



Klima - pflanzenwissenschaftliche und agrarökonomische Studie

Stefan FLÜCKIGER und Peter RIEDER, Institut für Agrarwirtschaft, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich
Jürg FUHRER, Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), CH-3097 Liebfeld-Bern

Die Agrarproduktion ist stark witterungs- und somit auch klimaabhängig. Trotzdem sollten die Auswirkungen der möglichen globalen Klimaänderungen auf den inländischen Agrarsektor nicht überschätzt werden. Zum einen führt unter anderem der «CO₂-Düngungseffekt» zu einer Kompensation der klimabedingten Ertragsverluste. Zum anderen wird der Agrarsektor durch die politischen und ökonomischen Veränderungen langfristig bedeutend stärker beeinflusst. Ungleich grösser dürften dagegen die Auswirkungen für viele Entwicklungsländer sein, auf die wir in diesem Artikel nicht eingehen.

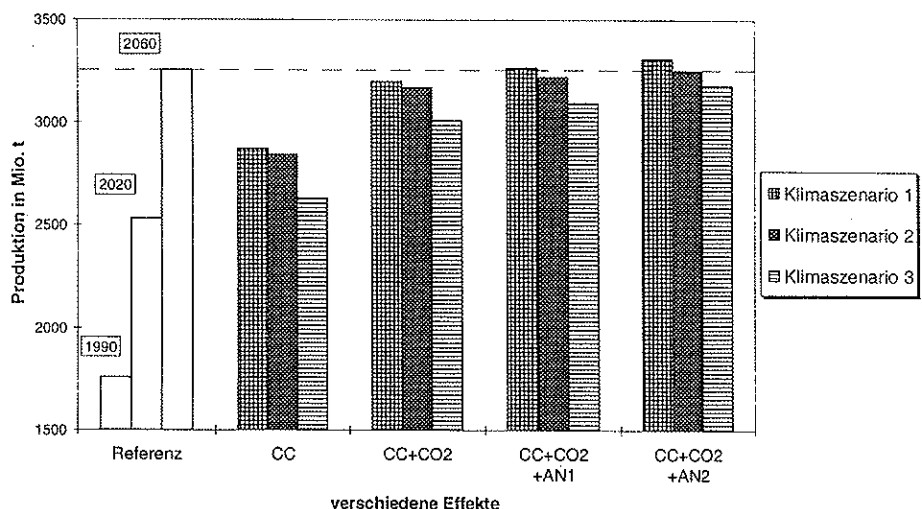
Verschiedene Meldungen über Rekorde bei Temperaturwerten und Niederschlagsmengen haben auch in der Schweiz die Frage aufgeworfen, ob sich unser kühl-gemässigt Klima bereits verändert hat und welche Klimaänderungen in Zukunft zu erwarten sind. Mit solchen Fragen, vor allem über Wechselwirkungen zwischen Klima und Naturkatastrophen, beschäftigt sich das Nationale Forschungsprogramm NFP 31. In diesem Artikel werden die wichtigsten Ergebnisse von zwei NFP 31-Projekten vorgestellt. Dadurch soll der notwendigen Zusammenarbeit zwischen den Pflanzenwissenschaften und der Agrarökonomie Rechnung getragen werden.

Auswirkungen im Pflanzenbau

Die Reaktion der Erträge auf Klimaschwankungen kann aufgrund historischer Daten teilweise rekonstruiert werden. Geschätzte Ertragsdaten für Getreide, Kartoffeln und im Futterbau (Heu und Emd) zeigen, dass die Schwankung um das neunjährige Mittel seit 1920 im Bereich von etwa $\pm 20\%$ lag. Grösste Abweichungen traten in extremen Trockenjahren auf, zum Beispiel 1921, 1947, 1949, 1962 und 1972. Steigende Temperaturen allein betrachtet fördern zwar das Pflanzenwachstum, können aber das Ertragspotential senken. Dies gilt beispielsweise für das Getreide, da die Entwicklungszeit um ungefähr eine Woche pro Grad abnimmt. Beim Futterbau führen Temperaturerhöhungen einerseits zu einer rascheren Bestandesentwicklung, andererseits aber zu einem grösseren Anteil an abgestorbener

