DIE AUSWIRKUNGEN EINER KLIMAÄNDERUNG AUF DEN WASSERHAUSHALT VON KULTURPFLANZEN BEI UNTERSCHIEDLICHEM BODENWASSERSPEICHERVERMÖGEN

J. Eitzinger1, V. Alexandrov1, E. Klaghofer2 und M. Oberforster3

1 - Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie and Physik,

18 Türkenschanzstrasse, A-1180 Wien, Tel : (+43) 1/ 470 58 20 34,

Fax: (+43) 1/ 470 58 20 60, E-mail: vesko@tornado.boku.ac.at; sepp@tornado.boku.ac.at

2 - Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt,

A-3252 Petzenkirchen, Tel : (+43) (0)7416/ 521080

3 - Institut für Pflanzenbau, Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft,

191 Spargelfeldstrasse, A-1226 Wien, Tel: (+43) 1/ 732 16 4196,

Fax: (+43) 1/ 732 16 4211, E-mail: moberforster@bfl.at

EINLEITUNG

Viele bisherige Studien haben die Auswirkungen einer Klimaänderung auf die landwirtschaftliche Produktion in Europa in verschiedenen räumlichen Scales und unter verschiedenen Aspekten untersucht *(z.B. Downing et al., 2000; Dubrovsky et al., 2000, Harrison et al., 1995; Harrison and Butterfield, 1995; IPCC, 1997; Rosenzweig and Iglesias, 1994; Sathaye et al., 1997; Sirotenko et al., 1997; Watson et al., 1996; Wolf and VanDiepen, 1995)*. Für Österreich gibt es derartige Studien, abgesehen von standortspezifischen Untersuchungen *(z.B. Eitzinger et al., 2000),* bisher nur in einem relativ großen räumlichen Scale als Teil gesamteuropäischer oder überregionaler Studien *(z.B. Downing et al., 2000; Harrison et al., 1995).* Dabei sind die verwendeten Ertragsmodelle oft nicht für die spezifischen Standortbedingungen im kleinen Scale validiert und kalibriert, die Eingabedaten stellen nur Durchschnittswerte über große Regionen dar und die in Österreich oft hohe Variabilität in den Klimabedingungen, bei den Böden oder den Bewirtschaftungsmethoden innerhalb der Regionen sind nicht berücksichtigt. Daraus können sich jedoch signifikante Abweichungen der Ergebnisse auf regionaler Basis ergeben *(Mearns et al, 1999).*

Das Ziel eines Projektes war es deshalb, den Einfluss von Klimaänderungen auf die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion (siehe Beitrag "Auswirkungen einer Klimaänderung auf Agrarökosysteme in ausgewählten landwirtschaftlichen Produktionsgebieten in Österreich" der "DACH 2001") und des damit verbundenen Wasserhaushaltes von Pflanzenbeständen in einem relativ kleinen räumlichen Scale zu

untersuchen. Für die Studie über den Wasserhaushalt, deren ersten Ergebnisse im folgenden kurz dargestellt werden, wurden beispielhaft einige Stationen in 3 wichtigen landwirtschaftlichen Produktionsregionen ausgewählt - im Nordosten (in Niederösterreich), im Nordwesten (in Oberösterreich) und im Südosten (in der Steiermark) Österreichs.

Der Zustand und die Art des Bodens spielt für den Wasserhaushalt eines Pflanzenbestandes eine zentrale Rolle. Klimaänderungen und Änderungen in der Klimavariabilität (wie z.B. der zeitlichen Niederschlagsverteilung), des Verdunstungspotentials oder die Häufigkeit extremer Witterungsereignisse (wie z.B. häufigere und längere Trockenperioden) können sich demnach in Abhängigkeit vom Bodenwasserspeichervermögen unterschiedlich auf das Produktionspotential von Kulturpflanzen auswirken. In dieser Studie wird unter Nutzung validierter Pflanzenwachstumssimulationsmodelle (DSSAT, WOFOST) untersucht, wie stark sich eine potentielle Klimaänderung auf den Wasserhaushalt einiger wichtiger Kulturpflanzen auswirkt. Eine Sensitivitätsanalyse beschreibt die möglichen Auswirkungen einer Änderung in der Klimavariabilität, während mit Hilfe von GCM's die lokalen Auswirkungen von einigen Klimaänderungsszenarien abgeschätzt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass bei großen Unterschieden und räumlicher Variabilität des Bodenwasserspeichervermögens (wobei in unserem Falle die nutzbare Bodenwasserspeicherkapazität von ca. 100 mm bis ca. 400 mm variiert) sich ein relativ großer Einfluss dieses Parameters auf den Wasserhaushalt unter veränderten Klimabedingungen ergibt. Trockenperioden verursachen auf leichten Böden mit niedriger Wasserspeicherfähigkeit naturgemäß früher und höheren Wasserstress für Kulturpflanzen als auf schwereren Böden. Eine Erhöhung des Pflanzenwasserverbrauchs durch größeres Verdunstungspotential oder eine Änderung in der Niederschlagsverteilung durch Klimaänderung zeigte daher besonders auf den leichten Böden unseres Untersuchungs- und Klimagebietes (Stationen in Oberösterreich und der Steiermark) Auswirkungen.

Andere Faktoren eines veränderten Klimas, wie der direkte CO_2-Effekt oder eine Temperaturerhöhung können in Abhängigkeit der Pflanzenansprüche die durch den Wasserhaushalt alleine verursachten Einflüsse jedoch stark modifizieren (wie z.B. direkt durch verbesserte Wassernutzungskoeffizienten oder indirekt durch eine verkürzte Vegetationsperiode). Im Rahmen der Produktionstechnik kommt den Komponenten des Wasserhaushaltes, insbesondere der aktuellen Evapotranspiration eine wichtige Rolle zu, da diese relativ kurzfristig modifiziert werden kann. Insbesondere gewinnen in diesem Zusammenhang wassersparende Produktionstechniken, wie reduzierte Bodenbearbeitung und der Einsatz von Mulchdecken, sowie eine entsprechende Fruchtfolge an Bedeutung.

MATERIAL UND METHODE

Beschreibung der Regionen, der zugrundeliegenden Boden- und Feldversuchsdaten und der verwendeten Klimaszenarien

Dies ist im ersten Beitrag "Auswirkungen einer Klimaänderung auf Agrarökosysteme in ausgewählten landwirtschaftlichen Produktionsgebieten in Österreich" der "DACH 2001" (Alexandrov et al.) ausführlich dargestellt.

