

## Einfluss des Klimawandels und Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft

### **Teil 1: Klimawandel-Übersicht und Einfluss von Extremereignissen**

A.o. Univ.Prof. DI Dr. Eitzinger, Univ. für Bodenkultur, ist anerkannter Experte für den Klimawandel und die Folgen für die Landwirtschaft. Er ist auch einer der Autoren des Fachbuches „Landwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Landwirtschaft in Mitteleuropa“. Dieses kann unter der Adresse <https://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H81000/H81400/Images/agromet/fax-bestellformular-klimawandel.pdf> bestellt werden.

Prof. Eitzinger hat dem Autor dieses Artikels dankenswerterweise einen Vortrag zur Verfügung gestellt. Es soll versucht werden, einige Kernbotschaften daraus in Form einer Artikelserie zu vermitteln. Dies kann die ausführliche Beschäftigung mit dem Thema aber keinesfalls ersetzen. Details können im oben angeführten Buch nachgelesen werden. Auch die genauen Quellenhinweise zu den in den Artikeln verwendeten Grafiken sind dort angegeben.

## Anstieg von Treibhausgasen in der Atmosphäre

Eine wichtige Ursache für den Klimawandel ist der Anstieg der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre, z.B. von Kohlendioxid, Methan und Lachgas.

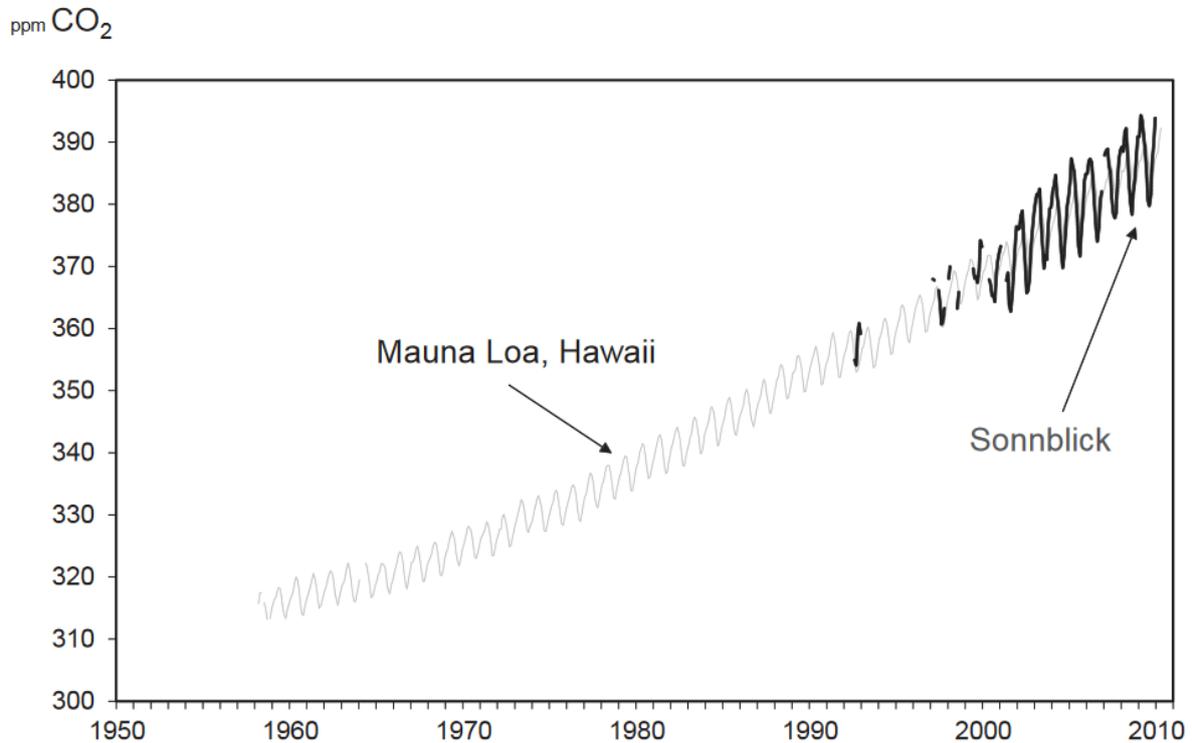


Abb.1: Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der relativ ungestörten Atmosphäre von Hawaii  
Quelle: APCC, 2014; <https://www.ccca.ac.at/de/apcc/oesterreichischer-sachstandsbericht-klimawandel-2014-infos-und-materialien/>

## Treibhauseffekt

Die erhöhte Konzentration von Treibhausgasen wirken wie ein Treibhaus (Glashaus) – die kurzwellige Sonnenstrahlung kann durch sie hindurch. Die Erdoberfläche erwärmt sich durch Absorption der Sonnenstrahlung und strahlt Energie in Form von langwelliger Wärmestrahlung wieder ab. Diese kann aber größtenteils nicht mehr durch das Glas bzw. durch die mit Atmosphäre mit erhöhten Gehalten an Treibhausgasen durchdringen. Die Temperatur im Glashaus bzw. in der bodennahen Atmosphäre (Troposphäre) erhöht sich daher.

