

Die Bedeutung des Klimawandels für den Pflanzenbau



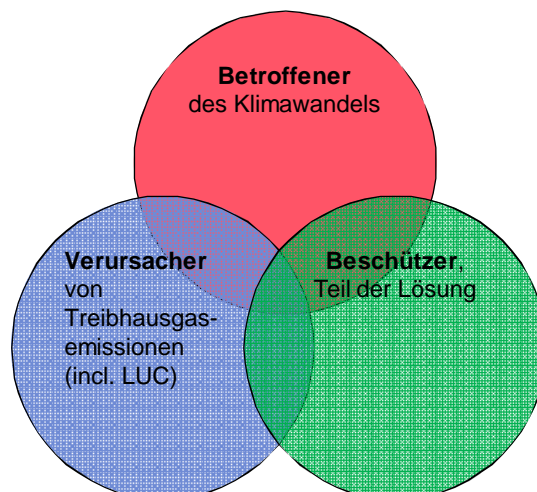
Quelle: Dr. H. Maier

Dr. Harald Maier
Deutscher Wetterdienst (DWD)
Leiter KU3 Weihenstephan

Email: Harald.Maier@dwd.de

Fortbildungstag der DMG München 24.11. 2017

Die Rollen der Landwirtschaft im Klimawandel



IPCC 2014: AR5, WGII:

- Effekte des Klimawandels auf Nahrungsmittelproduktion sind in einigen Regionen der Welt offensichtlich (hohes Vertrauen)
- Alle Aspekte der Nahrungsmittelsicherheit sind potentiell vom Klimawandel betroffen, einschl. Nahrungsmittel-Zugang, -Nutzung und Preisstabilität (hohes Vertrauen)
- Anpassungsmöglichkeiten in den am meisten betroffenen Regionen sind schwierig

Weitere Aspekte:

- Weltweiter jährlicher Ackerflächenverlust: ca. 10 Millionen Hektar. Starker Humusverlust.
- Weltbevölkerungswachstum, v.a. in Entwicklungsländern, erfordert eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion um 60% bis 2050
- 30 Pflanzenarten decken 95 %, 3 Pflanzenarten 50 % des Kalorienbedarfs der Weltbevölkerung
- Agrarsektor, insbesondere der Pflanzenbau, ist stark vom Klimawandel beeinflusst

Quellen: IPCC 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaption and Vulnerability. Part A. Contribution of Working Group II to AR5; diverse Quellen

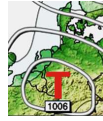


Ausgangslage bestimmt die Verwundbarkeit und Resilienz

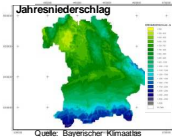
Verwundbarkeit = f(mögl. externe Störung; interne Empfindlichkeit und Bewältigungskapazität)
Resilienz = f(Ressourcen und Kapazitäten + Handlungsfähigkeit + Lernfähigkeit)



- Lage D und BY in der Westwindzone + Nähe zum Meer
 - gute Wasserversorgung
 - gemäßigte Temperaturen
 - Aber blockierende Hoch- und Tiefdruckgebiete



- Topographie (Alpen, Mittelgebirge, Becken)
 - kleinräumige, klimatische Strukturierung
 - Einzelereignisse (Föhn, Luv-Lee-Effekt)



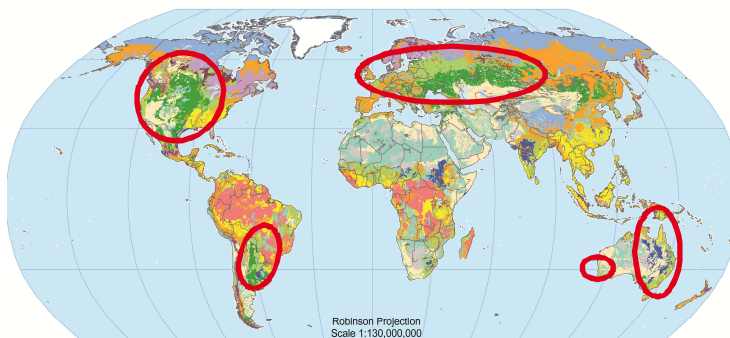
- Potential an Wettergefahren ist im weltweiten Vergleich gering (aber lokal Hagel; lokal bis regional Stürme, Überschwemmung, Fröste)