Die Pflanzenwachstumsmodelle CERES und WOFOST und deren Simulation des Wasserhaushaltes

Das dynamische Modell **CERES** für Getreidearten ist ein Teil des Programmsystems “Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) *(Tsuji et al., 1998)*. Das Modell nutzt ein Minimum an Eingabedaten (Bodenbeschreibung, tägliche Wetterdaten, Produktionstechnik) um das System Boden-Pflanze-Klima zu simulieren. Als Wetterdaten kommen die täglichen Minimum- und Maximumtemperaturen, Globalstrahlung und Niederschlag zur Eingabe. Das Modell berechnet detailliert und in täglichen Zeitschritten die Phänologie und die Physiologie der Pflanzen und andere Parameter die den Pflanzenbestand charakterisieren und Rückkoppelungen zu den physiologischen und physikalischen Vorgängen im Pflanzenbestand haben (z.B. Blattflächenindex, Bestandeshöhe und -dichte). Zusätzlich kann optional der Boden- und Pflanzenwasserhaushalt sowie der Nährstoffhaushalt des Bodens und der Pflanzen im Detail simuliert werden.

Die Simulation des Wasserhaushaltes im CERES Modell ist folgend kurz dargestellt : Die potentielle Evaporation wird im CERES Modell standardmäßig mit einer modifizierten Form der Priestley-Taylor Gleichung berechnet *(Ritchie in Tsuji et al., 1998)*. Unter Berücksichtigung der täglichen Extremtemperaturen, der Strahlung (und der berechneten Strahlungsbilanz am Tag), der Albedo, und des Blattflächenindexes wird zuerst eine Gleichgewichtsverdunstungsrate berechnet. Daraus wird schließlich die potentielle Evaporation, unter bestimmten Randbedingungen durch Multiplikation mit dem Faktor 1.1, errechnet (Berücksichtigung des Sättigungsdefizites, unter der Annahme dass die aerodynamische Komponente proportional zur Nettostrahlungsenergie ist). Die sogenannte potentielle Bodenevaporation wird aus der Gleichgewichtsverdunstungsrate unter Berücksichtigung des Blattflächenindexes und die aktuelle Bodenevaporation unter zusätzlicher Berücksichtigung der parametrisierbaren Bodenabtrocknung berechnet. Anschließend wird der Wassergehalt der oberen Bodenschichten berechnet bzw. der kapillare Aufstieg unter Annahme einer bestimmten Diffusionsrate. Die potentielle Pflanzenevaporation wird in ähnlicher Weise wie die Bodenevaporation zum Blattflächenindex in Bezug gesetzt. Die Wasseraufnahme durch die Wurzeln wird unter Berücksichtigung des Boden-, und Wurzelwiderstandes und des atmosphärischen Potentials berechnet. Das pflanzenverfügbare Bodenwasser berechnet sich aus dem Gesamtbodenwassergehalt und den jeweiligen Welkepunkten der verschiedenen Bodenschichten. Zusätzlich zu den Bodenwasserbilanzparametern wird ein Wasserstressfaktor bestimmt, der sich aus dem Verhältnis von potentieller Wasseraufnahme durch die Wurzeln und potentieller Transpiration ergibt. Die potentielle

Transpiration und Biomassebildung wird um diesen Faktor proportional reduziert. Ein zweiter Wasserstressfaktor, für andere noch wasserstressempfindlichere physiologische Prozesse als die Stomataregulierung wird zusätzlich im Modell verwendet. Zur Berechnung der potentiellen Verdunstung kann auch die Hargreaves-Formel optional verwendet werden *(Hoogenboom et al., 1999).*

Alle DSSAT Modelle berücksichtigen auch den Effekt einer erhöhten CO_2-konzentration auf die Photosynthese und den Effekt eines damit verbundenen erhöhten Wassernutzungskoeffizienten bzw. verringerten Transpiration. Diese empirisch berücksichtigten Effekte beruhen auf einer Reihe von Feldversuchen mit verschiedenen CO_2-konzentrationen und Lichtintensitäten im Tagesverlauf *(z.B. Hoogenboom et al., 1995; Tsuji et al., 1998)*. Der stomatäre Widerstand wird in dieser Weise als eine Funktion des CO_2-gehaltes der Luft beschrieben. Erhöhte CO_2- konzentration verringert so die Verdunstung pro Blattflächeneinheit. Die saisonale Evapotranspiration eines Pflanzenbestandes wird jedoch auch durch die vorhandene Blattmasse beeinflusst, bzw. kann bei vermehrter Biomassebildung (durch erhöhte Assimilation bei höherem CO_2-gehalt) wieder kompensiert werden *(z.B. Tsuji et al., 1998).*

Das dynamische Pflanzenwachstumsmodell **WOFOST** (WOrld FOod STudies) *(Supit et al., 1994; Van Diepen et al., 1989)* wird in unserer Studie als Vergleichsmodell zu DSSAT verwendet. Dieses Modell wurde vom DLO-Winand Staring Centre and Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility in Wageningen *(Boogaard et al., 1998)* entwickelt. In ähnlicher Weise, aber mit spezifischen Unterschieden zu den DSSAT Modellen wird das System Boden-Klima-Pflanze im Detail beschrieben. Wie auch beim DSSAT Modell, werden physiologische Vorgänge, mikroklimatische Bedingungen und deren Rückkoppelung zum Pflanzenbestand (z.B. Lichtinterzeption, Blattflächenindex und Photosynthese), der Boden- und Pflanzenwasserhaushalt in täglichen Zeitschritten beschrieben. Der Einfluss von Stressfaktoren, wie z.B. Wassermangel auf verschiedene physiologische Vorgänge wird empirisch berücksichtigt, wie auch der Einfluss einer erhöhten CO_2-konzentration die maximale Photosyntheserate eines Blattes verändert. Die verschiedenen physiologischen Vorgänge und der Einfluss von Temperatur, Strahlung oder Tageslänge wird in Form von pflanzenspezifischen Funktionen beschrieben, die in hierarchischer Weise miteinander in Bezug gesetzt werden. Eine zentrale Funktion ist z.B. die Biomasseverteilung in Abhängigkeit vom phänologischen Stadium.

Das WOFOST Modell arbeitet auf drei sog. Produktionslevels, mit unterschiedlichen limitierenden Wachstumsfaktoren. So wird im ersten Level die Wasserversorgung als optimal angenommen (potentielle Produktion), während im zweiten Level auch der Boden- und Pflanzenwasserhaushalt simuliert wird (Feldbedingungen oder aktuelle Produktion). Im dritten Level wird schließlich auch der Nährstoffhaushalt simuliert.