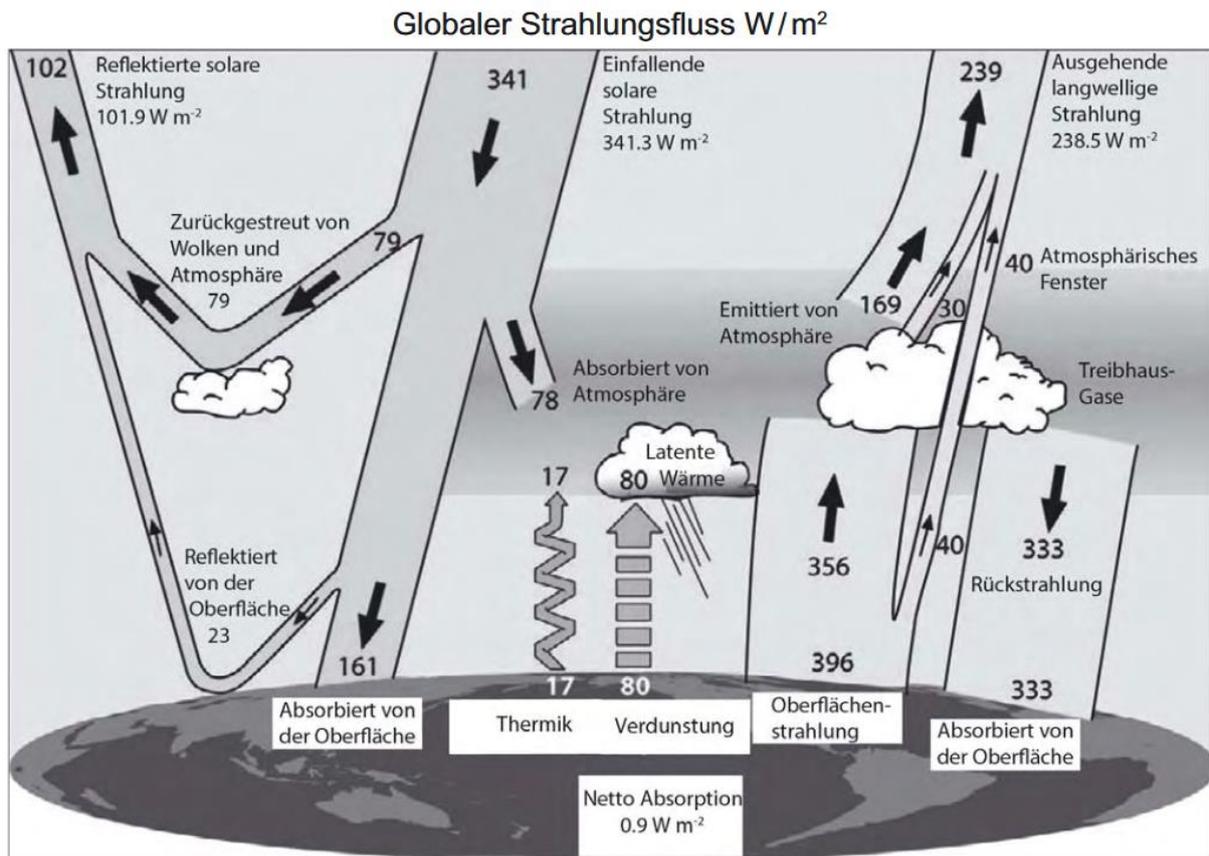


Abb.2: Treibhauseffekt: Erwärmung der unteren Atmosphäre mit vielfältigen Folgen  
Quelle: APCC, 2014

## Erhöhung der Jahresmitteltemperatur

Diese Erwärmung wird sich z.B. in einer Erhöhung der Jahresmitteltemperatur (klimatologisch als 30-Jahres-Mittel) zeigen. Es gibt verschiedene Klimaszenarien, die im Detail zwar unterschiedliche Erwärmungen anzeigen. Alle Klimamodelle, welche die Szenarien errechnen zeigen aber einen deutlichen Temperaturanstieg in den nächsten Jahrzehnten.

In der Vergangenheit hat es schon Veränderungen der Jahresmitteltemperatur gegeben. Diese bewegten sich in der Spanne +/- 0,5°C. Für die Zukunft werden deutlich größere Veränderungen erwartet.

## Veränderung der Niederschlagsverteilung

Die Sommerniederschläge (die Niederschläge im Zeitraum März-September) sind für die Land- und Forstwirtschaft von entscheidender Bedeutung. Schon jetzt verursachen Schwankungen (Trocken- und Feuchtperioden) Schwierigkeiten. In der Zukunft sind durchaus stärkere Abweichungen zu der jetzt bekannten Niederschlagsverteilung möglich. Die folgende Grafik zeigt die Streuung aktueller regionaler Klimaszenarien (ÖKS) für Österreich hinsichtlich absehbarer Temperatur- und Niederschlagsänderungen für das Sommerhalbjahr bis 2100. Während es bei der Temperatur eindeutig in Richtung Erwärmung geht, je nach Szenario in unterschiedlichem Ausmaß, ist beim Niederschlag eine leichte Zunahme (10-15%) wahrscheinlich, aber eine Abnahme nach einigen Szenarien auch nicht ausgeschlossen (größere Unsicherheit).

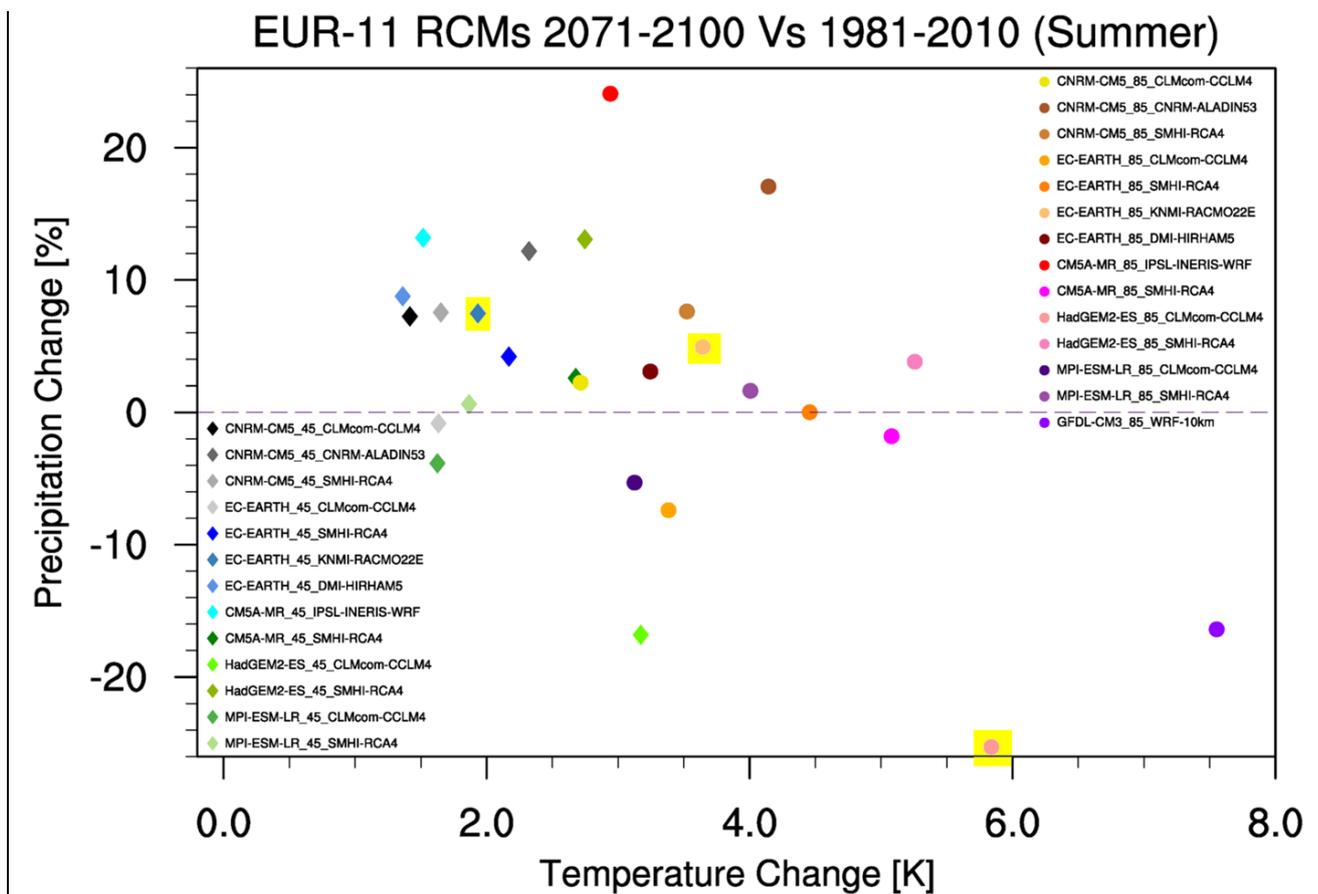


Abb.3: Klimaszenarien für Österreich hinsichtlich absehbarer Temperatur – und Niederschlagsänderungen für das Sommerhalbjahr bis zum Jahr 2100  
Quelle: (Eitzinger und Kubu, 2014)