Pflanzenmasse. Mit einer Erwärmung tritt auch eine Höhenverschiebung der Anbaugrenzen um ca. 200 m pro Grad ein. Mit einer allgemeinen Erwärmung wird das Wärmebedürfnis der Kulturen in einem erweiterten Gebiet befriedigt. Die potentielle Anbaugrenze für Körnermais wird pro Grad Erwärmung in Europa um 200 bis 400 km nach Norden verschoben. Allerdings darf die Temperaturzunahme nicht isoliert vom Niederschlag betrachtet werden. Die potentielle Länge der Vegetationsperiode dürfte sich deshalb in Nordeuropa ausdehnen, im Mittelmeerraum würde sie infolge verminderter Niederschläge dagegen verkürzt. Dementsprechend würde das Anbaupotential in Europa generell nach Norden verschoben. Eine Klimaänderung wirkt sich also besonders

nachteilig aus, wenn die natürliche Wasserversorgung knapp und der Pflanzenbau nur dank künstlicher Bewässerung möglich ist. Für die USA wurde berechnet, dass unter veränderten Klimabedingungen die Fläche der bewässerten Kulturen um 3,5 bis 10 % steigt, während die Fläche der vom natürlichen Niederschlag abhängigen Kulturen um 27 bis 40 % abnimmt. Landwirtschaftliche Kulturen, insbesondere Monokulturen, zeigen eine einigermaßen einheitliche Ertragsreaktion auf erhöhte CO₂-Konzentrationen. Bei einer Verdopplung steigt die Biomasse (Trockensubstanz) zahlreicher C3-Pflanzenarten (Getreidearten, Kartoffel, Soja usw.) um durchschnittlich 20 bis 30 %. In Klee-Gras-Mischungen profitieren speziell die Leguminosen von einer erhöhten Konzentration (Lüscher *et al.* 1995). Eine wichtige Wirkung des erhöhten CO₂-Angebots besteht in der Abnahme der Transpiration auf der Basis der Blattfläche, die allerdings durch eine Steigerung der Blattmasse wieder aufgehoben werden kann. Die verschiedenen Auswirkungen von Klimaänderung und CO₂-Zunahme sind miteinander gekoppelt und können sich



Referenz: Produktionsniveau für die Jahre 1990, 2020 und 2060 ohne die Auswirkungen der Klimaänderungen; CC (climatic change) Getreideproduktion im Jahre 2060 mit klimabedingten Produktionsveränderungen; CC+CO₂: CC inkl. «CO₂-Düngungseffekt»; CC+CO₂+AN 1: minimale anbautechnische Anpassungen an die neuen Klimabedingungen; CC+CO₂+AN 2: umfangreiche Anpassungen an die neuen Klimabedingungen.
Quelle: Rosenzweig und Parry 1994.

Abb. 1. Entwicklung der Weltgetreideproduktion bis zum Jahre 2060.

gegenseitig verstärken oder abschwächen. Eine erhöhte CO₂-Konzentration wirkt der Zunahme des Wasserbedarfs in einem wärmeren Klima entgegen, oder hebt die ertragsmindernde Wirkung einer Temperaturzunahme ganz oder teilweise auf. Andererseits ist das Ausmass der CO₂-Förderung des Pflanzenwachstums abhängig von der Temperatur. Für das Dauergrünland berechnete Riedo (1996), dass die Evapotranspiration unter künftigen Klimabedingungen um 10 bis 30 % zu-, und bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration um 10 bis 15 % abnimmt. Die kombinierte Wirkung besteht in einer Veränderung gegenüber heutigen Bedingungen um lediglich -5 bis 15 %.

Potentielle Erträge

Eine Abschätzung der potentiellen Erträge unter veränderten Klima- und CO₂-Bedingungen ist mit Hilfe empirischer oder mechanistischer Pflanzenmodelle möglich, wobei der Ertrag unter heutigen Bedingungen als Referenz verwendet wird. Lässt man mögliche Anpassungsreaktionen wie die Korrektur der Saattermine, zusätzliche Bewässerung und Düngung, Auswahl angepasster Sorten usw. nicht zu, ergeben sich beträchtliche Produktionseinbussen, wie in CC in Abbildung 1 ersichtlich. Je nach Klimaszenario können die klimabedingten Produktionseinbussen bis zu 30 % betragen. Werden jedoch zusätzlich die CO₂-bedingten Produktivitätszunahmen («CO₂-Düngungseffekt») miteinbezogen, können solche Ertragseinbussen beinahe kompensiert werden (CC+CO₂). Eine vollumfängliche Kompensation kann schliesslich durch die verschiedenen Anpassungsmassnahmen erreicht werden (AN1, AN2).

