere Rolle. An den Ammoniakemissionen ist die Landwirtschaft hingegen mit mehr als 90 % beteiligt. Diese sind zu 10 % auf die Düngung, der überwiegende Anteil aber auf die Tierhaltung und das Wirtschaftsdüngermanagement zurückzuführen (UBA, 2006). Es ist uns keine Studie bekannt, in der alle Treibhausgasemissionen des gesamten Gartenbausektors quantifiziert werden. Emissionsminderungspotential gibt es hinsichtlich Lachgas (N_2O) und hinsichtlich Kohlendioxid (CO_2). Die **CO_2 -Freisetzung** lässt sich aus der in Deutschland genutzten Gewächshausfläche und einem mittleren jährlichen Energieverbrauch grob abschätzen. Nach einer vom BMVEL in Auftrag gegebenen Studie über die „Energetische Nutzung von Biomasse im Unterglasanbau“ (Förderkennzeichen 22015703) gaben 18 % der befragten Gemüse- und Zierpflanzenbetriebe einen jährlichen Energieverbrauch von weniger als 100 kWh/m² an, 72 % lagen im Segment von 101 bis 400 kWh/m² und 10 % sogar darüber. Wichtigster Energieträger ist dabei Heizöl (ca. 70 % der Betriebe), sodass bei einem Energieverbrauch von 300 kWh/m² mit einem jährlichen CO_2 -Ausstoß von 84 kg/m² zu rechnen ist. Bei einer Anbaufläche von Gurke, Tomate und Blattgemüse von 953 ha (ZMP-Marktbilanz, 2005) ergibt das eine jährliche CO_2 -Freisetzung von 800.000 t. Obwohl sich hinter dem variablen Energieverbrauch verschiedene Kulturarten und Nutzungsfolgen verbergen, so ist doch die Bandbreite bemerkens-

wert und lässt auf deutlich unterschiedliche Energienutzungseffizienzen und große Einsparpotentiale schließen. Deshalb besteht deutlicher Forschungsbedarf zur Verringerung des Energieverbrauchs von Gewächshäusern. Aber auch durch Optimierung der CO₂-Versorgung der Pflanzen im Gewächshaus können eine erhöhte CO₂-Aufnahme durch die Pflanzen, deutliche Ertragssteigerungen und damit Verringerungen des produktspezifischen CO₂-Ausstoßes erzielt werden (Kläring et al., 2007).

Die Abschätzung der **N₂O-Emission** durch gartenbauliche Produktion ist zurzeit schwierig, da die Emission stark von der Menge und Art der Stickstoffversorgung (mineralisch, organisch) und vom Produktionsverfahren (Feld, Topfkultur, Hydroponik) abhängt. Die N₂O-Emissionen der verschiedenen Produktionsverfahren sind bisher nur wenig untersucht. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass in hydroponischen Anbauverfahren die gasförmigen Stickstoffverluste (N₂O + N₂) bis zu 20 % der N-Düngermenge betragen (Daum et al., 1998). Da gartenbauliche Kulturen in der Regel intensiv mit Stickstoff gedüngt werden, ist davon auszugehen, dass die Emissionen im Gartenbau – bezogen auf die Fläche – höher sind als in der Landwirtschaft. Für eine genaue Schätzung von gasförmigen N-Verlusten durch gartenbauliche Produktionsverfahren gibt es jedoch bisher noch zu wenige Daten.

Literaturverzeichnis

- Balko et al. (2007) Koordinierung der Klimawirkungsforschung im Geschäftsbereich des BMELV, Teil 2, Empfehlung zur künftigen Forschung zu zentralen Fragen der Auswirkungen des Klimawandels und möglichen Maßnahmen zur Anpassung der Land- und Forstwirtschaft.
<http://www.klima-bmvel.de/>
- Daum D et al. (1998) Influence of nutrient solution pH on N₂O and N₂ emissions from a soilless cult
- Gebelein et al. (2007) http://www.jki.bund.de/cfn_044/nn_1106428/DE/Home/pflanzenschuetzen/integriert/swat/swat.exe.html, 20.02.08
- Heißner A et al. (1978) Rationeller Wärmeenergieverbrauch in Gewächshausanlagen. Gartenbau 25, 231-232

- Hendriks L (2008) Fachgebiet Zierpflanzenbau, Forschungsanstalt Geisenheim, persönliche Mitteilung 28.05.2008
- Högy (2002) Wirkungen erhöhter CO₂- und/oder Ozonkonzentrationen auf den Ertrag und die Qualität landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaftlichen Fakultät (Fachrichtung Biologie) der Justus-Liebig-Universität Giessen
- IPCC (2001) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Third Assessment Report. Climate Change 2001: The Scientific Basis; Impacts, Adaptation & Vulnerability; Mitigation. Cambridge University Press
- IPCC (2007) Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Hanson CE, van der Linden PJ, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCCKoordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007
- Kasang (2007) <http://www.hamburger-bildungssever.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/gesundheits/gesundheits-8.html>
- Kläring H P, Hauschild C, Heißner A, Bar-Yosef B (2007) Model-based control of CO₂ concentration in greenhouses at ambient levels increases cucumber yield. Agricultural and Forest Meteorology 143: 208-216
- Laun N (2008) Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – Rheinpfalz –, persönliche Mitteilung 21.02.2008
- Leinhos et al. (2004) Development of Zwipero. EJPP, 35-45
- Lüttger (2007) PIK, Vortrag Landwirtschaftliche Woche Nordhessen, 10. Januar 2007
- Nederhoff E (1994) Effects of CO₂ concentration. Dissertation Landbauuniversität Wageningen, NL

- Otte (2007) DWD, Bisheriger Klimawandel in Deutschland und mögliche Perspektiven für die Zukunft, Vortrag Düsseldorf 12.10.2007
- Pfeufer (1990) Wirkung hoher CO₂-Konzentration auf Gemüsearten. Dissertation Universität Hannover
- Schaller et al. (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 316
- Schonhof I, Kläring H P, Krumbein A, Claußen W, Schreiner M (2007) Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in broccoli. *Agric Ecol Environ* 119, 103-111
- Schonhof I, Kläring H P, Krumbein A, Schreiner M (2007) Interaction between atmospheric CO₂ and glucosinolates in broccoli. *J Chem Ecol* 33,105 -114
- Schulpin (2007) <http://oek.fbl.fh-wiesbaden.de/dgg-neu/index.php?id=76>, 20.02.08
- UBA (2006) Beitrag einer nachhaltigen Landwirtschaft zum Klimaschutz <http://www.umweltbundesamt.de/landwirtschaft/nahrungsmittelproduktion/klimaschutz.htm>, 27.03.2006
- UBA (2008) Klimafolgen und Anpassung im Bereich Landwirtschaft, <http://osiris.uba.de/gisudienste/Kompass/fachinfo/landwirtschaft.htm>, 21.02.08
- USDA (United States Department of Agriculture) (1941) *Climate and Man. Yearbook of Agriculture*. United States Government Printing Office, Washington D.C., USA.
- Zebisch et al. (2005) Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, ISSN 1611-8855 <http://www.umweltdaten.de/publikationen/pdf-l/2947.pdf>, 20.02.08