## Erhöhung der Verdunstung

Eine mögliche Veränderung des Niederschlagregimes ist v.a. auch deshalb kritisch, weil durch die Temperaturerhöhung die potentielle Verdunstung steigt. Dies ist die mögliche Verdunstung, solange Wasser vorhanden ist. Wenn kein Wasser mehr zur Verfügung steht, werden die Pflanzen zum Schutz vor dem Verdorren die Spaltöffnungen schließen. Dann kann aber auch keine Photosynthese mehr stattfinden.

Für den Standort Neusiedl/See wird für die Periode 2030-2050 eine Zunahme der potentiellen Verdunstung um 23,3% (im Vergleich zu Periode 1961-1991) erwartet.

Dies bedeutet z.B., dass mit dem natürlich vorkommenden Wasser nur eine kürzere Zeit das Auslangen gefunden werden wird. Es wird häufiger bewässert werden müssen. Der Wasserbedarf für die Bewässerung und für die gesamte Vegetation wird insgesamt steigen.

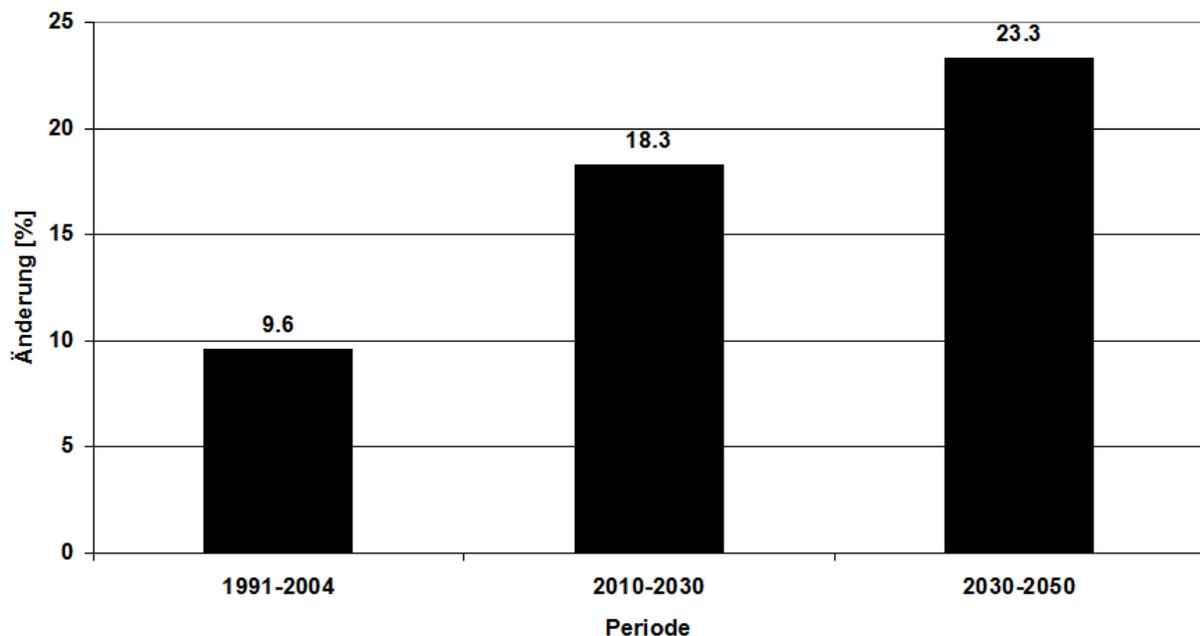


Abb.4: Zunahme der potenziellen Verdunstung (Station Neusiedl/See)

(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Häufigere und längere Hitzeperioden

Für die Landwirtschaft sind nicht nur die Niederschlagsverteilung, sondern auch das Auftreten und die Dauer von Hitzeperioden (am Tag über 35°C, in der Nacht über 20°C) entscheidend. Schon bisher muss eine Zunahme der Anzahl der Hitzetage zur Kenntnis genommen werden. Auch die Dauer der Hitzeperioden verlängert sich.

NEU:

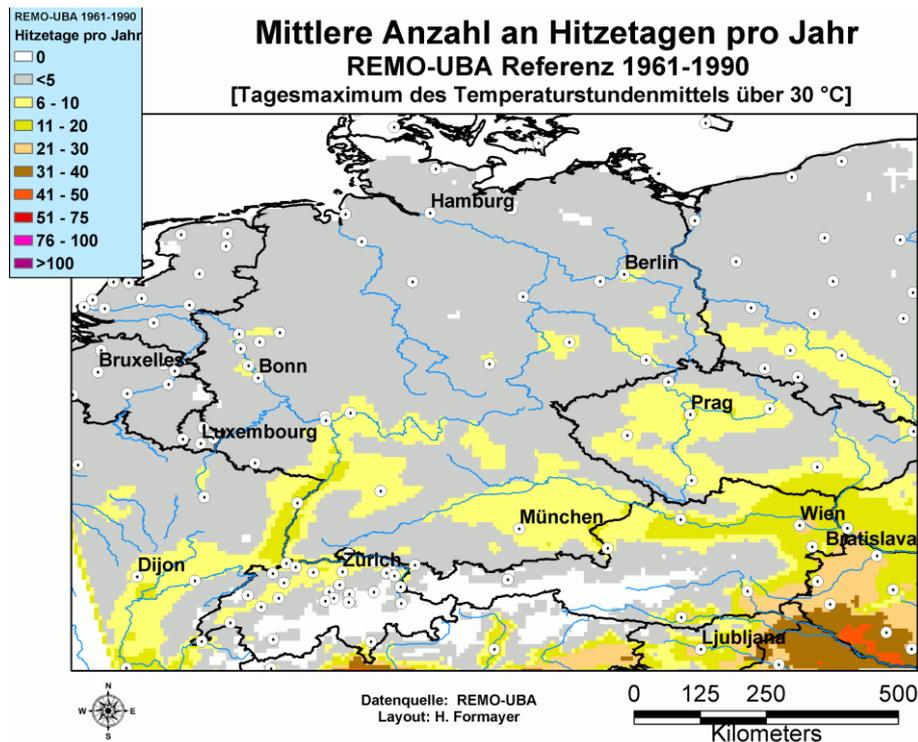


Abb.5: Mittlere Anzahl an Hitzetagen (maximales Stundenmittel größer als 30 °C) nach dem REMO-UBA-Modell für den Kontrolllauf 1961–1990 (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