Infolge ungleicher Produktionsbedingungen fallen die klimabedingten Ertrags- und Produktivitätsveränderungen in verschiedenen Regionen unterschiedlich aus. Gemäss neuesten Schätzungen (IPCC 1995) dürften bei wichtigen Kulturen wie Hirse und Mais besonders in Afrika massive Ertragsverluste (bis gegen 80 %) eintreten, wogegen für Europa und andere Regionen der Welt neben Ertragseinbussen auch Steigerungen erwartet werden. In Europa liegen nur für Mais (Wolf und Van Diepen 1995) und Weizen (Wolf 1993) neuere Schätzungen vor. Für Mais wurden aufgrund verschiedener Klimamodelle unterschiedliche Ertragsveränderungen berechnet, generell aber Zunahmen im Norden und Abnahmen im Süden,

Tab. 1. Relative Ertragsveränderung (%) ausgewählter Kulturen in der Schweiz

Kultur	Klima- änderung	Klima- änderung + CO ₂ -Wirkung
Weizen	-18	+12
Gerste	-29	+ 1
Kartoffel	- 6	+24
Mais	-23	- 8
Dauergrünland*	-1 bis 8*	+6 bis +21*

*mittelintensive bis intensive Bewirtschaftung (Quelle: Flückiger 1995 und Riedo 1996)

während bei Weizen Verluste sowohl im Norden wie im Süden erwartet werden. In Mitteleuropa sind die Änderungen mit -8 % bis +15 % eher gering.

Auswirkungen der Klimaänderung auf das Ertragspotential der Kulturpflanzen in der Schweiz wurden bisher nur vereinzelt untersucht. Aufgrund eines empirischen Witterungs-Ertragsmodells berechnete Flückiger (1995) für verschiedene Kulturen die klimabedingten Ertragsverluste (Tab. 1). Bei gleichzeitiger Berücksichtigung der CO₂-Wirkung ergaben sich mit Ausnahme von Mais Ertragssteigerungen. Die Reaktion von Mais kann damit erklärt werden, dass die negative Wirkung der Trockenheit in warmen Jahren die positive Wirkung der gesteigerten Temperatur überwiegt, und die CO₂-Wirkung - wie bei allen C4-Pflanzen - gering ist. Die Wirkung auf den Futterbau wurde mit Hilfe eines Ökosystemmodells für Wiesen untersucht. Die Ergebnisse für Standorte bis ungefähr 1000 m ü.M. zeigen selbst ohne CO₂-Düngungseffekt eine geringfügige Ertragsveränderung; bei gleichzeitiger Berücksichtigung der CO₂-Düngungswirkung dagegen ergibt sich eine Ertragssteigerung bis zu +20 % (Riedo 1996, Tab. 1).

Auswirkungen auf die Weltagrarmärkte

Mit Hilfe von langfristigen Angebots- und Nachfrageschätzungen können Preissimulationen für die Agrarmärkte vorgenommen werden. Danach werden die realen Weltmarktpreise für Getreide durch die Klimaänderungen je nach Klimaszenario zwischen 5 % unter und 30 % über dem Referenzpreis liegen (Rosenzweig und Parry 1994).

Erst unter der Annahme extremer Klimaszenarien und einer Vernachlässigung von anbautechnischen Anpassungsmassnahmen ist in verschiedenen Produktionsregionen mit umfangreichen klimabeding-

ten Ernteverlusten zu rechnen. Daraus könnten zum Beispiel bei Getreide auf dem Weltmarkt Preiserhöhungen bis zu 150 % resultieren.

Langfristige Prognosen für die Weltgetreideproduktion gelten auch als Index für die Ernährungslage in Entwicklungsländern. Der Anteil der Weltbevölkerung - die an Unterernährung zu leiden hat - wird von der Entwicklung der Weltmarktpreise für Grundnahrungsmittel abhängen. Falls bei deutlichen Preisanstiegen auf dem Weltmarkt die reale Kaufkraft nicht gleichzeitig erhöht werden kann, verschlechtert sich entsprechend die Ernährungssituation.

