

Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf Risiko und Kosten der Weizenernte

Markus Lips¹, Robert Finger² und Pierluigi Calanca³

Landwirte sind bei der Weizenernte mit einem beachtlichen Wetterrisiko in Form von Ernteverlusten konfrontiert. Dem kann mit einer höheren Maschinendichte entgegengewirkt werden, was jedoch zu höheren Maschinenkosten führt. Der vorliegende Trade-off zwischen Maschinenkosten und Ernterisiken ist Gegenstand dieser Arbeit, in der mittels Monte-Carlo-Simulation optimale Grösse des Maschinenparks und optimale, d.h. minimale, Erntekosten bestimmt werden. Insbesondere wird der Einfluss des Klimawandels auf die oben beschriebenen Prozesse anhand einer Beispielregion im Schweizer Mittelland analysiert. Unsere Analyse zeigt, dass Klimawandel zu deutlich besseren Erntebedingungen führt und eine Reduktion der optimalen Maschinendichte ermöglicht. Verglichen mit heutigen Klimaverhältnissen führt dies zu einer Verringerung der Kosten bei der Weizenernte um bis zu 23 %. Die Ergebnisse dieser Arbeit können verwendet werden, um bestehende Analysen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Getreideanbau zu komplettieren.

JEL Klassifikation: C15, Q12

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Forschungsgruppe Betriebswirtschaft markus.lips@art.admin.ch

² Gruppe Agrar-, Lebensmittel- und Umweltökonomie, ETH Zürich, rofinger@ethz.ch

³ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Forschungsgruppe Lufthygiene/ Klima pierluigi.calanca@art.admin.ch

Die Autoren danken Matthias Menzi von ART für die hilfreichen Auskünfte im Bereich Pflanzenbau, dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) für die Bereitstellung der Wetterdaten und zwei anonymen Gutachtern für hilfreiche Hinweise.

1. Einleitung

Erwartete Änderungen in den klimatischen Bedingungen, insbesondere steigende Temperaturen und sinkende Sommerniederschläge, stellen eine Herausforderung für die Landwirtschaft dar (OcCC 2007).

Bei der Weizenernte sind die Produzenten aufgrund häufiger Niederschläge und der kurzen Dauer der Keimruhe mit einem beachtlichen Wetterrisiko konfrontiert. Einerseits betrifft dies die zusätzlichen Kosten für das Nachrocknen des Getreides falls unter zu feuchten Bedingungen geerntet wird, andererseits hat der nach der Keimruhe einsetzende Auswuchs eine Preisreduktion zur Folge. Der Einsatz von mehreren Erntemaschinen reduziert das witterungsbedingte Risiko, erhöht jedoch die Maschinenkosten. Dieser Trade-off zwischen Ernteverlusten und Maschinenkosten ist Gegenstand verschiedener Arbeiten (Donaldson 1968, Davis und Patrick 2002, Lips und Bolli 2007). Eine Analyse des Wetterrisikos im Zusammenhang mit der Schlagkraft bei der Ernte findet sich bei Stiens (1990).

Gegenstand dieses Beitrags ist der Einfluss des Klimawandels auf diesen Trade-off. Bestehende Arbeiten, die den Einfluss des Klimawandels auf die Schweizer Landwirtschaft analysieren, konzentrieren sich auf die Produktionsseite, d.h. insbesondere auf Erträge bestimmter Kulturen (Flückiger und Rieder 1997; Torriani et al. 2007a und 2007b; Finger und Schmid 2008). Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kostenstruktur im Pflanzenbau wurden hingegen in diesen Arbeiten nicht berücksichtigt. Am Beispiel der Veränderung des kostenminimalen Maschineneinsatzes in der Weizenernte zeigen wir, dass der Klimawandel die Kosten im Pflanzenbau deutlich verändern wird. Dies komplettiert die bestehenden Analysen der Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Landwirtschaft.

Im Zentrum des Interesses steht der Einfluss des Klimawandels auf das Verhältnis zwischen den oben skizzierten Verlusten und Mechanisierungskosten. Zu diesem Zweck führen wir Monte-Carlo-Simulationen für die Weizenernte durch. Das Wetterrisiko wird sowohl unter heutigen als auch zukünftigen Klimabedingungen als stochastische Variable berücksichtigt.