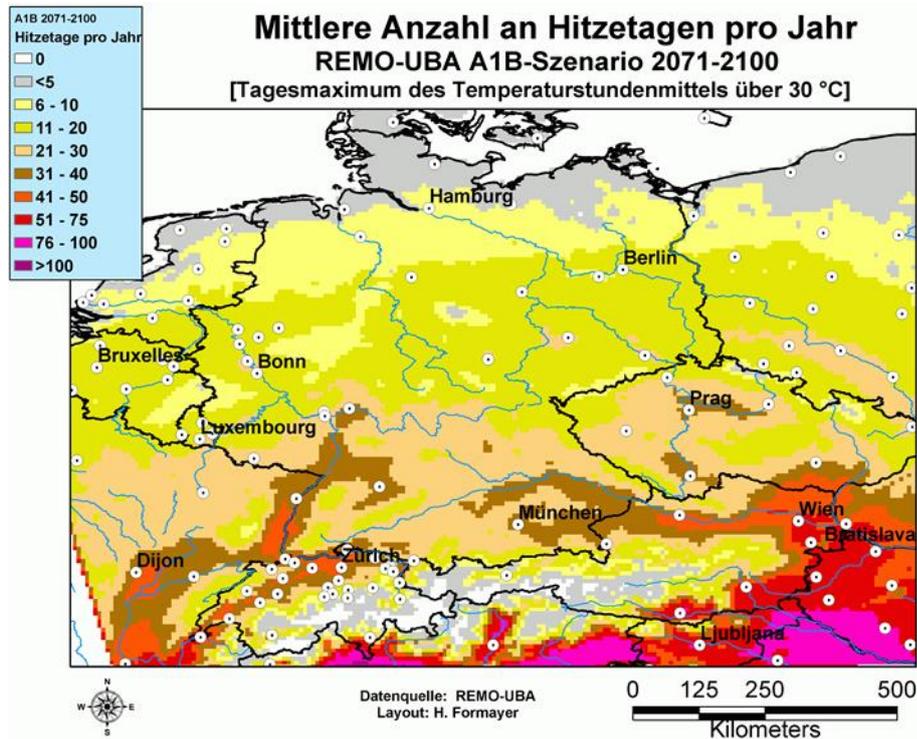


Abb.6: Mittlere Anzahl an Hitzetagen (maximales Stundenmittel größer als 30 °C) nach dem REMO-UBA-Modell für das A1B-Szenario für 2071-2100 (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Zunahme der bodennahen Ozonkonzentration

Mit zunehmenden Hitzewellen kann bei entsprechender Schadstoffbelastung der Luft (z.B. im größeren Umfeld von Ballungsräumen) auch die bodennahe Ozonkonzentration stark ansteigen, die auch für Kulturpflanzen schädlich ist. Höhere Ozonkonzentrationen beeinträchtigen die Funktion der Spaltöffnungen. Dadurch werden Pflanzen empfindlicher für Trockenschäden und erleiden Ertragseinbußen.

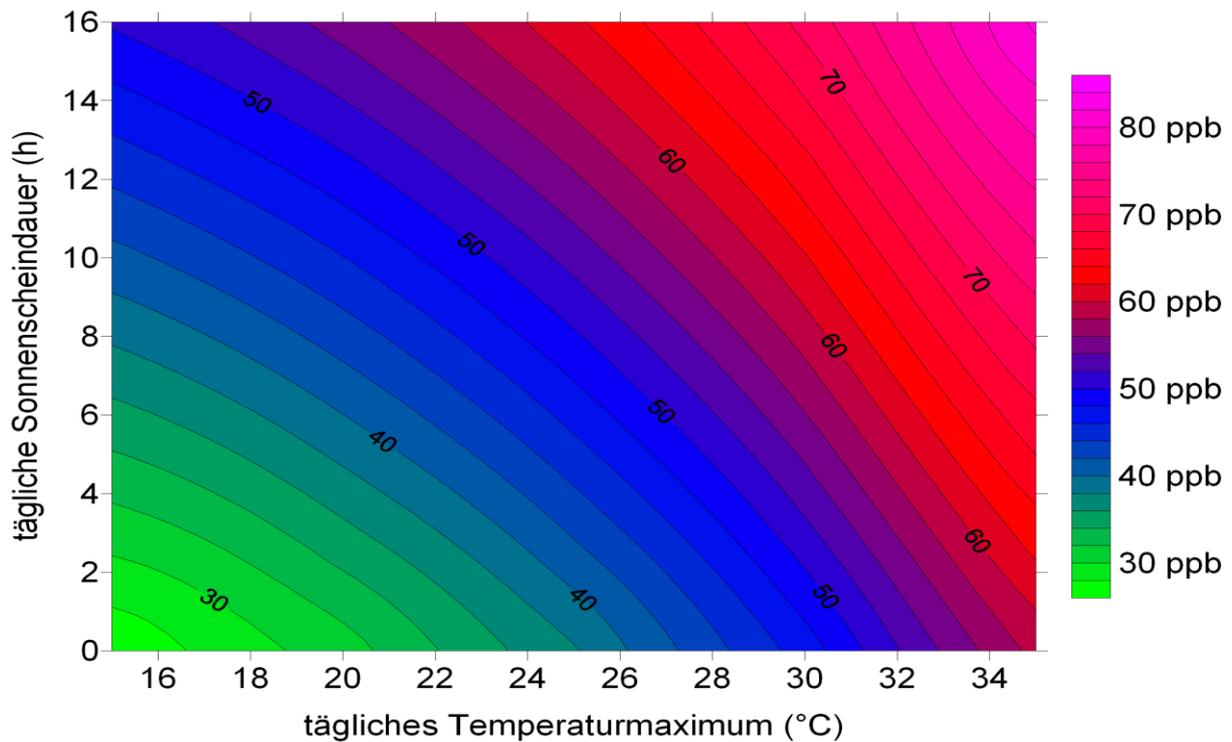


Abb.7: Hitzeabhängigkeit der täglichen Ozonkonzentrationen (Siebenstundenmittel 9-16 h in ppb) von meteorologischen Größen (tägliches Temperaturmaximum, Sonnenscheindauer) in Ostösterreich (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Zunahme der Gewitterwahrscheinlichkeit

Mit steigender Temperatur erhöht sich auch die Gewitterwahrscheinlichkeit (als Blitzhäufigkeit gemessen). Damit steigen auch die Hagelgefahr und die Möglichkeit von weiteren Schäden durch Gewitter, wobei Österreich durch seine Topographie bedingt, ohnehin schon in einem Bereich erhöhter Gewitterhäufigkeit liegt.