D, BY: i.a. günstiges Klima für Kulturpflanzen



Global Soil Regions



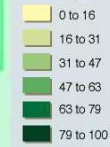
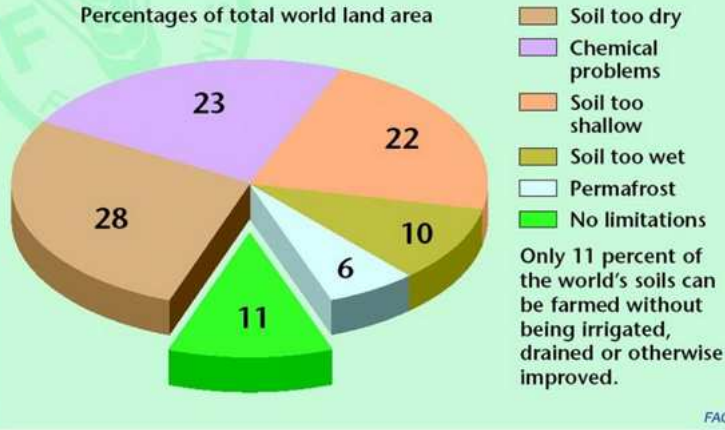
Soil Orders				
Alfisols	Entisols	Inceptisols	Spodosols	Rocky Land
Andisols	Gelisols	Mollisols	Ultisols	Shifting Sand
Aridisols	Histosols	Oxisols	Vertisols	Ice/Glacier





Soil limits agriculture

Percentages of total world land area



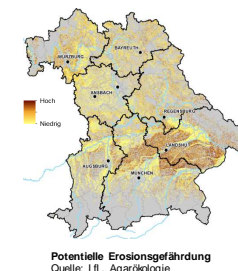
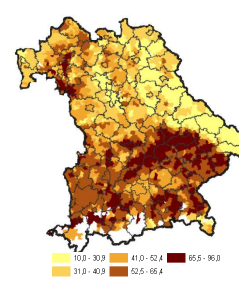
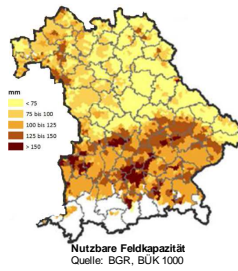
- Soil too dry
- Chemical problems
- Soil too shallow
- Soil too wet
- Permafrost
- No limitations

Only 11 percent of the world's soils can be farmed without being irrigated, drained or otherwise improved.

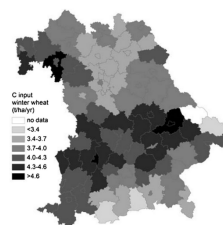
FAO

Quelle: ökosys

ildungsserver.de



- Bodenqualitäten im weltweiten Vergleich gut, aber räumlich variabel: Dürreanfälligkeit
- Topographie: Erosionsanfälligkeit Feuchte- und Temperaturunterschiede



Quelle: Wiesmeier, Maier et al., 2014, Nature Science Report





Pflanzen

Know-how, Technik

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



- Leistungsfähige Züchtung und Sorten
- Leistungsfähige Forschung
- Hervorragende technische Möglichkeiten
- Guter Ausbildungsstand
- Erfahrung mit variablen Klimabedingungen



Aber: Verwundbarkeit hat zugenommen:

- Verlust fruchtbarer Böden
- Konzentration auf wettbewerbsfähige Kulturarten



Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan

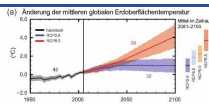
9

Relevante Änderungen für den Pflanzenbau (Auswahl)

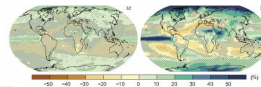
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



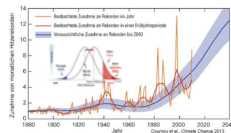
→ Höhere Durchschnittstemperaturen



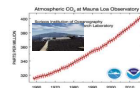
→ Veränderte Wasserverfügbarkeit



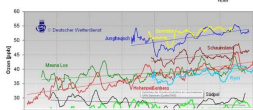
→ Mehr Wetterextreme



→ Höhere CO2-Konzentration in der Atmosphäre



→ Höhere Ozon-Konzentration in der Troposphäre



→ Indirekte Effekte: Kalamitäten, Bodendegradation (Erosion)