2. Methode

Mähdrescher werden bei der Weizenernte üblicherweise überbetrieblich eingesetzt. Daher wird die Referenzfläche für die Analyse mit einer Grösse von 1000 ha angenommen (Lips und Bolli 2007), welche die durchschnittliche Betriebsgrösse im Schweizer Ackerbau von 24 Hektaren (ART 2007) deutlich übersteigt. In der Untersuchungsregion findet die Weizenernte in den Kalenderwochen 31 und 32 statt. Um die Wahrscheinlichkeit einer Erntegelegenheit zu beziffern, sind lokale Wetterdaten notwendig. Als Beispiel wird die Region Frauenfeld im östlichen Schweizer Mittelland mit den Angaben der Wetterstation Tänikon (47° 29' N, 8°54' E; 500 m N.N.; 1124 mm jährlicher Niederschlag) gewählt.

Die Untersuchung konzentriert sich auf die Kosten während der Weizenernte, die aus Maschinenkosten und Kosten infolge von Ernteverlusten bestehen⁴. Letztere setzen sich zusammen aus den Preisabschlägen aufgrund von Auswuchs und der Trocknungskosten, falls das Getreide einen Feuchtigkeitsgehalt über 15 % aufweist. Die Berechnung der Kosten der Weizenernte erfolgt in drei Schritten, dem Berechnen der Maschinenkosten, dem Abschätzen der Verluste und schliesslich der Addition der beiden Komponenten.

Im **ersten Schritt** wird die Anzahl der Mähdrescher für die 1000 Hektaren bestimmt. Ausgehend von fünf Dreschern wird die Anzahl schrittweise um fünf erhöht, bis 50 Mähdrescher vorhanden sind. Davon kann die Anzahl Hektaren pro Mähdrescher abgeleitet werden (z. B. 200 Hektaren pro Drescher). Es gilt die Annahme, dass nur ein Maschinentyp eingesetzt wird (Arbeitsbreite 5 m, 150 kW Leistung). Bei den Maschinenkosten pro Hektare stützen wir uns auf die Angaben von Ammann (2006) und unterscheiden zwischen variablen und fixen Kosten. Die variablen Kosten pro Hektare bestehen aus Treibstoff, Wartung und Reparaturen. Da nur eine bestimmte Mechanisierung verwendet wird, sind sie in allen nachfolgenden Varianten identisch. Die Fixkosten pro Hektare (Abschreibungen, Zins für das gebundene Kapital, Versicherungsprämien und Gebäudekosten) hängen hingegen von der Auslastung ab. Der verwendete Mähdreschertyp hat eine

⁴ Für einen Überblick über bestehende Literatur zu Ernterisiken und Maschineneinsatz sei auf Davis und Patrick (2002) verwiesen.

technische Nutzungsdauer von 2700 Hektaren und wird während maximal 12 Jahren eingesetzt, was einer jährlichen Auslastung von 225 Hektaren entspricht. Wird dieser Wert überschritten, verringert sich die Anzahl der Nutzungsjahre. Bei einem Unterschreiten des Wertes wird angenommen, dass die technische Nutzungsdauer nicht ausgeschöpft wird und entsprechend höhere Fixkosten pro Hektare resultieren. Es gilt zu berücksichtigen, dass die Mähdrescher ausserhalb der Weizenernte auch für andere Kulturen wie Wintergerste oder Mais eingesetzt werden. Deren Ernten finden zu anderen Zeitpunkten statt und erstrecken sich über grössere Zeiträume, womit die Verfügbarkeit von Mähdrescher weniger kritisch ist als während der Weizenernte. Basierend auf den angebauten Flächen (SBV 2006), nehmen wir an, dass die Weizenernte⁵ 60 % der jährlichen Auslastung ausmacht und die restlichen 40 % durch andere Kulturen abgedeckt sind⁶.