Methodischer Ansatz

Um Aussagen über die Klimaänderungen und die Wirkungen von staatlichen Massnahmen im Agrarsektor machen zu können, sind Methoden anzuwenden, die einerseits die komplexen Abhängigkeiten zwischen der Witterung und dem Ertrag und andererseits die ökonomischen Wechselwirkungen zwischen Regionen, Betrieben und Betriebszweigen berücksichtigen. Dazu stellt die Methode der Linearen Programmierung ein geeigneter Ansatz dar, der die lineare Zielfunktion (Erlösmaximierung) unter Einhaltung von linearen Restriktionen (z.B. Flächen, Kontingente) optimiert. Die Produktionsfunktionen werden durch eine Anzahl linearer Aktivitäten abgebildet. Mit Hilfe von verschiedenen Betriebstypen können die regions- und betriebsspezifischen Faktorausstattungen modellhaft abgebildet werden. Die Betriebstypen konkurrieren um die regionalen Flächen und um die zur Verfügung stehenden Faktoren Arbeit, Gebäude, Maschinen und Tiere. Sie werden den drei Modellregionen **TAL** (Ackerbau-, Übergangs- sowie Erweiterte Übergangszone), **HÜGEL** (Voralpine Hügelzone, Bergzone I) und **BERG** (Bergzonen II - IV) zugeordnet. Für das Sektormodell wurden Szenarien formuliert, worin unter anderem die potentiellen Erträge (Tab. 1) und die Flächenverschiebungen enthalten sind.

Formulierung von Szenarien

Bei der Sektormodellierung ergaben die verschiedenen Zeiträume besondere Probleme. Mit Hilfe der Szenariotechnik gelang es, den Zeithorizont der Agrarpolitik (6 bis 8 Jahre) und den Zeithorizont der langfristigen Klimaszenarien (rund 50

Jahre) simultan zu verwenden. Folgende Szenarien wurden berechnet:

Referenz: Die Referenzlösung gilt als Vergleichslösung, die sich auf die Datenbasis 1994 bezieht.

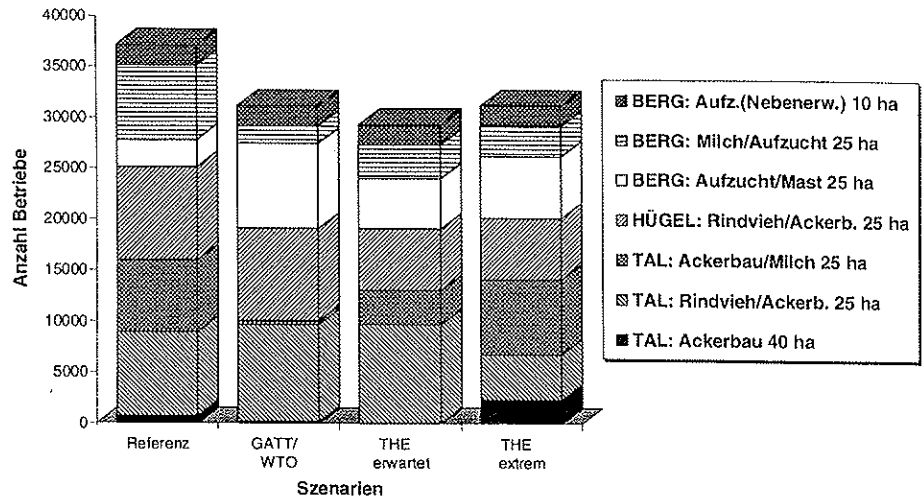
Szenario «GATT/WTO»: Beim Szenario «GATT/WTO» wurden keine klimabedingten Produktionsveränderungen berücksichtigt. Die Preis- und Mengenanpassungen basieren auf den Berechnungen von Rieder *et al.* (1994); zum Beispiel Verkehrsmilch sFr. 79.–/dt, Brotgetreide sFr. 85.–/dt, Futtergetreide sFr. 49.–/dt. Den sinkenden Produzentenpreisen stehen tendenziell höhere ökologische Ausgleichszahlungen gegenüber (Art. 31b LWG). Die Übertragung von einzelbetrieblichen Milchkontingenten ist innerhalb der Regionen möglich.