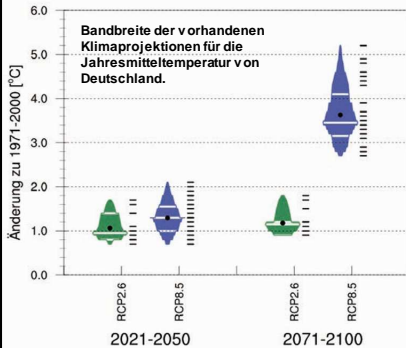


Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan

10

Temperaturänderung in Deutschland

Vergleichszeitraum 1971-2000; RCP 2.6 und 8.5



- für 2021–2050: +1,0 bis 1,3 °C
wenig Szenarien-abhängig
- für 2071–2100:
RCP2.6: +1,2 K; 2,6 K zu „Vorindustriell“
RCP8.5: +3,7 K [2,7;3,5] (-“-).
- **Regionale Unterschiede:**
im Süden stärker, v.a.in Alpen u.-vorland
- **Jahreszeitliche Unterschiede:**
Frühjahr etwas geringer sonst gleich hoch.
- Mehr **Temperaturextreme** (s. hohe Übereinstimmung)

Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen

	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	7,7 °C	8,1 °C	+0,9 °C	+1,1 °C	+1,0 °C	+2,9 °C
Sommer	16,3 °C	16,6 °C	+1,1 °C	+1,3 °C	+1,0 °C	+3,5 °C
Herbst	8,8 °C	8,7 °C	+1,2 °C	+1,5 °C	+1,2 °C	+3,9 °C
Winter	0,3 °C	0,8 °C	+1,1 °C	+1,6 °C	+1,2 °C	+4,0 °C
Jahr	8,2 °C	8,6 °C	+1,0 °C	+1,3 °C	+1,2 °C	+3,7 °C

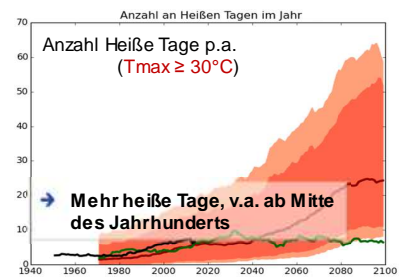
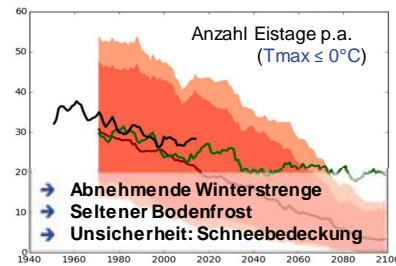
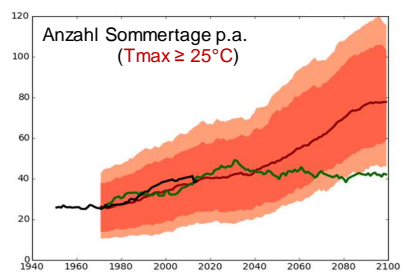
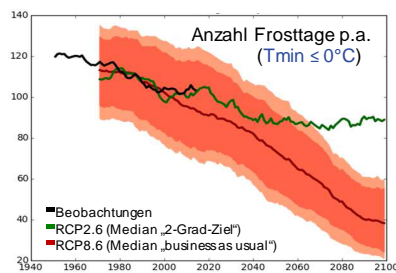
Quelle: Nationaler Klimareport, DWD, 2017



Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan

11

Änderung extremer Temperaturen



- Abnehmende Winterstrenge
- Seltener Bodenfrost
- Unsicherheit: Schneebedeckung

- Mehr heiße Tage, v.a. ab Mitte des Jahrhunderts



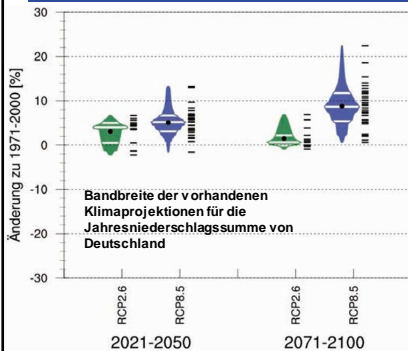
Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan

12

Niederschlagsänderung in Deutschland

Vergleichszeitraum 1971-2000; RCP 2.6 und 8.5

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



- für 2021-2050: Keine deutliche Änderung des Jahresniederschlags 5% [-2;+14]; Abweichung <10: innerhalb natürliche Klimavariabilität
- für 2071-2100: Zunahme des Jahresniederschlags 9%
- Zunahme von Niederschlägen > 10mm p.d.
- Mittlere Übereinstimmung bei allen Aussagen

Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe und erwartete Änderungen						
	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	186 mm	179 mm	+5 %	+8 %	+3 %	+13 %
Sommer	239 mm	234 mm	-2 %	±0 %	±0 %	-9 %
Herbst	183 mm	191 mm	+3 %	+4 %	±0 %	+7 %
Winter	181 mm	183 mm	+7 %	+7 %	+4 %	+17 %
Jahr	789 mm	788 mm	+3 %	+5 %	+2 %	+9 %