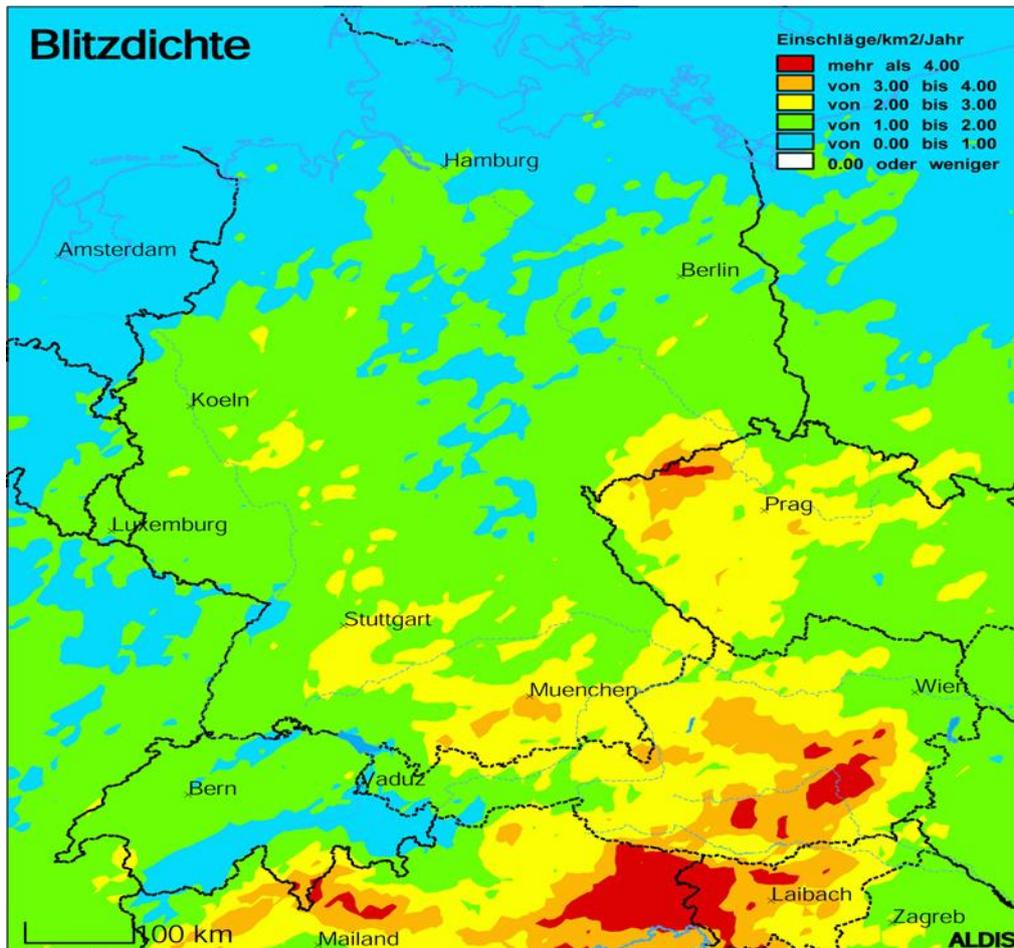


Abb.8: Mittlere Blitzdichte (Einschläge pro Quadratkilometer und Jahr) in Mitteleuropa für den Zeitraum 2000 bis 2007 (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Teil 2 Auswirkungen des Klimawandels auf Pflanzenproduktion und Wasserhaushalt

Immer früheres Lesereifedatums bei Wein

Pflanzen reagieren auf Erwärmung durch eine Anpassung der Zeitspannen für Aufbau und Reife (beschleunigte Entwicklung oder Phänologie). Dies zeigt sich z.B. durch immer frühere Austriebszeiten, Blüh- und Reifezeitpunkte wie z.B. bei Lesereifedaten bei Wein. Dies sollte z.B. bei zukünftigen Sortenentscheidungen berücksichtigt werden.

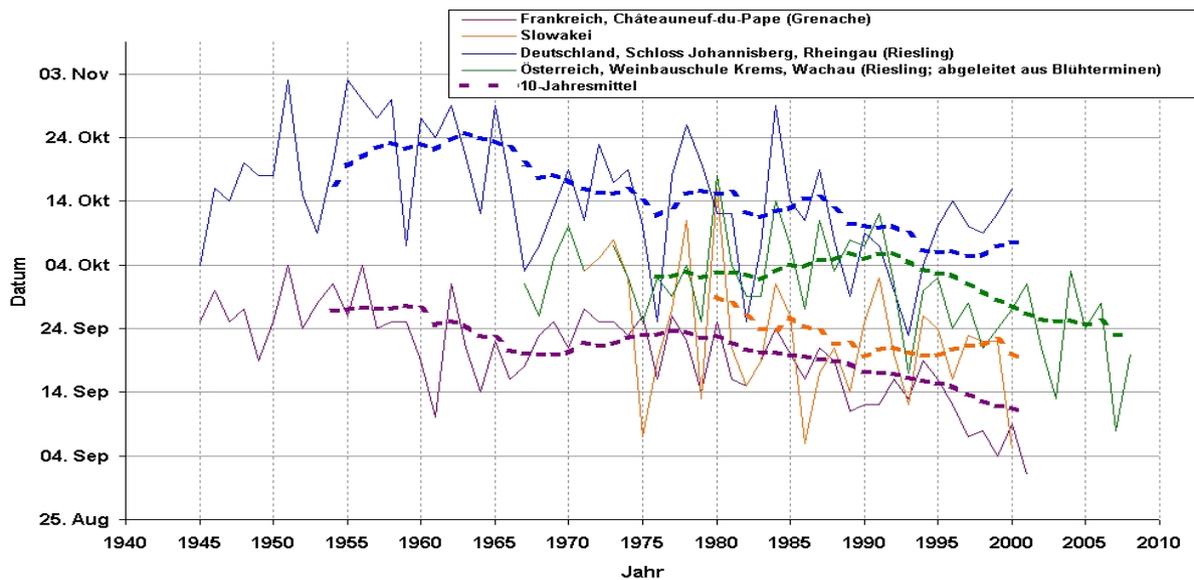


Abb.9: Veränderung des Lesereifedatums bei Wein  
(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

Nach Möglichkeit hitzetolerante Kulturen bevorzugen

Unsere derzeitigen Kulturpflanzen reagieren unterschiedlich auf Hitzestress. Die Kartoffel oder Weizen hat z.B. ein deutlich niedrigeres Temperaturoptimum als Hirse oder Mais. Natürlich kann nicht eine Art einfach durch eine andere Kultur ersetzt werden. Vielleicht gibt es aber im beschränkten Umfang Möglichkeiten der Anpassung. Besonders wichtig werden derartige Überlegungen bevor z.B. langjährige Investitionen für den Anbau bestimmter Kulturen getätigt werden.