Szenario «THE¹ erwartet»: Das Szenario «THE erwartet» basiert auf dem Szenario «GATT/WTO» und setzt die potentiellen Ertragsveränderungen von Tabelle 1 voraus. Die verlängerten Vegetationsperioden im Rohfutterbau sind berücksichtigt, indem die Betriebe von der ertragssteigernden Wirkung und auch von kürzeren Winterfütterungsperioden profitieren. Durch die Höhenverschiebung der Anbaugrenzen verlagern sich zudem die landwirtschaftlichen Nutzungszonen. Bei höheren Durchschnittstemperaturen von +2,7 °C (NFP 1992) stünden in der Schweiz rund 140'000 ha zusätzliche Ackerflächen zur Verfügung.

Szenario «THE extrem»: Im Unterschied zu den übrigen Szenarien setzt das Szenario «THE extrem» drastische klimabedingte Preiserhöhungen auf den Weltgetreidemärkten voraus (siehe oben).

Dominanz der GATT-bedingten Anpassungen

Die GATT-bedingten preispolitischen Anpassungen und die Flexibilisierung im Milchmarkt werden trotz der zusätzlichen Direktzahlungen die Betriebsstrukturen markant verändern (Abb. 2). Die wichtigen Agrarmärkte werden entlastet (z.B. Brot- und Futtergetreide). Im Talgebiet bleibt die Milchproduktion konkurrenzfähigster Betriebszweig. Die kombinierten Rindviehbetriebstypen (Rindvieh/Ackerbau 25 ha in Abb. 2) erwerben Produktionsrechte für Milch im Umfang von 40 bis 50 % ihrer bisherigen Produktion und re-



*mit Ausnahme vom Nebenerwerbsbetrieb (10 ha) in der Region BERG
Quelle: Flückiger 1995

Abb. 2. Anzahl Haupterwerbsbetriebe* ohne Spezialbetriebe. (Erläuterung der Szenarien siehe Kapitel «Formulierung von Szenarien»).

Tab. 2. Sektoreinkommen mit beziehungsweise ohne Direktzahlungen

	Referenz	«GATT/WTO»	«THE erwartet»	«THE extrem»
Landw. Einkommen (Mio. sFr.)	2'011 (100 %)	1'543 (76 %)	1'463 (72 %)	1'639 (82 %)
Direktzahlungen (Mio. sFr.)	1'224 (100 %)	1'260 (103 %)	1'165 (95 %)	1'277 (105 %)
Einkommen ohne Direktzahlungen (Mio. sFr.)	787 (100 %)	283 (36 %)	298 (38 %)	362 (46 %)

Erläuterung der Szenarien siehe Kapitel «Formulierung von Szenarien»

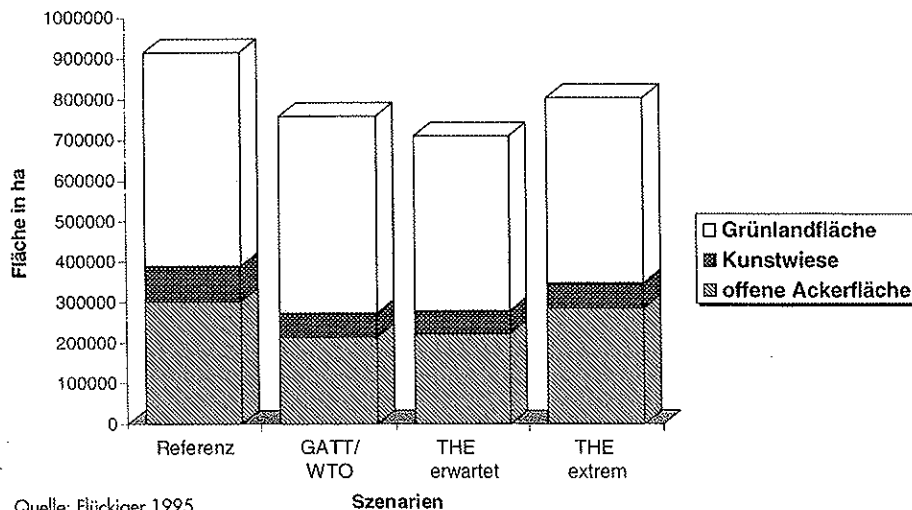
duzieren gleichzeitig die Rindvieh- und Kälbermast. Die reinen Ackerbaubetriebe mit 40 ha und die kombinierten Ackerbaubetriebe (Ackerbau/Milch 25 ha) werden andererseits fast vollständig verdrängt. Im Hügelland sind die strukturellen Veränderungen geringer, weil der Milchwirtschaftsbetrieb (Rindvieh/Ackerbau 25 ha) das regionale Milchkontingent ausnützen kann. Diese Region bleibt auf die Milchproduktion spezialisiert. Das Berggebiet konzentriert sich vermehrt auf die Fleischproduktion, weil darin die geringsten absoluten Kostennachteile gegenüber dem Talgebiet vorhanden sind; die komparativen Kostenvorteile sind am grössten. Der dadurch ausgelöste neue «Verdrängungskampf» geht im Berggebiet zulasten des Milchwirtschaftsbetriebes (Milch/Aufzucht 25 ha). Die noch verbleibenden Betriebe erwerben Produktionsrechte für Milch und erhöhen damit die einzelbetriebliche Milchmenge um rund 40 %. Im Berggebiet reicht die hofeigene Rohfutterbasis nicht mehr aus, so dass Heu aus dem Talgebiet zugekauft werden muss. Trotzdem wird ausschliesslich extensiver Rohfutterbau betrieben, der sich wegen