Quelle: Nationaler Klimareport, DWD, 2017

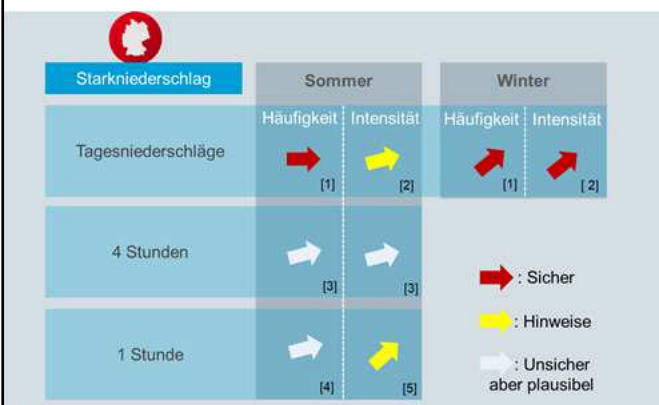


Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan

13

Änderung Starkniederschläge in Deutschland

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Quelle: Deuschländer, Delelane, Malitz, (alle DWD) 2015; persönliche Mitteilung

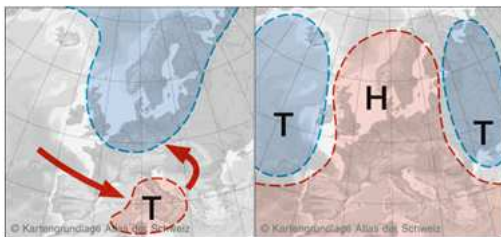
- Noch Wissens- und Datenlücken
- Starkniederschläge nicht immer Orographie-abhängig auf (neue Erkenntnisse durch RADOLAN)



14

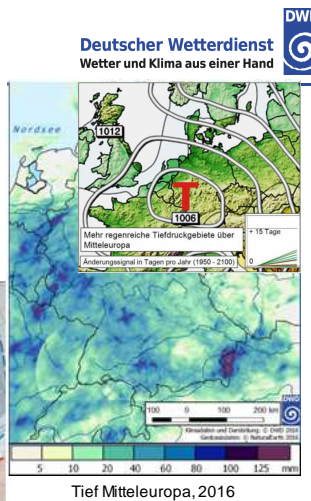
Bedeutung extremer Ereignisse

- Bei bestimmten Wetterlagen erhöht sich das Risiko von meteorologischen Extrema
- Zunahme Blockierender Wetterlagen
- Extremereignissen treten oft kleinräumig
- Vorbedingungen (z.B. Bodenfeuchte) oft entscheidend
- Kleinräumige Wechselwirkungen (Vegetation-Atmosphäre)



5b-Wetterlage, 2002,2010

Omegawetterlage, 2003,2015



Tief Mitteleuropa, 2016

Veränderung extremer Ereignisse:

- Extreme Ereignisse für das Pflanzenwachstum bei uns wichtiger als mittlere Änderungen
- Folgeabschätzung für Wachstum und Ertrag ist schwierig und erfordert höhere Auflösung der Klimamodelle



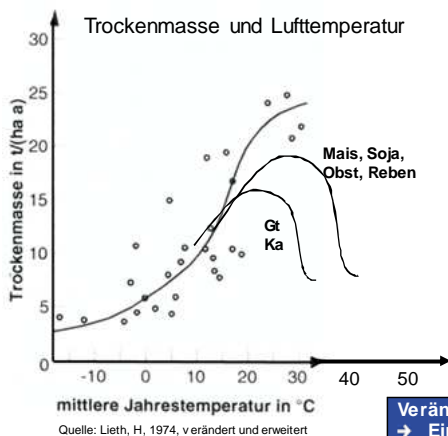
Bildquellen: www.naturwissenschaften.ch; Deutscher Wetterdienst

15



Direkte Wirkung höherer Temperaturen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Quelle: Lieth, H, 1974, verändert und erweitert

Kultur	T_{opt}	T_{Max}	Kältetoleranz
Weizen	17-23	30-35	4-6
Mais	25-30	32-37	12-15
Sojabohne	15-20	35	-
Kartoffel	15-20	25	8-10

Veränderung extremer Ereignisse:

- Einhalten des optimalen Temperaturbereichs einer Pflanzenart ist entscheidend
- Temperaturoptimum ist Entwicklungsstadien-abhängig