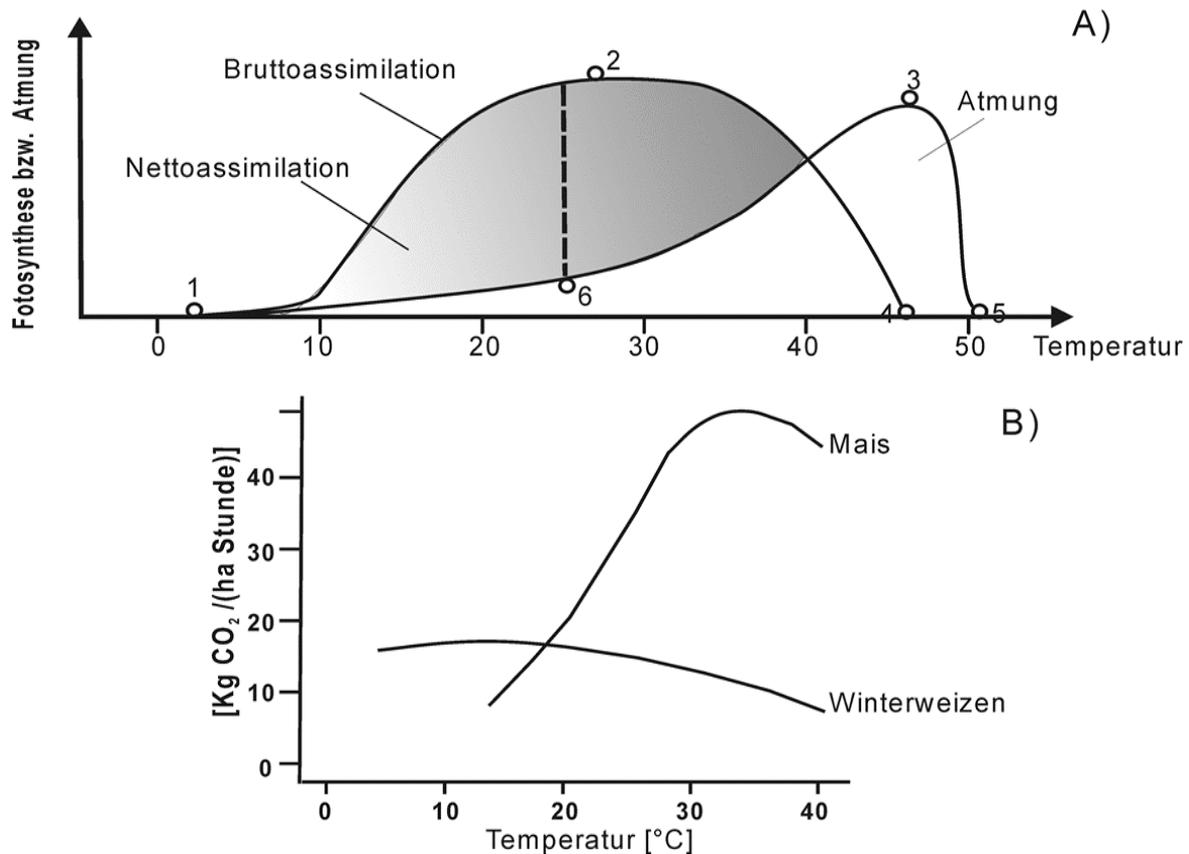


Abb.10: Einfluss von Temperatur auf das Wachstumspotenzial (Fotosynthese und Atmung) und daraus abgeleitete optimale Temperaturbereiche unterschiedlicher Arten (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Einfluss von CO<sub>2</sub>-Gehalt auf die Photosynthese

Eine Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre kann sich auf die Photosynthese auswirken.

C<sub>4</sub>-Pflanzen wie z.B. Mais und Hirse verfügen schon jetzt über einen sehr effektiven CO<sub>2</sub>-Aufnahmemechanismus. Eine Steigerung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre hat daher kaum Auswirkungen auf deren Produktivität.

Viele unserer Kulturarten sind C<sub>3</sub>-Pflanzen, die von einer Steigerung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Luft profitieren können, wenn die übrigen Wachstumsbedingungen (z.B. Wasserverfügbarkeit) günstig sind. Dies bedeutet im Umkehrschluss für die Landwirtinnen und Landwirte, dass ihre C<sub>3</sub>-Pflanzen nur dann von den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalten profitieren werden, wenn alle übrigen Produktionsentscheidungen (Bodenbearbeitung, Winterung/Sommerung, Sortenwahl, Anbauzeitpunkt, Saatstärke, Saattiefe, Düngung etc.) an die veränderten Umweltbedingungen angepasst werden. Die Sortenunterschiede in der Nutzung erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalte sind bei C<sub>3</sub>-Pflanzen allerdings sehr ausgeprägt.