den Extensobeiträgen als besonders attraktiv erweist. Die Erlösverminderungen der GATT-Anpassungen senken das sektorale landwirtschaftliche Einkommen um rund 24 % (Tab. 2).

Geringe Auswirkungen durch Klimaänderungen

Die potentiellen Produktionssteigerungen im Szenario «THE erwartet» verändern im Vergleich zum Szenario «GATT/WTO» die Flächennutzung nur unwesentlich (Abb. 3). Der leichte Rückgang der Grünlandflächen erfolgt aufgrund der höheren Flächenproduktivitäten im Futterbau. Im Ackerbau ist dies nicht der Fall, weil die Produktion wegen der höheren Faktorabgeltung (klimabedingte Kostensenkung) konkurrenzfähiger wird und gegenüber dem Szenario «GATT/WTO» ansteigt. Weil die klimabedingten Kostensenkungspotentiale im Talgebiet im Rohfutterbau grösser als im Berggebiet sind, verlagert sich die Rindfleischproduktion zunehmend vom Berg- ins Talgebiet. Das sektorale Gesamteinkommen senkt sich um weitere 4 % (Tab. 2).

¹THE ist die Abkürzung für anthropogener Treibhauseffekt, welcher hauptsächlich zu den möglichen Klimaänderungen beiträgt.



Quelle: Flückiger 1995

Abb. 3. Landwirtschaftliche Flächennutzung verschiedener Szenarien. (Erläuterung der Szenarien siehe Kapitel «Formulierung von Szenarien».)

Vom Extremszenario profitiert der Ackerbau

Unter den Annahmen eines massiven klimabedingten Preisanstieges auf den Weltgetreidemärkten (Szenario «THE extrem») wird der inländische Getreideanbau wieder konkurrenzfähig. Die Produktionssteigerungen führen zu einer Selbstversorgung mit Brot- und Futtergetreide. Dies verändert die Betriebsstrukturen im Talgebiet zugunsten der reinen und kombinierten Ackerbaubetriebe (Ackerbau 40 ha, Ackerbau/Milch 25 ha in Abb. 2). Das Konkurrenzverhältnis zwischen Tal- und Berggebiet wird dadurch nur unwesentlich beeinflusst. Die Einkommenssituation wird gesamtsektoral um rund 10 % verbessert (Tab. 2). Es profitieren jedoch vorwiegend die Talbetriebe.