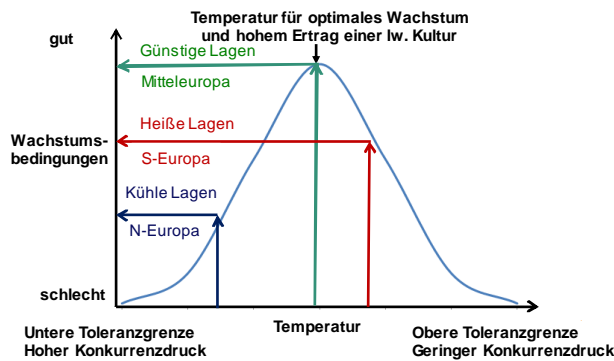
Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan 16



Direkte Wirkung höherer Temperaturen



Änderung der Durchschnittstemperaturen, Zunahme der Anzahl heißer Tage



Bei steigenden Temperaturen:

Kühle Regionen profitieren 😊

Heiße Regionen leiden 😞

Positive Wirkung:

- Förderung des Wachstums
- Verlängerung der Vegetationsperiode
- Verschiebung/Erweiterung von Anbauzonen

Negative Wirkung:

- Verkürzung von Entwicklungsphasen (Getreide etc.)
- Erhöhung der Atmungsverluste
- Erhöhung der Potentiellen Verdunstung
- Hitzestress (z.B. Blütenmortalität)

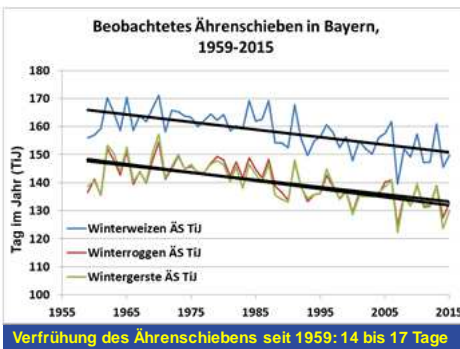
Quelle: nach Weigel, H.J., vTI



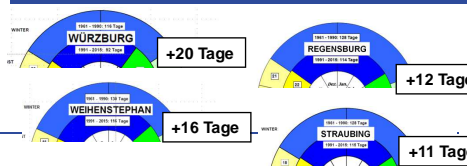
Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan



Direkte Wirkung höherer Temperaturen Verfrühung des Vegetationsbeginns



Regionale Unterschiede, Gebietsmittel:

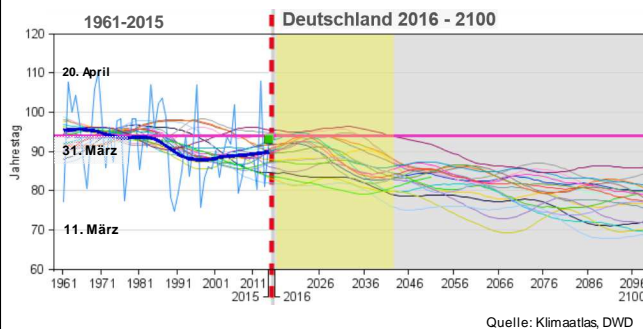


Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan



Direkte Wirkung höherer Temperaturen Verfrühung des Vegetationsbeginns

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Längerer Photosynthese-Zeitraum:
→ Ertragssteigerung bei Rüben und Grünland (frühere Saat, längere Nutzung) 😊
Aber:
→ Größerer Wasserverbrauch und Humusumsatz 😞
→ Verringerte Vernalisation
→ Spätfrostschäden wegen früher Enthärtung

Quelle: Klimaatlas, DWD



Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan 19



Schäden durch extreme Temperaturen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

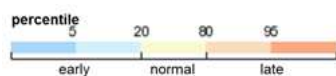


- sind abhängig von Pflanzenart, Sorte und Entwicklungsstadium (Vorentwicklung)
- treten oft kleinräumig auf (Kaltluftseenbildung etc.)
- benötigen nur kurze Einwirkungsdauer

Beispiel 1: Frost 2017

Ursache für die Schäden:
frühe phänologische Entwicklung + Enthärtung (durch Klimaänderung)

Mean dates of the phenological phase „beginning of flowering“	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Mean 1992-2016	Mean 2017	Difference days earlier
Sweet cherry Germany				📉	📊	18.04.	07.04.	11
Sweet cherry Bavaria				📉	📊	19.04.	08.04.	11
Sweet cherry Baden-Wuerttembg.				📉	📊	15.04.	03.04.	12
Apple Germany				📉	📊	28.04.	21.04.	7
Apple Bavaria				📉	📊	28.04.	19.04.	9
Apple Baden-Wuerttemberg				📉	📊	25.04.	14.04.	11



Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan 20



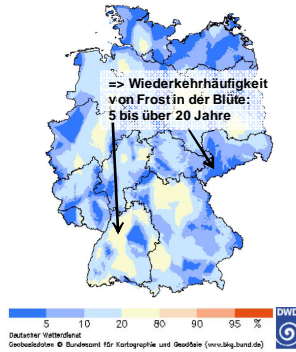
Schäden durch extreme Temperaturen



- sind abhängig vom Entwicklungsstadium
- treten oft kleinräumig auf (Kaltluftseenbildung etc.)
- benötigen nur kurze Einwirkungsdauer

Beispiel 1: Frost 2017

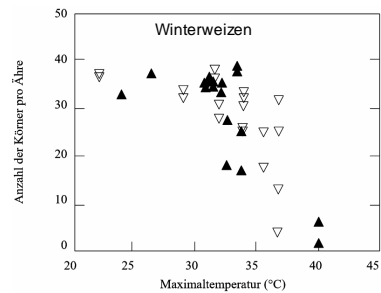
Wahrscheinlichkeit für das Unterschreiten von minus 3 °C von Blühbeginn bis 20. Mai



Beispiel 2: Blütenschäden

Anzahl Körner pro Ähre bei halbstündigem Temperaturmaximum in den letzten 5 Tagen vor Anthese

▲ Erhöhte CO₂-Konzentration



Schäden durch veränderte Wasserversorgung



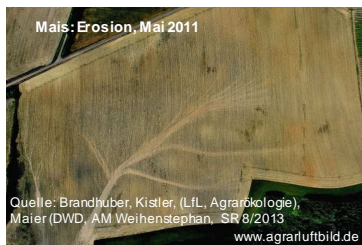
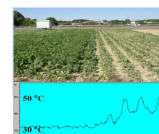
Wasserüberschuss (Winter):

- Hochwasserschäden
- Staunässe
- Erosion



Wassermangel (Sommer):

- Trockenschäden
- Hitzeschäden
- Widerstandsfähigkeit, Disposition

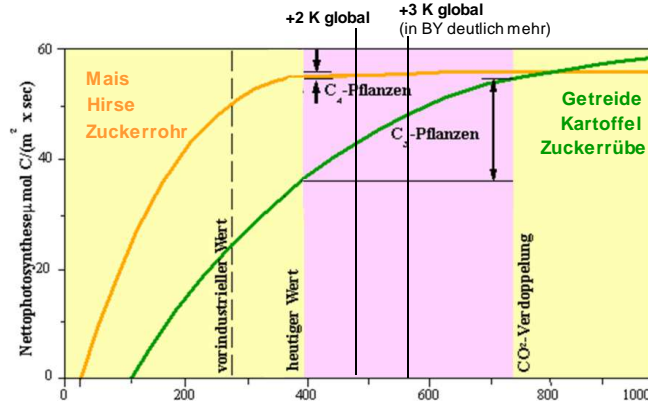




Direkte Wirkung erhöhter Kohlendioxidkonzentration

😊 Positive Effekte

- ➔ Mehr Photosynthese -> mehr Wachstum -> mehr Ertrag (5 bis 20%)
(pflanzenartsspezifisch, v.a. C3-Pflanzen)



😊 Positive Effekte

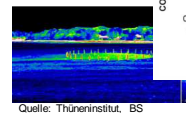
- ➔ Mehr Photosynthese -> mehr Wachstum -> mehr Ertrag (5 bis 20%)
(pflanzenartsspezifisch, v.a. C3-Pflanzen)
- ➔ Höhere Ressourceneffizienz
(Wasser, WUE, Nährstoffe, Licht)
- ➔ Größere Stresstoleranz (Trockenheit, Versalzung...)

☹️ Negative Effekte:

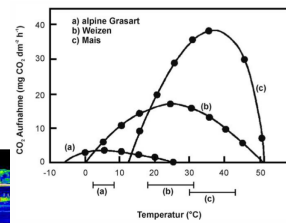
- ➔ Erhöhte Bestandestemperaturen (Stomataöffnung)
- ➔ Änderung der stofflichen Zusammensetzung des Gewebes
(geringere Proteingehalte in Grünland und Weizen)

🟡 Unsicherheiten:

- ➔ FACE-Experimente kaum in niederen Breiten
- ➔ Wirkung stark von bestimmten Randbedingungen abhängig (Temperatur, Nährstoffe etc.)
- ➔ Höhere CO₂-Konzentration oft von erhöhter troposphärischer O₃-Konzentration begleitet



Quelle: Thüneninstitut, BS





Indirekte Wirkungen Biotische Kalamitäten



Grundsätzlich gilt:

Aussagen über die Wirkung der Klimaänderung auf die Wechselwirkung zwischen Pflanzen, Schädlingen und deren Antagonisten („Nützlingen“) sind hoch komplex und schwer projektierbar.