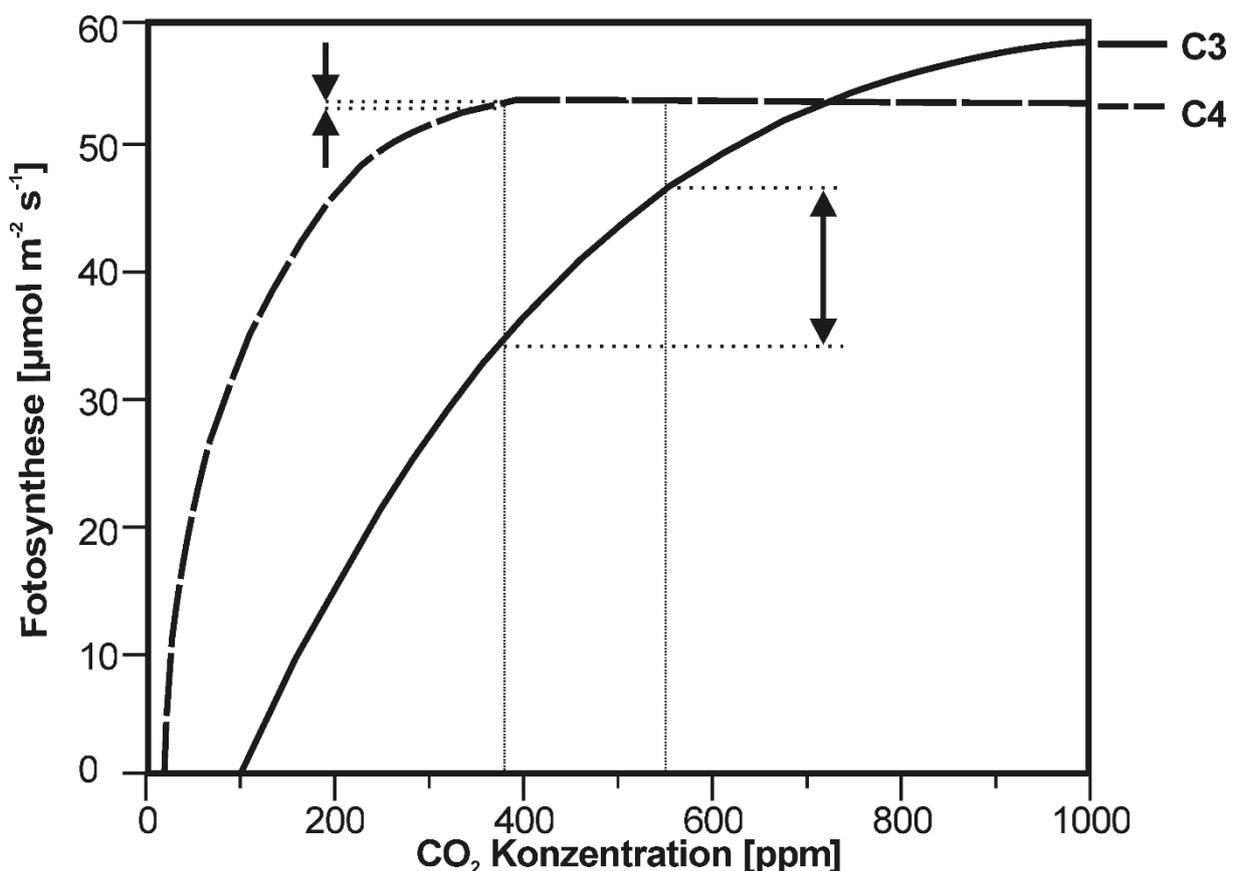


Abb.11: Einfluss von CO<sub>2</sub>-Gehalt auf die Photosynthese (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Nach Möglichkeit wassereffiziente Kulturpflanzen anbauen

Kulturpflanzen können unterschiedlich effizient mit Wasser umgehen. C4-Pflanzen wie z.B. Mais können in kurzer Zeit hohe CO<sub>2</sub>-Mengen aufnehmen, sie können daher die Spaltöffnungen kürzer offen halten und verlieren dadurch weniger Wasser, als dies z.B. bei C3-Pflanzen für die gleiche CO<sub>2</sub>-Menge der Fall ist. Dies soll aber kein Anpreisen des Maisanbaus als Lösung gegen den Klimawandel sein. Mais ist z.B. zum Zeitpunkt der Blüte auch sehr anfällig auf Trocken- und Hitzestress (durch Störung der Fertilität).

C3-Pflanzen wie z.B. Raps oder Luzerne brauchen pro Kilogramm produzierter Trockenmasse deutlich mehr Wasser. Dass diese Arten dennoch auf Trockenstandorten angebaut werden können, hängt mit deren gut ausgebildetem Wurzelsystem (Luzerne) bzw. bei Raps auch dem frühen saisonalen Zeitpunkt der größten Biomassebildung und dem damit verbundenem Wasserbedarf zusammen. Ein insgesamt hoher Wasserverbrauch einer Vorrucht kann bei trockenen Wintern bzw. Frühjahren z.B. bei der Folgekultur Getreide nach Luzerne zu Wassermangel führen.

Wenn nicht mehr davon ausgegangen werden kann, dass ein hoher Wasserverbrauch einer Vorrucht durch die nachfolgenden Winterniederschläge ausgeglichen werden kann, müssen nicht nur einjährige Effekte von Beständen, sondern die Auswirkung auf die gesamte Fruchtfolge berücksichtigt werden.

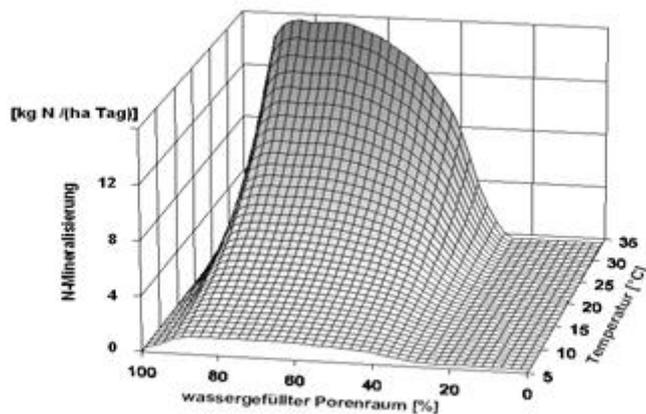
Kulturart	Transpirationskoeffizient [l Wasser / kg Trockenmasse]	Gesamtwasserverbrauch der Pflanzenbestände pro Wachstumsperiode (mm)
W. Weizen	308 – 690	460
W. Gerste	310-521	400
W. Roggen	400	350
S. Gerste	218-521	300
Mais	180-400	530
Energiemais	180-400	800
Kartoffel	182-636	450
Zuckerrübe	176-400	480
W. Raps	600-700	480
Luzerne	800	700
Buschbohne	206 - 400	250
Weißkohl	296 - 600	300
Gurke	220-430	290
Zwiebeln	350-600	350
Wein	370-430	400-700

Abb.12: Wasserverbrauch ausgewählter Kulturpflanzen (abgeleitet aus einem mittleren Ertragsniveau)

(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

Temperaturabhängigkeit von chemischen Bodenprozessen berücksichtigen!

Veränderte Klimabedingungen haben nicht nur Auswirkungen auf Kulturpflanzen, sondern auch auf das Bodenleben und chemische Bodenprozesse. Wenn z.B. durch Bewässerung ein für die Kulturpflanzen günstiger Bodenfeuchtegehalt aufrecht erhalten wird, die Temperatur aber im Vergleich zur Ist-Situation steigt, erhöht sich auch die Geschwindigkeit von chemischen Bodenprozessen – z.B. die Freisetzung von Stickstoff, der bisher in organischer Substanz gebunden war. Dies ist nicht nur bei der Düngung zu berücksichtigen, sondern auch in der Humusbilanz. Auf vielen Böden ist die Erhaltung bzw. sogar die Erhöhung des derzeitigen Humusgehaltes z.B. aufgrund dessen hohen Wasserspeicherfähigkeit anzustreben. Wenn aber mehr organische Substanz abgebaut wird, muss auch mehr stabile Biomasse zugeführt oder auf der Fläche produziert werden, damit die Bilanz ausgeglichen oder positiv ist.



### Temperaturabhängigkeit von chem. Bodenprozessen

Abb.13: Mineralisation von Stickstoff aus organischer Substanz in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchte  
(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

Höhere Temperaturen begünstigen die Entwicklung von vielen Schädlingen

Höhere Temperaturen haben auch Auswirkungen auf die Entwicklungen von Schädlingen. Manche von ihnen können durch schnellere Entwicklung oft eine zusätzliche Generation pro Jahr entwickeln, manche werden durch mildere Winter begünstigt, oder es verbreiten sich sogar neue, wärmeliebende Schädlinge. Landwirtinnen und Landwirte werden sich an die konkreten Auswirkungen anpassen müssen. Dennoch sollten schon jetzt alle empfohlenen phytosanitären Maßnahmen getroffen werden, um eine Ausbreitung von Schädlingen zu vermeiden. Die Larve des Maiszünslers überwintert z.B. oft in den untersten Stängelteilen. Nach der Maisernte ist es daher günstig, die Stoppeln zu häckseln oder zu walzen, um die Larvenanzahl zu verringern.