In einem **zweiten Schritt** wird die gesamte Arbeitszeit pro Mähdrescher in Stunden berechnet. Ausgehend von einer Feldgrösse von zwei Hektaren und einer Feld-Hof-Distanz von drei Kilometern, sind zum Dreschen einer Hektare 1.09 Stunden notwendig (Schick und Stark 2003). Multipliziert man diesen Wert mit der Anzahl Hektaren (Schritt 1), ergeben sich die notwendigen Erntestunden. Diese werden den verfügbaren Erntestunden gegenübergestellt, die von drei Einflussgrössen abhängen:

- Während der **Keimruhe** findet kein Auswuchs (erneutes Auskeimen) statt. In Anlehnung an eine Experteneinschätzung gehen wir von einer Keimruhe-Dauer von fünf Tagen aus. Da verschiedene Sorten zum Anbau kommen, wird angenommen, dass es eine Verzögerung von maximal 7 Tagen gibt, womit ein Wert für die Keimruhe von 12 Tagen resultiert. Als Streuungsmass nehmen wir eine Standardabweichung von 2 Tagen an. Danach findet Auswuchs statt. Dabei unterscheiden wir zwei Phasen. In den ersten 20 Tagen ist die Qualitätseinbusse tiefer als in der zweiten,

⁵ Die Weizenernte beinhaltet auch Kulturen mit identischen Reifeterminen wie z. B. Sommergerste, Roggen, Dinkel, Triticale und Hafer.

⁶ Entsprechend muss die Weizenfläche mit dem Faktor 1.66 (=1/0.6) multipliziert werden, um die Gesamtauslastung zu erhalten. Im Falle der oben beschriebenen 200 Hektaren ergibt dies 333 Hektaren. Da dieser Wert über 225 Hektaren liegt, verkürzt sich die Nutzungsdauer auf 8 Jahre.

zeitlich unbeschränkten Phase. Für beide Auswuchsphasen wird ebenfalls eine Erntewahrscheinlichkeit von 50 Prozent angenommen.

- Der **mittlere Anteil an Erntetagen** macht eine Aussage darüber, an wie vielen Tagen in der betrachteten Phase geerntet werden kann. Basierend auf Wetterdaten der Wetterstation Tänikon für die Jahre 1981-2003 und einer vereinfachten Klassifikation der Schönwettertage (Luder 1982 und 1996)⁷ schätzen wir den langjährigen mittleren Anteil an Erntetagen in den Wochen 31 und 32 auf 50 % mit einer mittleren Streuung von Jahr zu Jahr von 20 %. Das entspricht einer Erntewahrscheinlichkeit von 50 ± 20 % unter heutigen Klimabedingungen und ebenso einem Wetterrisiko von 50 ± 20 %. In der Simulation wird diese Wahrscheinlichkeit stochastisch vorgegeben, wobei die Streuung als Standardabweichung interpretiert wird. Für die nachfolgende erste Auswuchsphase wird ebenfalls eine Erntewahrscheinlichkeit von 50 ± 20 % verwendet. Bei der zweiten Auswuchsphase spielt der Anteil an Erntetagen keine Rolle mehr: Die Wahrscheinlichkeit, dass die restliche Ernte in der unbegrenzt langen Phase eingebracht werden kann, wird mit 100 % angenommen.
- Pro Erntegelegenheit bzw. pro Tag stehen 10 Drescherstunden zur Verfügung. Da sich in dieser Zeitspanne der Feuchtigkeitsgehalt verändert, unterscheiden wir verschiedene **Zeitfenster** (Luder 1984), die in Tabelle 1 dargestellt sind. Das erste Zeitfenster dauert sechs Stunden pro Erntegelegenheit bzw. Erntetag und zieht aufgrund des Feuchtigkeitsgehalts von 15 % keine Trocknungskosten nach sich. Dementsprechend gibt es keinen Verlust. Unter Annahme eines Ertrags unter heutigen Klimabedingungen von 6 t ha^{-1} steigen die Trocknungskosten um $\text{CHF } 24 \text{ ha}^{-1}$ je Prozent Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes. Zusätzlich wird eine fixe Grundpauschale von 28 CHF ha^{-1} für die Trocknung angenommen. Ab dem fünften Zeitfenster muss der Abzug für Auswuchs von CHF

⁷ Die in Luder (1982, S. 77 ff) beschriebene Methode zur Auslese und Abgrenzung von Schönwetterperioden wird für diese Arbeit vereinfacht. Dementsprechend wird mit einer Schönwetterperiode und somit einer Erntegelegenheit gerechnet, wenn die Sättigungsdefizit-Summe der Luft an einem oder zwei aufeinander folgenden regenfreien Tagen den Grenzwert von $130 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ überschreitet. Bei der statistischen Auswertung wird die Überlappung zweier Ernteabläufe toleriert (Luder 1996).