Die Simulation des Wasserhaushaltes im WOFOST Modell ist folgend kurz dargestellt: Im WOFOST Modell wird die potentielle Transpiration nach Penman (1956), modifiziert nach Frere und Popov (1979) für eine Referenz-Pflanzenbestand unter Berücksichtigung des

Blattflächenindexes berechnet, mit Korrekturfaktoren für mehr wassersparende oder wasserverbrauchende Pflanzen. Für eine bestimmte Pflanzen/Bodentyp Kombination schließlich wird eine Funktion zwischen dem Verhältnis von aktueller und potentieller Transpiration zum Bodenwassergehalt zur Bestimmung der aktuellen Transpiration verwendet. Die Bodenwasserbilanz bei WOFOST wurde bei unserer Studie unter Annahme eines frei dränenden Bodens ohne Grundwassereinfluss simuliert, wobei das einfache Prinzip der Kaskade zur Anwendung kommt (Bei Bodenwasserzunahme Auffüllung der jeweiligen oberen Bodenschicht bis zur Feldkapazität, dann folgt erst die darunterliegende Bodenschicht usw.). Die simulierten Bodenwasserbilanzparameter umfassen Oberflächenspeicherung, Abfluss, Evaporation, Transpiration der Kulturpflanzen und Drainage.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Modellvalidierungen

Die Ergebnisse der Modellvalidierungen der in dieser Studie verwendeten Pflanzenwachstumsmodelle sind im Beitrag "Auswirkungen einer Klimaänderung auf Agrarökosysteme in ausgewählten landwirtschaftlichen Produktionsgebieten in Österreich" der "DACH 2001" ausführlich dargestellt. Sie zeigen im allgemeinen eine zufriedenstellende Repräsentativität der Modellergebnisse für die ausgewählte Region.

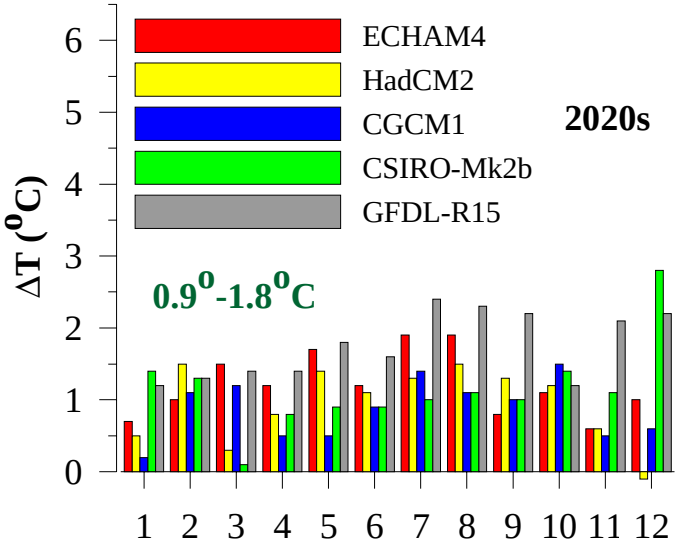
Klimaänderungszenarien

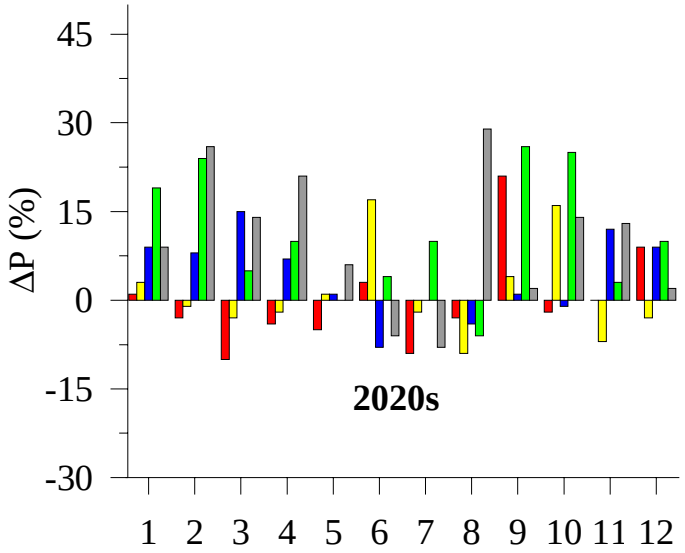
Die Abweichungen der Klimamodelle zu den 30-jährigen gewichteten Mitteln von den Wetterstationen in den ausgewählten Regionen wurden analysiert. Alle Klimamodelle über- oder unterschätzten dabei die mittleren Monatswerte der Temperatur und des Niederschlags zu einem gewissen Grad. Die regionalen Szenarien wurden erstellt, indem die Differenzen der zukünftigen Klimaszenarien der Klimamodelle (30-jährige monatliche Mittel von Temperatur und Niederschlag) zum 1961-1990 30-jährigen simulierten Mittel zu den 30-jährigen monatlichen Mitteln der Messwerte addiert wurden. Dabei wurden bei der Temperatur Absolutwerte und beim Niederschlag und der Strahlung Relativänderungen angegeben.

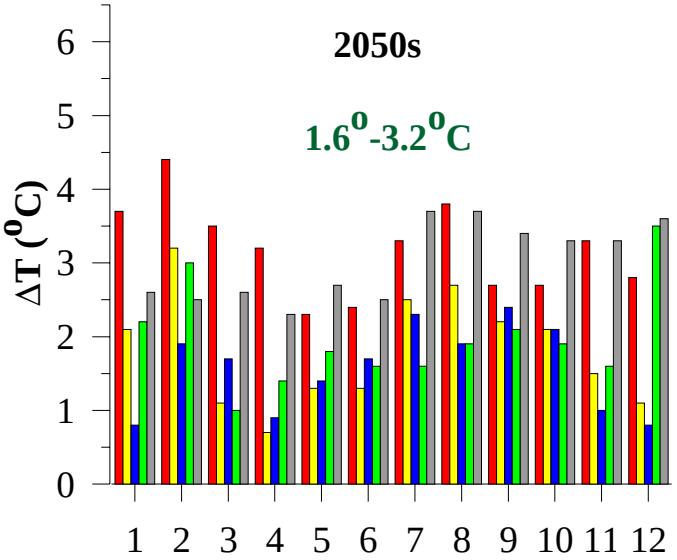
Nach den Ergebnissen dieser regionalen Szenarien steigen die Temperaturen in den 2020er Jahren (das Jahr 2020 stellt den Medium aus dem 30-jährigen Mittel dar) zwischen 0.9°C (HadCM2 in Niederösterreich und der Steiermark; CGCM1 in Niederösterreich und Oberösterreich) und 1.8°C (GFDL-R15 in Oberösterreich und der Steiermark). Eine weitere Steigerung wird für die 2050er und 2080er errechnet (zwischen 1.6°C (CGCM1 in allen Regionen) und 3.2°C (ECHAM4 in Oberösterreich) in den 2050ern und zwischen 2.9°C (CSIRO-Mk2b in Oberösterreich) und 4.9°C (ECHAM4 in Oberösterreich) in den 2080ern) (Abb. 1). Alle Klimamodelle zeigen eine höhere Temperaturzunahme während des Winters und Sommers als in den Übergangszeiten.