- **Zunahme pflanzenschädigender Insekten (wärmeliebend):** Virusübertragende Blattläuse, Thripse, Zikaden, Kartoffelkäfer, Borkenkäfer...



- **Zunahme wärmeliebender Pilzkrankheiten,** wie Braun- und Gelbrost



- **Abnahme von feuchtebedürftigen Pilzkrankheiten,** wie Septoria, Phytophthora



- **Zunahme wärmeliebender, trockenoleranter und tiefwurzelnder Unkräuter,** wie Quecke, Ampfer,



- **Etablierung „fremder“ Arten, Verlust heimischer Arten (Neophyten, Neozoen)**



Indirekte Wirkungen: Wirkung auf Böden



Eigenschaft bzw. Prozess	Erhöhte CO ₂ -Konzentration	Erhöhte Temperaturen	Trockenheit	Extreme Niederschläge
Biologische Aktivität	Mehr Wurzel- und Ernterückstände fördert Bodenleben	Verlust - von C _{org} - durch beschleunigtem Stoffumsatz und Respiration - von phytosanitärer Wirkung	Beeinträchtigung von Bodenbiologie und Stoffumsatzprozessen	Verschieden, je nach Häufigkeit
Organische Bodensubstanz	Höherer Gehalt an C _{org} Humusqualität	Abnehmender Humusgehalt durch Ertragsrückgänge, Seltener Frostgare	C-Akkumulation	Erodierbarkeit; Verschlechterung Humusqualität
Bodenstruktur	Mehr stabile Bioporen (Regenwurmrohren, Wurzelgänge) bessere Bearbeitbarkeit, Wasserführung	Verdichtungsgefahr Bei Verlust organischer Substanz	Geringeres Verdichtungsrisiko durch Bewirtschaftung, Wasseraufnahmefähigkeit, Schrumpfungsrisse -> verändert Makroporosität	Mehr Erosion -> Kolluvien + Ton-Kappen; Verschlammung, Verdichtung, reduzierte Bearbeitbarkeit
Bodenfeuchte, Wasserbilanz	Bessere WUE vs. Höhere Biomasseproduktion	Erhöhte EPT -> Weniger GW-Vorrat Humusverlust -> verringerter Wasserspeicherfähigkeit	Geringerer Bodenfeuchtegehalt und Grundwasserspeicher	Zeitweiser BW-Überschuss (Nstoff-Auswaschung) Erhöhung der horizontalen Variabilität



Einfluss des Pflanzenwachstums auf den C-Kreislauf; Beteiligung wichtiger Prozesse

- Starker Einfluss der **Standortbedingungen für die Ausnutzung von atmosphärischen CO₂**:

Wasserverfügbarkeit

- o Wasserkreislauf mit dem Kohlenstoffkreislauf gekoppelt,
Bsp.: Wasser und C-Austausch über Stomata



Temperatur.-Anstieg -> höherer Verdunstung -> mehr Trockenheit
CO₂-Anstieg -> Spaltöffnungsverengung -> Verdunstungsverringerung } Weniger C-Aufnahme

- o Wasserspeicherkapazität der Böden, Wurzelverteilung, Trockenstresstoleranz der Vegetation sehr variabel

N-, P-, S-Verfügbarkeit (Kreisläufe) begrenzt Ausnutzung von atmosphärischem CO₂

Sonnenstrahlung: diffuser und direkter Anteil beeinflusst Photosynthese, hängt von der Bewölkung, letztlich vom Aerosolgehalt ab

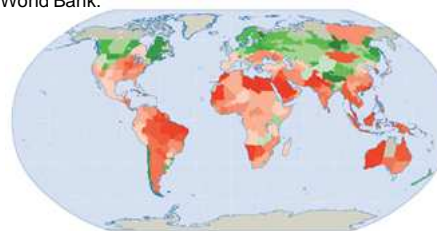
- **Extremereignisse:** Zeitpunkt und Stärke (Hitzestress, Frost zur Blüte), Stürme, Brände (langfristige Folgen für C-Kreislauf) konkrete Abfolge von Wetterereignissen (Vernalisation),.

- Auftreten von **biologischen Kalamitäten**.