750.- pro Hektare (CHF 125 t⁻¹) berücksichtigt werden, der in der zweiten Auswuchsphase auf CHF 1200.- (CHF 200 t⁻¹) ansteigt.

In einem durchschnittlichen Jahr stehen vom ersten Zeitfenster, bzw. von den besten Erntebedingungen, 36 Stunden zur Verfügung [50 % Wahrscheinlichkeit einer Erntegelegenheit x 12 Tage Keimruhe x 6 h/Tag].

Tab. 1: Zeitfenster für die Weizenernte

Phase	Zeitfenster Nr.	Feuchtigkeitsgehalt	Dauer pro Erntegelegenheit	Verlust in CHF pro Hektare
Normale Ernte, 12 Tage	1	15 %	6 h/ Tag	-
	2	16 %	2 h/ Tag	52
	3	17 %	1 h/ Tag	76
	4	18 %	1 h/ Tag	100
Erste Auswuchsphase, 20 Tage	5	15 %	6 h/ Tag	750
	6	16 %	2 h/ Tag	802
	7	17 %	1 h/ Tag	826
	8	18 %	1 h/ Tag	850
Zweite Auswuchsphase, unbeschränkt	9	18 %	unbeschränkt	1200

Für die Gegenüberstellung von benötigten und verfügbaren Erntestunden wird eine optimale Ausnutzung von Letzteren angenommen, was die Existenz einer perfekten Wetterprognose für die ganze Ernte impliziert⁸. Zuerst wird das beste Zeitfenster berücksichtigt. Reicht dieses für die gesamte Ernte nicht aus, wird auf das zweitbeste und in der Folge auf alle weiteren Erntefenster zurückgegriffen. Das heisst für

⁸ In der Praxis werden zu Beginn der Ernte suboptimale Zeitfenster weniger genutzt in der Hoffnung, durch Zuwarten bessere Wetterbedingungen nutzen zu können. Im Modell dagegen werden suboptimale Zeitfenster von Anbeginn verwendet.

jede verwendete Anzahl von Erntemaschinen werden nur diejenigen Kosten betrachtet, die bei optimalem Einsatz der Mährescher entstehen. Es resultieren die beanspruchten Stunden in den Erntefenstern, wobei ab dem zweiten Erntefenster Verluste anfallen.

Der **dritte** und letzte **Schritt** beinhaltet das Addieren der Maschinenkosten und der Verluste infolge Auswuchs und Nachtrockenen.

Die zur Nachbildung der Ungewissheit benötigten Zufallszahlen werden mit der sogenannten Monte-Carlo-Simulation erzeugt (Wöhe und Döring 2005). Dabei führen wir ausgehend von den mittels Normalverteilung generierten stochastischen Variablen (Wahrscheinlichkeit einer Erntegelegenheit⁹, Dauer der Keimruhe) die Schritte (1) bis (3) jeweils 1000 Mal mit Microsoft Excel durch. Aus dieser Simulation (d.h. dem Durchschnitt der 1000 Wiederholungen) werden die totalen Kosten (Verluste durch Trocknung und Auswuchs, sowie Maschinenkosten) für alle betrachteten Anzahlen von Mähreschern je 1000 ha berechnet. Daraus ergibt sich eine Funktion der totalen Kosten in Abhängigkeit der Maschinenzahl. Daraus kann die optimale, das heisst die totalen Kosten minimierende Anzahl von Maschinen bestimmt werden (vgl. Donaldson 1968).

3. Szenarien-Annahmen

Die totalen Erntekosten werden sowohl für heutige als auch für zukünftige Klimabedingungen berechnet, wobei Veränderungen bis zu den Jahren 2030 und 2050 betrachtet werden. Gemäss OcCC (2007) muss in der Nordschweiz in den nächsten Dekaden mit höheren Temperaturen und weniger Niederschlägen im Sommerhalbjahr gerechnet werden. Konkret nehmen wir für die Wochen 31 und 32¹⁰ eine Erhöhung der mittleren Temperatur von +1,4 °C (2030) bzw. 2,7 °C (2050) und eine Abnahme der Häufigkeit von Regentagen von 9 % (2030) bzw. 16 % (2050) an. Ausgehend von diesen Projektionen und

⁹ Da die Wahrscheinlichkeit einer Erntegelegenheit sich zwischen 0 und 1 bewegen, ist eine Überprüfung der Zufallsvariablen notwendig. Liegt die Wahrscheinlichkeit über 1 oder unter 0, wird der entsprechende Wert durch 1 oder 0 ersetzt.