Abb.14: Die Raupe des Maiszünslers verursacht häufig ein Abbrechen der Maisfahnen  
(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

## Höhere Temperaturen begünstigen Wärmeunkräuter

Manche Unkräuter wie z.B. typische wurzelstarke Hackfruchtunkräuter (Ambrosie, Hirsearten, Amarant etc.) benötigen für ihre Entwicklung hohe Temperaturen. Durch steigende Temperaturen werden sie verstärkt auftreten. Umso wichtiger ist es daher, ausgewogene Fruchtfolgen zu etablieren, die z.B. auch dichte Bestände von Winterungen ermöglichen, die die Keimung und Entwicklung von Wärmekeimern verhindern.



Abb.15: Verunkrautung mit Ambrosie in einem Maisfeld  
(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

### Teil 3: Anpassung durch effektivere Ressourcennutzung

Grundsätzlich gibt es eine große Menge unterschiedlicher Anpassungsmöglichkeiten, von kurzfristig umsetzbaren, oft kostenneutral durchgeführten (z.B. frühere Anbauzeitpunkte im Frühjahr oder Sortenauswahl) Maßnahmen bis hin zu kosten- und planungsintensiven Maßnahmen (wie z.B. der Installation von Bewässerungsmaßnahmen usw.) auf der Ebene des Landwirtes als Entscheidungsträger. Im Sinne des Klimaschutzes bzw. von Seiten der Klimaschutzpolitik wird allerdings auch eingefordert, dass bevorzugt klimafreundliche und nachhaltige Anpassungsmaßnahmen umgesetzt und unterstützt werden sollten.

#### Effiziente Bewässerung

Bei steigenden Temperaturen und ev. steigendem Bewässerungsbedarf wird eine effiziente Bewässerung immer wichtiger. Die Landwirtinnen und Landwirte stehen dabei im Spannungsfeld zwischen arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Fragen. Dazu gibt es viele wertvolle Erfahrungen aus der Vergangenheit. In Zukunft wird aber zu überprüfen sein, wie weit diese Erfahrungen der aktuellen Situation noch entsprechen. Bei Ersatz- oder Neuinvestitionen sind jedenfalls die Möglichkeiten effizienter Bewässerungssysteme zu überprüfen. In Dauerkulturen sind Tropfbewässerungen schon weit verbreitet, im Ackerbau gibt es z.B. zu unterirdischen Tropfbewässerungen unterschiedliche Erfahrungen. Auch Systeme, die zum Erprobungszeitpunkt noch unwirtschaftlich waren, können in Zukunft (z.B. in Restriktionsphasen für die Bewässerung aufgrund möglicher niedriger Grundwasserstände?) an Bedeutung gewinnen.



Abb.16: Beispiel einer uneffizienten Bewässerung mit hohem Wasserverbrauch im Marchfeld in Österreich, (Foto: Neudorfer) Quelle: Eitzinger et al., 2009

Erosionsschutzmaßnahmen aufgrund verstärkter Starkniederschlagsereignisse notwendig!

Höhere Temperaturen bewirken mehr Verdunstung. Dadurch ist mehr Wasserdampf in der Atmosphäre, der eine bestimmte Energiemenge repräsentiert. Es sind daher mehr Starkniederschlagsereignisse zu erwarten. Umso wichtiger werden daher alle Erosionsschutzmaßnahmen – nicht nur im Ackerbau (erhöhte Erosionsanfälligkeit der Reihenkulturen beachten!), sondern auch z.B. im Weinbau – in Trockenlagen wird es notwendig werden, die geeignete Begrünungsmischung zu etablieren, die einen guten Erosionsschutz bei geringer Wasser Konkurrenz ermöglicht.



Abb.17: Effekt einer Begrünung der Fahrgasse auf die Bodenerosion in einem Weingarten nach einem Starkniederschlag (Foto: Bauer)  
(Quelle: Eitzinger et al., 2009)

Günstigere kleinräumige Bedingungen durch Landschaftsstrukturen schaffen!

In weiten, windoffenen Lagen ist die austrocknende Wirkung des Windes oftmals sehr ungünstig. Wenn Windschutzanlagen vorhanden sind, sollten diese erhalten bzw. bei Möglichkeit ev. auch ergänzt werden. Wie weit diese auf die Fläche wirken, zeigt sich z.B. an Schneeablagerungen. Im Trockengebiet sind diese aufgrund der zusätzlichen Niederschlagsmenge doppelt positiv zu bewerten. Leichter zu realisieren als permanente Windschutzanlagen sind wahrscheinlich Randstreifen, Begrünungen, Mischkulturen etc. mit windbremsendem Aufwuchs. Auch in Begrünungen fangen sich oft beträchtliche Schneemengen!



Abb.18: Mikroklimatische Wirkungen von Landschaftsstrukturen

Quelle: Eitzinger et al., 2009

Möglichkeiten der Energieholzproduktion andenken!

Pappeln sind raschwüchsig und können zur Energieholzproduktion auch in trockeneren Regionen herangezogen werden. Sie bilden schnell einen guten Windschutz und können schon nach wenigen Jahren beerntet werden. Die Auspflanzung könnte zeitlich so gestaffelt werden, dass immer ein Teil der Anlage als Windschutz vorhanden ist. Es könnte auch überlegt werden, ob der Raum zwischen den Pappeln zusätzlich genutzt werden kann wie dies z.B. schon für die Hähnchenmast ausprobiert wurde. Dies soll nur ein Beispiel für noch nicht übliche Produktionen im Ackerbau sein – bitte auch für den eigenen Betrieb passende kreative Lösungen suchen!



Abb.19: Rasch wüchsige Energieholzpappeln auf Flugsandboden im Marchfeld (Quelle: Eitzinger et al., 2009)

Das Thema Klimawandel und Anpassungsstrategien kann in dieser Artikelserie nicht umfassend behandelt werden. Es wurde aber versucht, einige Hintergründe und beispielhaft einige Reaktionsmöglichkeiten in der Landwirtschaft aufzuzeigen. Es wird notwendig sein, dass jede Landwirtin und jeder Landwirtin die für den eigenen Betrieb passenden Lösungen sucht und auch umsetzt!

Weitere Hinweise können auch folgender Literatur entnommen werden:

APCC (2014), Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2.

Dieser Bericht ist auch kostenlos unter folgender Internetadresse abrufbar:

**<http://www.ccca.ac.at/de/apcc/>**

Viel Erfolg bei der Anpassung Ihres Betriebes an die Herausforderungen und Chancen des Klimawandels!

Willi Peszt