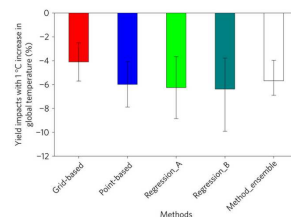
Ertragsänderung: Weltweite Abschätzungen

- Müller et al., 2009, World Development Report 2010, World Bank: Ertragszuwächse vor allem in den nördlichen mittleren und höheren Breiten



Änderung der Erträge in Prozent zwischen 2010 und 2050
 -50 -20 0 +20 +50 +100 Quelle: World Bank (2010)

- Liu et al., 2016, Nature: Pro 1 Grad globaler Temperaturerhöhung reduziert sich der weltweite Weizenertrag um 4,1 bis 5,4 % ohne CO₂-Düngungseffekt

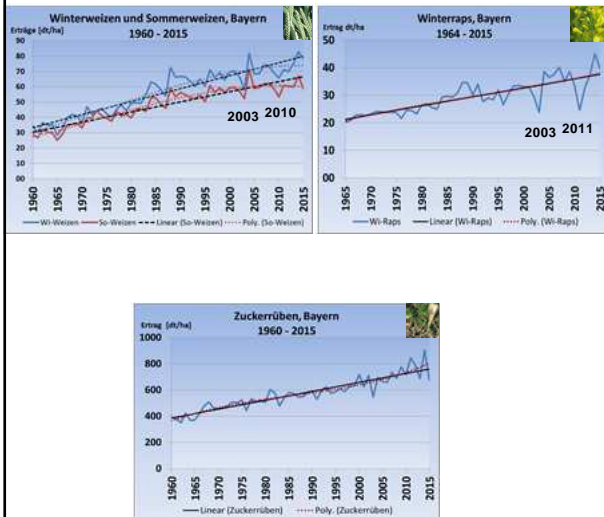


Erträge

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Landwirtschaft



Ertragszuwächse bei landwirtschaftlichen und forstlichen Kulturen (Stagnation, zunehmende Variabilität?), aber:

- 1) Ertragszuwächse nur in Beständen, die abiotische und biotische Kalamitäten infolge des Klimawandels überstanden haben
- 2) Mittlerer Temperaturanstieg von 2 bis 4 Grad könnte in vielen Regionen das Temperaturoptimum derzeitiger Kulturpflanzen übersteigen
- 3) Ertragsrückgang und hohe Temperaturen würden auch zu weniger C-Input im Boden führen



Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan

29

Fazit:



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



- Die agrarmeteorologischen Komponenten Klima, Böden, Pflanzenbestände bestimmen direkt und indirekt (Aufreten von Krankheiten, Schädlingen und Konkurrenzpflanzen) Wachstum und Ertrag.
- Sie reagieren verschieden und unterschiedlich schnell auf Änderungen und wechselwirken miteinander.
- Die Verwundbarkeit und Resilienz des Pflanzenbaus hängen von den Standortbedingungen / der Ausgangslage (Böden, Klima, produktionstechnische Möglichkeiten, Wissen, Erfahrung) und den angebauten Pflanzenarten ab. Im weltweiten Vergleich profitiert Deutschland von einer geringen Verwundbarkeit und großer Resilienz bei sehr hohem Ertragsniveau.
- Der Temperaturanstieg führt zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode und c.p. zu mehr Wachstum. Die Erträge wichtiger Ackerkulturen könnten jedoch unter den für Ende des Jahrhunderts projizierten Bedingungen (RCP 8.5, Mitteltemperatur > 3°C) bedroht sein.
- Das größte Risiko stellt die Häufung von Extrema infolge steigender Temperaturen und verändertem Niederschlagsverhalten dar. Dadurch können sich auch in Deutschland die räumlichen und zeitlichen Ertragsschwankungen vergrößern. Kleinräumige (schwer projektierbare) Ereignisse treffen auf kleinräumige Unterschiede und erschweren quantitative Abschätzungen..
- Der Kohlendioxid-Düngungseffekt wird negative Klimawirkungen wie Wassermangel abmildern bis überkompensieren und c.p. regional Ertragssteigerung bewirken, wobei mit einer Abnahme der Qualität der Ernteprodukte zu rechnen ist. Erkenntnislücken führen zu Unsicherheiten.
- Die Abschätzung zukünftiger Erträge und ihre Attribution zur Klimaänderung ist schwierig, wegen der großen Unterschiede und Einflussfaktoren auf kleinräumiger Basis sowie der komplexen biotischen und abiotischen Wechselwirkungen.



Dr. Harald Maier, DWD, Agrarmeteorologie Weihenstephan 30