¹⁰ Eine durch die Klimaerwärmung mögliche Verschiebung des Zeitraums der Ernte wurde für diese Arbeit nicht berücksichtigt.

der vereinfachten Klassifikation von Schönwettertagen kann die Erntewahrscheinlichkeit in den Wochen 31 und 32 unter zukünftigen Klimabedingungen abgeschätzt werden. Diese beträgt 65 % (2030, Tab. 2) bzw. 75 % (2050). Um der zunehmenden Variabilität des Klimas Rechnung zu tragen, nehmen wir für beide Szenarien (2030 und 2050) eine Zunahme der mittleren Streuung (Jahr zu Jahr) auf 25 % an¹¹. Bezüglich der Keimruhe sind die Annahmen für alle drei Szenarien mit 12 Tagen und einer Standardabweichung von 2 Tagen identisch.

Prognostizierte Änderungen klimatischer Bedingungen sowie die steigende CO₂-Konzentration führen zu höheren Weizenerträgen (Torriani et al. 2007a). Unter Verwendung eines Ansatzes, der biophysikalische und ökonomische Modellierung miteinander integriert, analysieren Finger und Schmid (2008) Effekte des Klimawandels auf Weizenerträge für das östliche Schweizer Mittelland. Unter unveränderten Managementbedingungen (z. B. Düngung) werden Ertragssteigerungen um ca. 2,5 % auf 6,15 t ha⁻¹ und bis 2050 um ca. 3,5 % auf 6,21 t ha⁻¹ vorhergesagt. Es wird angenommen, dass der zusätzliche Ertrag keinen Einfluss auf die Dreschzeit pro Hektare hat, jedoch die möglichen Ernteverluste vergrößert.

Tab. 2: Annahmen der Szenarien

Szenario	Erntewahrscheinlichkeit in %		Keimruhe in Tagen		Ertrag (t ha ⁻¹)
	μ	σ	μ	σ	
Heute	50	20	12	2	6.0
2030	65	25			6.15
2050	75				6.21

4. Resultate

In Tab. 3 sind die Resultate, d.h. die Maschinenkosten, die Verluste (Mittelwert und Standardabweichung) sowie die daraus resultierenden totalen Kosten für die jeweilige Anzahl von Erntemaschinen zusammen-

¹¹ Angaben zur Zunahme der Klimavariabilität beziehen sich auf die Ergebnissen von Vidale et al. (2007).

gefasst. Alle drei Klimaszenarien (Heute, 2030, 2050) werden hierbei betrachtet. Die Maschinenkosten hängen nur von der Maschinendichte ab, d.h. der Anzahl Mähdrescher für die Referenzfläche von 1000 ha. Sie sind für alle drei Szenarien identisch und steigen von CHF 237.- (5 Mähdrescher) auf CHF 1035.- (50 Mähdrescher) an.

Die Verluste durch Auswuchs und Nachtrockenen nehmen in der Zukunft deutlich ab. Durch die höhere Wahrscheinlichkeit einer Erntegelegenheit reichen die Zeitfenster mit keinen oder geringen Verlusten zunehmend für die ganze Ernte aus. Im Jahr 2030 können bei jeweils gleicher Maschinendichte bis zu CHF 130.- pro Hektare eingespart werden (5 Mähdrescher). Für das Szenario 2050 beläuft sich die maximale Einsparung auf CHF 206.- Die Anzahl der notwendigen Mähdrescher, um die Ernteverluste auf maximal CHF 50.- zu beschränken, verdeutlichen dies. Unter heutigen Bedingungen sind dazu 35 oder mehr Mähdrescher für die 1000 Hektaren notwendig, im Jahr 2030 reichen 25 Drescher bzw. 20 im Jahre 2050 dazu aus. Die Ergebnisse für die Verluste werden durch die hohen Standardabweichungen relativiert, die auf eine beachtliche Streuung hinweisen. In allen drei Szenarien sinken die Standardabweichungen mit zunehmender Anzahl Mähdrescher.