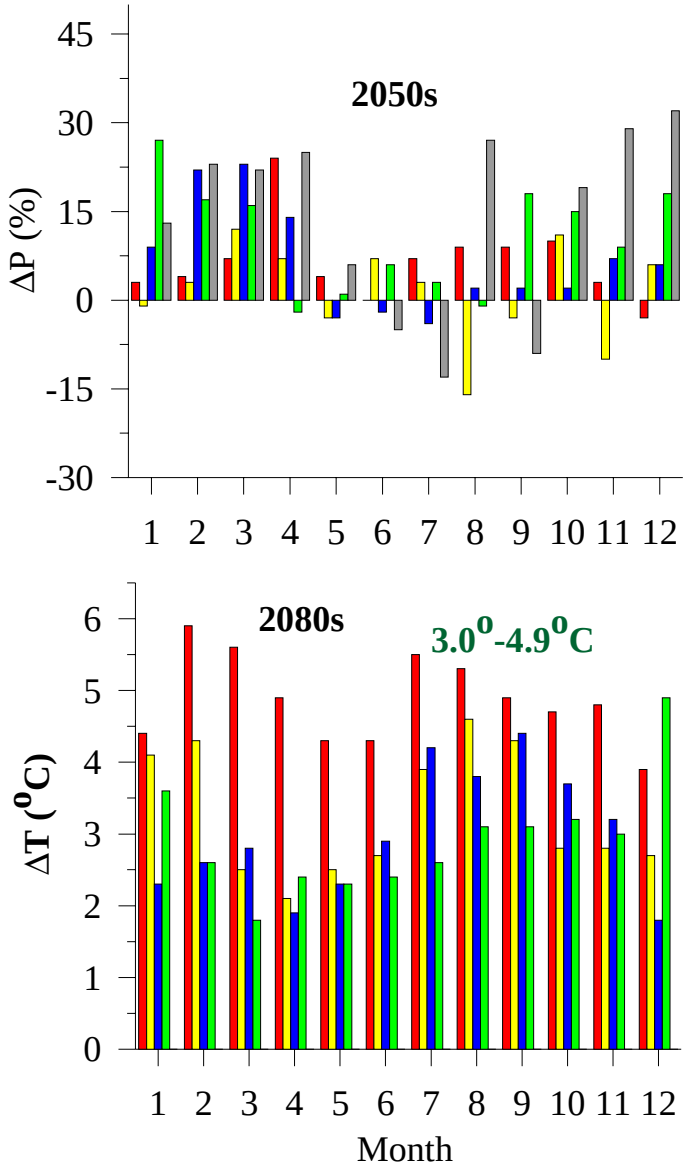
Der Niederschlag wird im wesentlichen in den 2020ern von den Modellen höher angegeben, obwohl während des Sommers auch

leichte Abnahmen im Niederschlag angezeigt werden. In den 2050ern und 2080ern wird eine Zunahme der Niederschläge während der kalten Jahreszeit und eine leichte Abnahme während der warmen Jahreszeit (insbes. vom CGCM1 modell) (Abb. 1) simuliert. Die modellierten Änderungen in der Globalstrahlung bewegen sich im Rahmen von -±10% während des 21. Jahrhunderts.









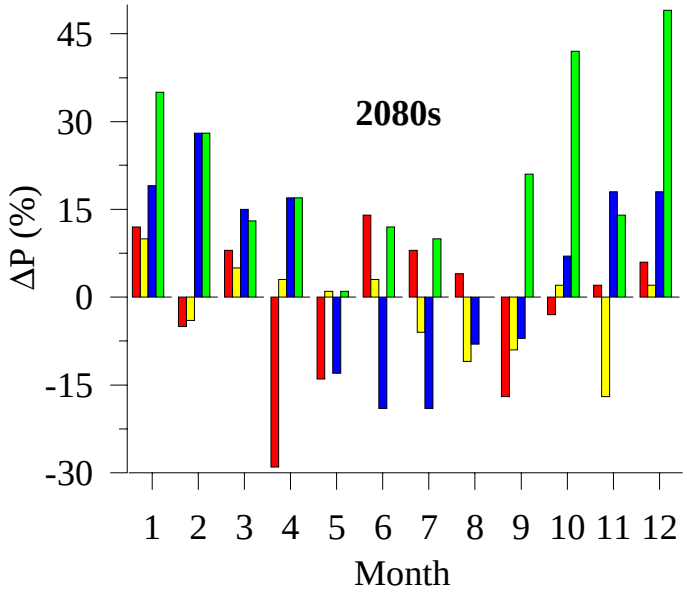


Abb. 1. Ergebnisse der regionalisierten Klimamodelle für Temperatur (T) und Niederschlag (P) in den 2020ern, 2050ern und 2080ern in Oberösterreich

Sensitivitätsanalyse von Klimaparametern auf die simulierte Evapotranspiration

Es ist wichtig, bei der Beurteilung des Einflusses einer Klimaänderung auf den Wasserverbrauch der Kuturpflanzen entsprechende Änderungen in der Länge der Vegetationsperiode zu berücksichtigen. Das Wachstum der Pflanzen reagiert sehr sensibel auf die Witterung während der Vegetationsperiode. Fast alle physiologischen und biochemischen Vorgänge in der Pflanze werden von der Temperatur beeinflusst, vor allem die biochemische Reaktionsgeschwindigkeit. Eine Erwärmung beschleunigt daher die phänologischen Abläufe und das Pflanzenwachstum, solange keine Stresssituationen auftreten. Im Durchschnitt simulierten die

Pflanzenwachstumsmodelle in allen Regionen bei einer Zunahme der Temperatur um 0.5°C bei Winterweizen und Sommergerste eine um 2 bis 4 Tage verkürzte Vegetationsperiode. Bei einer Erwärmung um 2°C wird eine um 11-15 Tage (Winterweizen) bzw. eine um 6-11 Tage (Sommergerste) frühere Reife simuliert (Details siehe ersten Beitrag).