Das verkleinerte, aber gefährdete Berggebiet

Auf das Berggebiet wirken zwei verschiedene Einflüsse: Einerseits verschieben sich die Höhenstufen bergwärts, das heisst ein Teil der Flächen wird anbaumässig zu Hügelgebiet und von Hügel- zu Talgebiet. Die Gesamtfläche im Hügel- und Berggebiet wird demnach geringer. Dies ermöglicht dem kombinierten Ackerbau- und Milchwirtschaftsbetrieb der Talzone (Ackerbau/Milch 25 ha in Abb. 2), in die Rand- und Hügelregionen zu expandieren. Andererseits erzielt das Hügel- und vor allem das Berggebiet klimabedingte Produktivitätszunahmen im Rauhfutterbau, die im Vergleich zum Talgebiet unterdurchschnittlich sind. Dadurch können im Berggebiet die Kosten in der Milch- und Fleischproduktion umso weniger gesenkt werden. Zusätzlich zu den

Auswirkungen in der Landwirtschaft könnten die Betriebe im Berggebiet auch durch Veränderungen im Tourismussektor betroffen sein (Erwerbskombination). Bei einer klimabedingten Verschlechterung der Schneesverhältnisse in den skitouristischen Regionen des Berggebiets wären viele Zu- und vor allem Nebenerwerbsbetriebe gefährdet. Der Stellenwert der Vollerwerbsbetriebe würde dadurch an Bedeutung gewinnen. Dies erhöht ebenfalls den Abwanderungsdruck aus der Landwirtschaft. Die Existenz von heute noch agrarisch geprägten Dörfern wäre dadurch gefährdet.

Fazit

Es kann davon ausgegangen werden, dass Veränderungen der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen weltweit die stärkeren Auswirkungen auf den Agrarsektor haben werden als die klimabedingten Entwicklungen. Dennoch sind politische Vermeidungsstrategien notwendig, damit die Auswirkungen in den benachteiligten Regionen, wie beispielsweise den Entwicklungsländern oder dem Berggebiet, minimiert werden können.

LITERATUR

- NFP, 1992. Info 2 Programmleitung NFP 31, SNF Bern.
- Flückiger S. D., 1995. Klimaänderungen: Ökonomische Implikationen innerhalb der Landwirtschaft und ihrem Umfeld aus globaler, nationaler und regionaler Sicht, Diss. ETH Nr. 11276, Zürich.
- IPCC, 1995. Summary for Policymakers - Working Group I. Im Druck.
- Lüscher A., Rüegg K. und Nösberger J., 1995. CO₂-Reaktion von Wiesenpflanzenarten und Genotypen. *Agrarforschung* 2 (11-12), 500 - 503.

Rieder P., Rösti A. und Jörin R., 1994. Auswirkungen der GATT-Uruguay-Runde auf die schweizerische Landwirtschaft, IAW ETH Zürich.

Riedo M., 1996. Sensitivität von Dauergrünland auf Wetterszenarien unter künftigen Klimabedingungen. In: Fuhrer, J. (Hrsg.) *Klimaänderung und Grünland*. In Vorbereitung.

Rosenzweig C. and Parry M. L., 1994. Potential impact of climate change on world food supply, In: *Nature* 367, 13, 133 - 138.

Wolf J. and Van Diepen C.A., 1995. Effects of climate change on grain maize yield potential in the European Community. *Clim. Ch.* 29, 299 - 331.

Wolf J., 1993. Effects of climate change on wheat production potential in the European Community. *Eur. J. Agron.* 2, 281-292.

RÉSUMÉ

Changements climatiques: étude des effets sur les plantes cultivées et aspects économiques

Cette étude vise à quantifier les modifications de la production agricole et les incidences dues aux changements climatiques. A l'aide de modèles de prévision des rendements et de modèles économiques, nous avons calculé que l'impact climatique ne modifiait pas fondamentalement l'utilisation des terres et les structures agraires, les adaptations dues au GATT (réduction des prix) étant plus importantes. Les conséquences climatiques sont positives pour les meilleures cultures grâce aux effets positifs du CO₂ sur la productivité. Cette dernière ainsi que les revenus agricoles augmentent plus fortement en plaine, ce qui renforce encore les avantages au niveau des coûts comparatifs.

SUMMARY

Climate change - a study in plant science and agricultural economics

A sectoral assessment suggests a potential impact of climate change on agricultural production and land use on the basis of crop yield models and economic models. The analysis included potential economic conditions (GATT), and the combined effects of climate change with and without increasing CO₂ concentration. The major finding of the study is that the economic impacts will be much higher than the impacts of climate change, while at the same time there also appears to be a large disparity in agricultural and economic vulnerability between the farms located in the lowland areas and those in the mountains.

KEY WORDS: climate change, agricultural production, yield and sector model