Tab. 3: Kosten pro Hektare in CHF

Anzahl Mähdrescher	Maschinenkosten in CHF	Ernteverlust in CHF						Totale Kosten in CHF		
		Heute		2030		2050		Heute	2030	2050
		μ	σ	μ	σ	μ	σ			
5	237	735	220	604	220	528	191	972	842	766
10	296	396	230	261	223	199	183	691	557	495
15	388	228	240	129	195	79	146	616	518	468
20	481	130	213	83	194	38	113	610	563	519
25	573	93	203	47	164	18	80	666	620	591
30	665	64	168	29	138	15	79	730	695	681
35	758	47	169	28	139	9	62	805	786	767
40	850	37	164	22	119	6	59	887	873	857
45	943	33	155	17	107	7	75	976	960	950
50	1035	36	170	15	101	5	72	1071	1051	1040

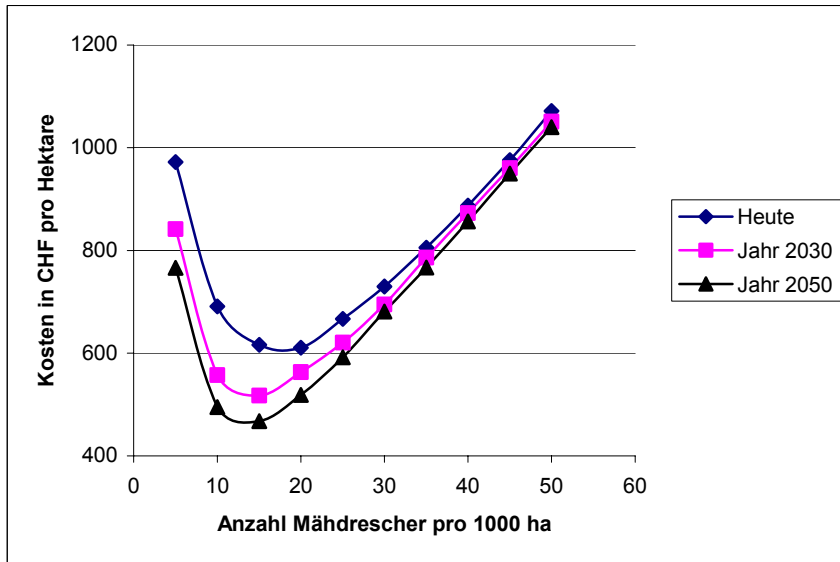


Abb. 1: Totale Kosten pro Hektare in CHF.

Der Verlauf der totalen Kosten ist in Abb. 1 aufgezeigt. Die optimale, d.h. die totalen Kosten minimierende Anzahl von Mähdreschern liegt bei heutigen Bedingungen bei 20 Mähdreschern bei CHF 610.- In beiden Zukunftsszenarien wird das Kostenminimum bei 15 Mähdreschern erreicht (CHF 518.- 2030 bzw. CHF 468.- 2050). Falls die optimale Mechanisierung gewählt wird, können aufgrund des Klimawandels bis zum Jahr 2030 Einsparungen von CHF 92.- oder 15 % erzielt werden. Für das Jahr 2050 beläuft sich die Kostenersparnis auf CHF 142.- bzw. 23%. Die erreichte Kostenreduktion zwischen den heutigen Bedingungen zu den beiden Szenarien 2030 und 2050 sowie zwischen diesen beiden Zukunftsszenarien ist auf einem Signifikanzniveau von 1 % verschieden von Null¹².

¹² Ein Mann-Whitney-U-Test wird verwendet, um die drei Szenarien zu vergleichen. Dabei beschränken wir uns auf die relevanten Fälle mit 10, 15 und 20 Mähdreschern.

5. Schlussfolgerungen und Diskussion

Inhalt dieses Artikels ist der Einfluss des Klimas auf die Verluste bei der Weizenernte, welche am Beispiel der Region Frauenfeld analysiert werden. Klimawandel führt auf Grund steigender Erntewahrscheinlichkeiten trotz höherer Variabilität des Klimas zu signifikant tieferen Erntekosten, da die Kapazität der Erntemaschinen reduziert werden kann.