Abb. 2 zeigt am Beispiel des Winterweizens eine Sensitivitätsanalyse für zwei Böden mit unterschiedlichem Bodenwasserspeichervermögen für die mit dem CERES Modell simulierte Evapotranspiration an zwei verschiedenen Standorten. Dabei wurden stufenweise Änderungen bei der Temperatur und beim Niederschlag vorgenommen. Es zeigt sich deutlich, dass unter den gegebenen Klimabedingungen (Hohenau, Niederösterreich) und einem Boden mit hohem Bodenwasserspeichervermögen, trotz verkürzter Vegetationsperiode, im wesentlichen nur die Temperaturerhöhung im gegebenen Rahmen eine Steigerung der simulierten Evapotranspiration bewirkte. Hingegen spielt auf einem Boden mit relativ niedrigem Bodenwasserspeichervermögen (Rohrbach, Oberösterreich) auch die Niederschlagsänderung im Rahmen von max. 20 % eine wichtige Rolle für die Evapotranspiration. Bei leichten Böden mit sehr niedriger Bodenwasserspeicherfähigkeit zeigte sich daher auch eine simulierte starke positive Ertragsentwicklung bei erhöhten Niederschlägen (siehe ersten Beitrag).

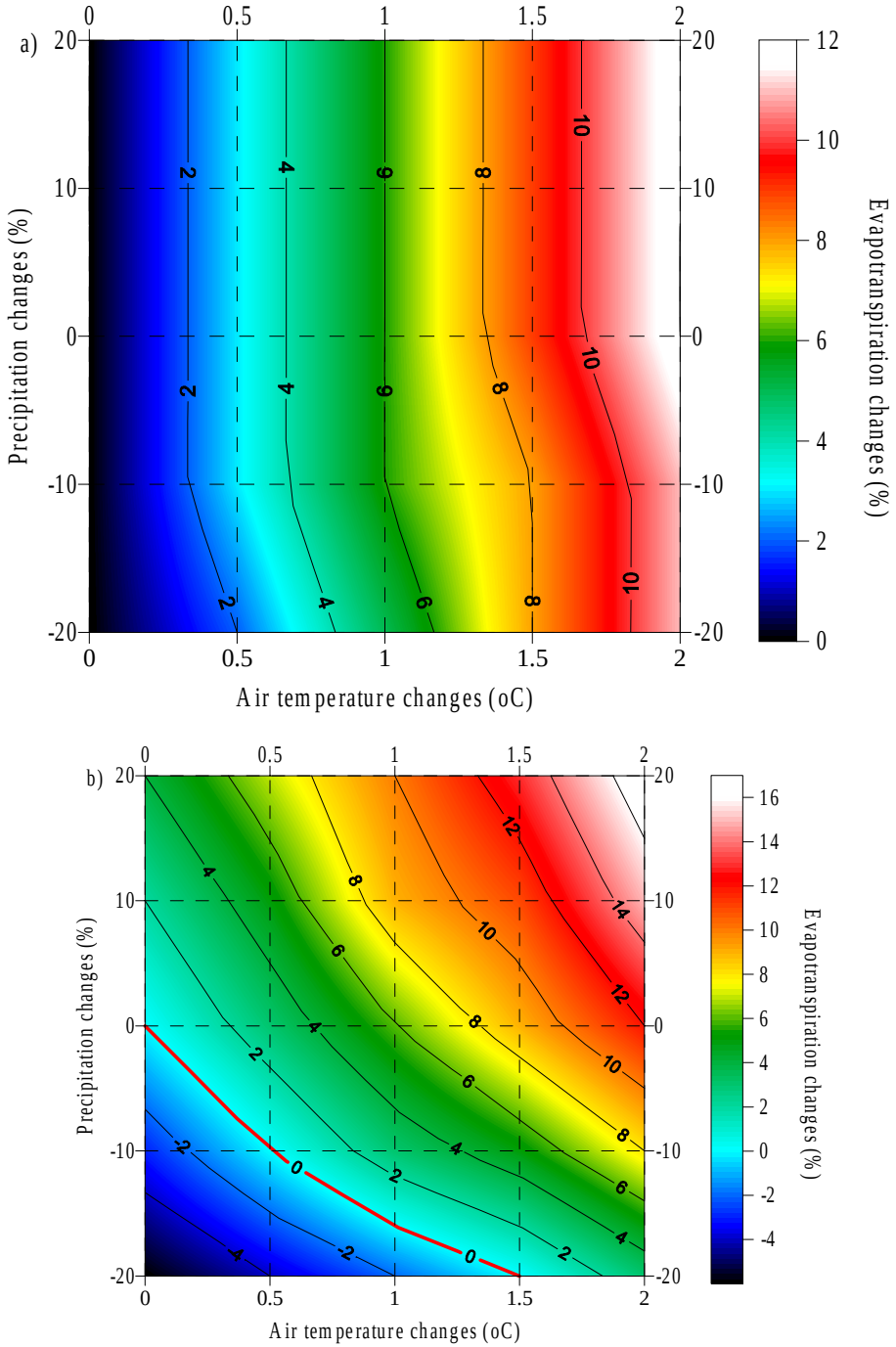


Abb. 2. Änderung der simulierten Evapotranspiration von Winterweizen bei stufenweisen Änderungen der Temperatur und des Niederschlags in a) Hohenau (Niederösterreich, kalkhaltiger Kulturrohboden, 318mm SW) und b) Rohrbach (Oberösterreich, kalkfreie Felsbraunerde, 100mm SW); CERES Modell

Die obigen Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse berücksichtigen noch nicht den Effekt einer erhöhten CO_2-konzentration auf das Pflanzenwachstum und den Wasserverbrauch der Pflanzen, da die Simulationen nur für die gegenwärtige CO_2-konzentration durchgeführt wurden. Der simulierte direkte Effekt einer erhöhten CO_2-konzentration auf den Wasserhaushalt der Pflanzen (Evapotranspiration bei CERES bzw. Transpiration bei WOFOST) ist jedoch in den nachfolgend dargestellten Ergebnissen der Klimaszenarien für einige ausgewählte Standorte enthalten.

Auswirkungen von Klimaänderungsszenarien auf den Wasserhaushalt von Winterweizen und Sommergerste

Die 30-jährigen gemittelten monatlichen Ergebnisse meteorologischer Parameter der Klimamodelle, die in dieser Studie verwendet werden, wurden vom IPCC DDC (Intergovernmental Panel on Climate Change Data Distribution Center) für die Perioden: 1961-1990, 2010-2039, 2040-2069 und 2070-2099 (die letzteren 3 weiterhin als 2020er, 2050er und 2080er Jahre bezeichnet) regionalisiert übernommen. Die Klimamodelle, deren Ergebnisse in unserer Studie verwendet werden sind jene des Max-Planck Institutes für Meteorologie (ECHAM4), des UK Hadley Center for Climate Prediction and Research (HadCM2), des Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CGCM1), des Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO-Mk2b) und des Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-R15). Die CO_2-konzentration der Periode 1961-1990 wird dabei im Mittel mit 300ppm angenommen, jener der 2020er mit 447ppm, jener der 2050er mit 554ppm und jener der 2080er mit 697ppm.

Alle Klimamodellszenarien verursachten an allen Standorten eine verkürzte simulierte Vegetationsperiode für Winterweizen und Sommergerste im 21. Jahrhundert. Dies wurde vor allem durch die von den Szenarien beschriebene Temperaturerhöhung verursacht (siehe Sensitivitätsanalyse). Die Verkürzung der Vegetationsperiode fiel unter den Szenarien HadCM2, GSIRO-Mk2b und CGCM1 geringer aus als beim ECHAM4 und GFDL-R15 Szenario. Die letzteren 2 Modelle simulierten eine höhere Temperaturzunahme für die 2050er in den ausgewählten Regionen. Die höchste Temperaturzunahme wurde von ECHAM4 für die 2080er berechnet, was zu einer Verkürzung der simulierten Vegetationsdauer um 25-32 Tage bei Winterweizen und 7-19 Tage bei Sommergerste führte (siehe Ergebnisse des ersten Teils der Studie).

Alle Klimaänderungsszenarien, außer ECHAM4, verursachten bei angenommener unveränderter Kohlendioxidkonzentration (indirekter Effekt) an den ausgewählten Standorten nur eine geringe Änderung der simulierten Evapotranspiration über die Vegetationsperiode bei Winterweizen und Sommergerste, wobei je nach Temperaturzunahme des jeweiligen Szenarios eine geringfügige Steigerung (maximal 4 %)

oder Verminderung zu erkennen ist (Abb. 3). ECHAM4 verursacht jedoch aufgrund der hohen Temperaturzunahme in den 2080ern (Abb.1) eine sehr hohe Zunahme der Evapotranspirationsrate über die Vegetationsperiode bei Sommergerste, trotz der stark verkürzten Dauer der Vegetationsperiode (nicht simuliert für Winterweizen).

Bei Berücksichtigung des Effektes einer je nach der Zeitperiode erhöhten CO_2-konzentration auf das Pflanzenwachstum und den Wasserverbrauch der Pflanzen kommt eine sehr deutliche (simulierte) Zunahme der Effizienz der Wassernutzung durch die Pflanzen zum Tragen (Abb.3). Vor allem bei Winterweizen kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Reduktion der Evapotranspiration bei Zunahme der jeweiligen CO_2-konzentration von bis zu 10% in den 2080ern. Ein ähnlicher Effekt in der selben Größenordnung ist an dem anderen Standort (Hohenau) bei Sommergerste zu beobachten, mit Ausnahme von ECHAM4. Letztere weist trotz steigender Wassernutzungseffizienz der Pflanzen eine deutlich Zunahme der Evapotranspiration auf, was auf die große Temperaturerhöhung dieses Szenarios in den 2080ern zurückzuführen ist. Es ist jedoch noch nicht klar, was den großen Unterschied zu Winterweizen in Laa/Thaya (stark reduzierte Evapotranspiration in den 2080ern) verursachte, da beide Böden an diesen Standorten eine relativ ähnlich hohe Wasserspeicherfähigkeit aufweisen.

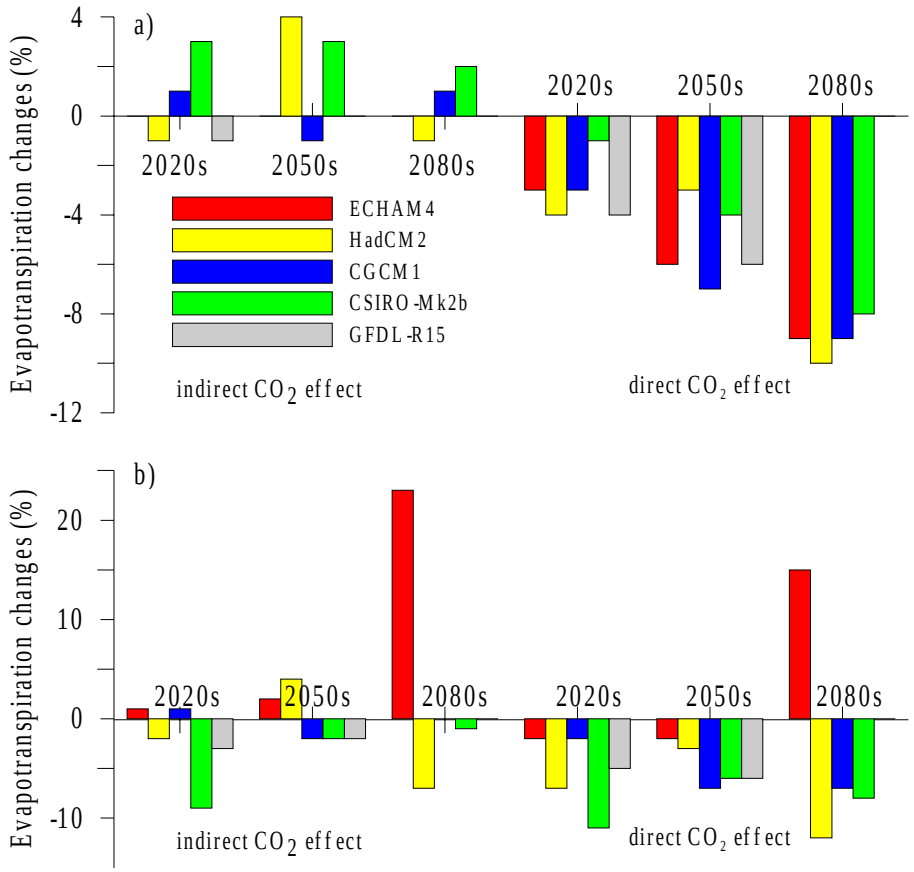


Abb 3. Evapotranspiration von a) Winterweizen und b) Sommergerste, im Vergleich zu den gegenwärtigen Werten für die Szenarien der 2020er, 2050er und 2080er Jahre in Niederösterreich (a) Laa/Thaya (Braunerde, 337mm SW); b) Hohenau (Kalkhaltiger Kulturrohboden, 318mm SW) mit und ohne direkten Effekt eines erhöhten Kohlendioxidgehaltes auf das Pflanzenwachstum; CERES Modell

Tabelle 1 zeigt den Vergleich der vom CERES Modell simulierten Änderung der Evapotranspiration mit der von WOFOST simulierten Änderung der Transpiration für die verschiedenen Szenarien an

verschieden Standorten mit verschiedenen Böden. Beide Modelle zeigen dabei in der selben Weise den bereits bekannten Trend an (Abb.3). Obwohl nicht direkt vergleichbar, zeigt sich eine deutlich höhere Sensitivität des WOFOST Modells auf eine Veränderung des Klimas, was auch durch Sensitivitäsanalysen belegt ist *(z.B. Stastna and Zalud, 1999).* So liegt bei WOFOST die simulierte Reduktion der Transpiration in den 2080ern bei bis zu 30 % beim HadCM1 Szenario (max. 17% bei CERES). Bei Berücksichtigung der Evaporation würde sich dieser Unterschied jedoch verkleinern. Eine Überprüfung der simulierten Wasserhaushaltskomponenten durch Feldversuche im jeweiligen Klimagebiet ist für zukünftige Studien daher empfehlenswert.

Tabelle 1. Änderung der simulierten Evapotranspiration (CERES Modell) und Transpiration (WOFOST Modell) von Winterweizen und Sommergerste auf verschiedenen Böden unter dem HadCM1 Szenario für die 2020er, 2050er und 2080er an 4 Standorten (Linz und Enns, Oberösterreich und Graz und Weiz, Steiermark) im Vergleich zum gegenwärtigen simulierten Mittel (1961-1990) mit und ohne Berücksichtigung des direkten Effektes einer erhöhten CO_2-konzentration.

Winterweizen															
Station	SW (mm)	CERES ETP 1961-90 (mm)	WOFOST T 1961-90 (mm)	Änderungen relativ zu 1961-1990 (%)											
				Ohne Effekt erhöhter CO_2 konz.						Mit Effekt erhöhter CO_2 konz.					
				2020er (330 ppm)		2050er (330 ppm)		2080er (330 ppm)		2020er (447 ppm)		2050er (554 ppm)		2080er (697 ppm)	
				CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF
Linz	96	340	201	0	6.5	3.3	11.4	1.5	16.9	-2.1	-10.9	-0.6	-20.3	-4.4	-27.4
	279	372	198	0	6.1	5.6	7.1	3.8	13.1	-3.0	-11.6	-1.0	-22.2	-6.5	-29.3
Graz	185	379	186	0	8.1	4.2	14.5	0	26.9	-3.2	-11.8	-1.6	-21	-8.2	-23.6
	286	388	183	0	6.6	4.6	9.3	1	6.9	-3.6	-12.6	-1.8	-23.5	-9.0	-28.4
Sommergerste															
Station	SW (mm)	CERES ETP 1961-90 (mm)	WOFOST T 1961-90 (mm)	Änderungen relativ zu 1961-1990 (%)											
				Ohne Effekt erhöhter CO_2 konz.						Mit Effekt erhöhter CO_2 konz.					
				2020er (330 ppm)		2050er (330 ppm)		2080er (330 ppm)		2020er (447 ppm)		2050er (554 ppm)		2080er (697 ppm)	
				CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF	CER	WOF
Enns	289	244	191	-1.6	5.2	-1.6	8.4	-4.1	14.1	-4.9	-12	-6.6	-22.0	-10.7	-28.8
	119	237	192	-1.7	5.2	-2.1	7.8	-4.6	14.6	-4.2	-12.0	-5.9	-22.4	-9.7	-29.2
Weiz	192	269	175	-3.0	4.0	-1.9	6.3	-10.8	13.1	-5.6	-13.7	-7.4	-24.6	-17.1	-30.3
	236	270	175	-3.3	4.0	-0.7	6.3	-11.1	13.1	-5.9	-13.7	-6.7	-24.6	-17.4	-30.3

Legende: SW – pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherkapazität; ETP = Summe der Evapotranspiration in der Vegetationsperiode; T = Summe der Transpiration; CER - CERES; WOF - WOFOST

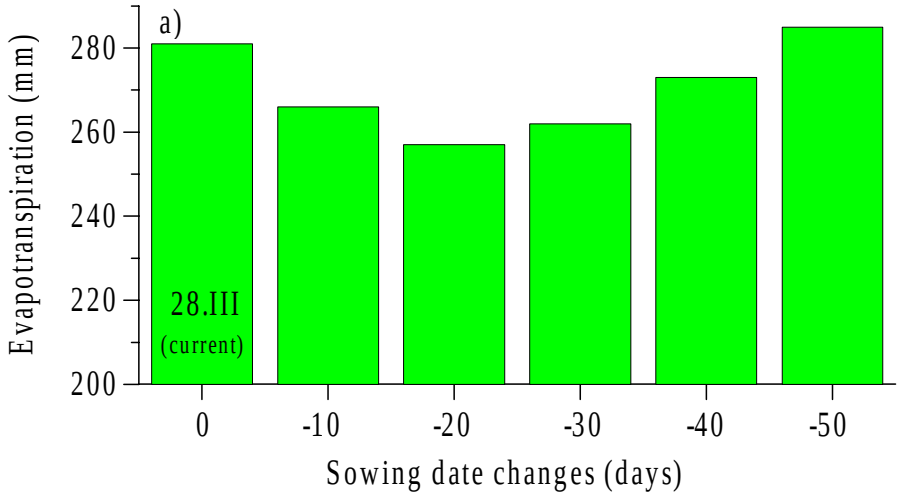
Abschätzung von Anpassungsmaßnahmen

Um negative Auswirkungen eines veränderten Klimas auf die Pflanzenproduktion zu vermeiden oder zu vermindern können verschiedenste Maßnahmen in Betracht gezogen werden.

Dies können kurz- und langfristige Maßnahmen vor allem in der Produktionstechnik sein, wobei letztere systemimmanente Veränderungen größeren Ausmaßes bedürfen. Kurzfristige Änderungen können innerhalb eines bestehenden Produktionssystems ohne größere oder kostenintensive Maßnahmen vorgenommen werden. Diese sind daher auch die wichtigsten Maßnahmen, um relativ kurzfristig auf Klimaänderungen reagieren zu können. Dazu zählen zum Beispiel eine Änderung im Anbauzeitpunkt, ein Wechsel zu besser adaptierten Pflanzensorten, eine Änderung in der Düngung oder ein Wechsel zu bodenwassersparenden Bodenbearbeitungsverfahren oder Mulchsystemen.

Die Konsequenzen eines veränderten Anbauzeitpunktes auf die simulierte Evapotranspiration (CERES Modell) bzw. Transpiration (WOFOST Modell) ist in Abb. 4 am Beispiel zweier Standorte dargestellt. Der Anbauzeitpunkt der Kulturpflanzen im Frühjahr, insbes. der Sommerungen, kann unter der von den Szenarios angezeigten Erwärmung vorverlegt werden, um negative Effekte auf das Wachstum und den Ertrag, insbes. durch die beschleunigte phänologische

Entwicklung, auszugleichen. Ein weiterer positiver Effekt einer Vorverlegung des Anbauzeitpunktes ist eine bessere Nutzung des über den Winter gespeicherten Bodenwassers durch den Pflanzenbestand und eine Verminderung unproduktiver Evaporation vom freiliegenden Boden im Frühjahr. Dies zeigt sich deutlich in der verringerten Evapotranspiration in Abb. 4a, wobei bis zu einem gewissen Zeitpunkt die verringerte Evaporation zum Tragen kommt. Bei weitererer Vorverlegung des Anbauzeitpunktes mit damit einhergehender Verlängerung der Vegetationsdauer erfolgt jedoch wieder eine Zunahme der Gesamtevapotranspiration. Je länger die Dauer der Vegetationsperiode ist (bei früherem Anbauzeitpunkt), desto größer ist auch die Gesamttranspiration (Abb.4b).



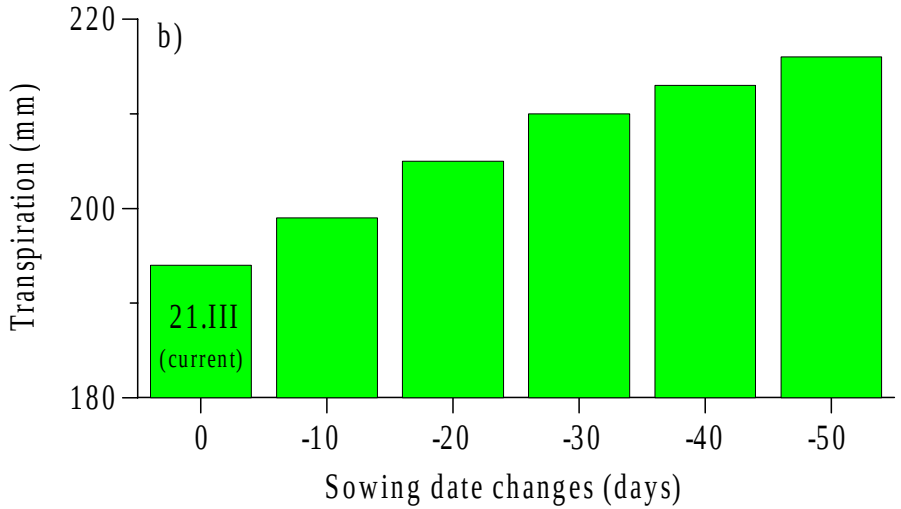


Abb. 4. Simulierte Evapotranspiration in a) Großenzersdorf (Niederösterreich) und Transpiration in b) Graz (Steiermark) unter dem ECHAM4 Szenario für die 2080er und bei unterschiedlichen Anbauzeitpunkten; CERES (a) und WOFOST (b)

DANKSAGUNG

Wir danken der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für die Zurverfügungstellung der Klimadaten und Mag. H. Formayer, Institut für Meteorologie und Physik, für die Unterstützung in der Datenaufbereitung der Klimadaten.

LITERATUR

Brown, R.A. and N.J. Rosenberg, 1997 : Sensitivity of crop yield and water use to change in a range of climatic factors and CO_2 concentrations: a simulation study applying EPIC to the

central USA.-Agricultural and Forest Meteorology 83, 171-203.

Downing TE, Harrison PA, Butterfield RE, Lonsdale KG, (eds) 2000 Climate Change, Climatic

Variability and Agriculture in Europe. An Integrated Assessment, Research Report No. 21, Brussels, Belgium: Commission of the European Union, Contract ENV4-CT95-0154, 445 pp.

Dubrovsky M, Zalud Z, Stastna M (2000) Sensitivity of CERES-Maize yields to statistical structure of daily weather series. Climatic Change, 46, 447-472.

Eitzinger, J., Alexandrov, V., Cajic, V., Formayer, H., 2000: A Site Specific Study on the Potential Range of Climatic Change Impact on Soil Water Balance and Crop Production under Consideration of Various Models. Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Climatology (ECAC 2000) "Tools for the environment and man of the year 2000" Pisa, Italy, 6 pp. (CD version, ISBN 88-900502-0-9, CNR-IATA - Institute of Agrometeorology and Environmental Analysis for Agriculture, Florence, Italy).

Harrison P, Butterfield R, Downing T (eds) (1995) Climate Change and Agriculture in Europe - Assessment of Impacts and Adaptation, University of Oxford, UK, 411 pp.

Harrison P, Butterfield R (1995) Effects of climate change on Europe – wide winter wheat and sunflower productivity. Climate Research, 7, 225-241.

Hoogenboom G, Wilkens P, Tsuji G, (1999) DSSAT v3, Vol.4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Hoogenboom G, Tsuji G, Jones J, Singh U, Godwin D, Pickering N, Curry R (1995) Decision support system to study climate change impacts on crop production. pp. 51-75. In: Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts (eds Rosenzweig C, Allen L, Harper L, Hollinger S, Jones J) ASA special publication no. 59. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) The Regional Impacts of Climate Change: An Assessments of Vulnerability, IPCC, 22 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change Data Distribution Centre (IPCC DDC) (1999) Data/Information Supplied by the IPCC Data Distribution Centre for Climate Change and Related Scenarios for Impact Assessments, Version 1.0, April 1999.

Intergovernmental Panel on Climate Change – Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment (IPCC-TGCIA) (1999) Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, IPCC, 69 p.

International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT) (1993) The IBSNAT Decade. University of Hawaii, Honolulu.

Mearns, L O, Mavromatis T, Tsvetsinskaya E, Hays C, Easterling W, (1999) Comparative responses of EPIC and CERES crop models to high and low spatial resolution climate change

scenarios. Journal of Geophysical Research, 104/D6, 6623-6646.

Rosenzweig C, Iglesias A (eds) (1994) Implication of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study. US EPA.

Sathaye JA, Dixon RK, Rosenzweig C (1997) Climate change country studies. Applied Energy, 36(3-4), 225-235.

Sirotenko OD, Abashina HV, Pavlova VN, (1997) Sensitivity of the Russian agriculture to changes in climate, CO_2 and tropospheric ozone concentrations and soil fertility. Climatic Change, 36, 217-232.

Stastna, M., Zalud, Z. 1999. Sensitivity analysis of soil hydrologic parameters for two crop simulation models. *Soil and Tillage Research*, 50: 305-318.

Tsuji G, Hoogenboom G, Thornton P (1998) Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Acad. Publ., 399 pp.

Tsuji G, Uehara G, Balas S (eds) (1994) DSSAT version 3, Vol. 1-3, IBSNAT, University of Hawaii, Honolulu.

Van Diepen C, Wolf J, van Keulen H, Rappolt R, (1989) WOFOST: a simulation model of crop production. Soil Use Manage, 5, 16-24.

Watson R, Zinyowera M, Moss R (eds) (1996) Climate Change 1995 - Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change. Contribution of WG II to the Second Assessment Report of the IPCC, Cambridge Univ. Press.

Wolf J, Evans LG, Semenov MA, Eckersten H, Iglesias A (1996) Comparison of wheat simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses, Climate Research, 7, 253-270.

INHALT