Durch Klimawandel induzierte Veränderungen der Erntekosten wie sie in dieser Studie berechnet werden, können verwendet werden, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Deckungsbeiträge einzelner Kulturen in der Schweiz (vgl. Torriani et al. 2007b) oder klimatisch ähnlicher Gebiete (z.B. Gandorfer und Kersebaum 2008) detaillierter zu erfassen. Unsere Analyse zeigt, dass die hier verwendete Methodik der stochastischen Simulation, welche in der Analyse von Erntemaschinenkapazitäten häufig verwendet wird (z. B. Donaldson 1968, Davis und Patrick 2002), auch nützlich ist, um zukünftige Erntebedingungen zu simulieren.

Es gilt zu beachten, dass die Übertragbarkeit simulierter Ergebnisse auf die realen Entscheide der Landwirte limitiert ist. Beim Vergleich mit den beobachteten, d.h. von Landwirten gewählten, Erntemaschinenkapazitäten wird häufig festgestellt, dass modellierte, d.h. kostenminimale, Kapazitäten wesentlich überschritten werden (vgl. Donaldson 1968, Lips und Bolli 2007). Eine Erklärung hierfür ist, dass die technische Nutzungsdauer in der Praxis kaum erreicht wird. Zudem kann es zu Fehleinschätzungen der vorhandenen respektive der benötigten Kapazität durch die Landwirte kommen (Donaldson 1968). Aufgrund substanzieller Unterschiede zwischen beobachteter und kostenminimaler Mechanisierung gehen Lips und Bolli (2007) zudem von einer Risikoaversion der Landwirte aus.

Eine Erweiterung unseres Modellierungsansatzes sollte diesen Phänomenen Rechnung tragen. So ist zum Beispiel beim Vorliegen von Risikoaversion auch der Produzentenpreis der betrachteten Kultur von Bedeutung. Dies ist insbesondere für die Schweiz relevant, da eine Marktliberalisierung wie die Annäherung an die Gemeinsame Agrarpolitik der EU zu einem deutlichen Rückgang der zukünftigen Getreidepreise führen kann. Bei Risikoaversion der Landwirte würde

dies, ceteris paribus, zu einer weiteren Reduktion der Dichte von Erntemaschinen führen.

Literatur

- Ammann H., (2006). Maschinenkosten 2007. ART-Bericht Nr. 664, Tänikon, Schweiz.
- ART, (2007). Grundlagenbericht 2006, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Tänikon, Schweiz.
- Davis T.D. und G.F. Patrick, (2002). The Effect of Producers' Risk Attitudes on Sizing the Harvest and On-farm Drying System. Canadian Journal of Agricultural Economics 50, 1-14.
- Donaldson G.F., (1968). Allowing for Weather Risk in Assessing Harvest Machinery Capacity. American Journal of Agricultural Economics 50, 24-40.
- Finger R. und S. Schmid, (2008). Modeling Agricultural Production Risk and the Adaptation to Climate Change. Agricultural Finance Review, 68, 25-41.
- Flückiger S. und P. Rieder, (1997). Klimaänderung und Landwirtschaft. VDF Hochschulverlag, Zürich.
- Gandorfer M. und Ch. Kersebaum, (2008). Auswirkungen des Klimawandels auf das ökonomische Risiko in der Weizenproduktion an drei ausgewählten bayerischen Standorten, Yearbook of Socioeconomics in Agriculture, im Druck.
- Lips M. und S. Bolli, (2007). Weather risk and machinery costs - A Monte Carlo simulation for the wheat harvest. Paper presented at the 101st EAAE Seminar "Management of Climate Risks in Agriculture", July 05-06, 2007, Berlin, Germany. Online verfügbar unter: www.eaae.hu-berlin.de.
- Luder W., (1982). Ermittlung der Erntegelegenheiten und des Verlustrisikos aufgrund von Klimadaten. Dissertation Nr. 6981, Eidg. Technische Hochschule, Zürich.
- Luder W., (1984). Mähdrusch: Verfügbare Zeit, erforderliche Kapazität, Kosten. FAT-Blätter für Landtechnik Nr. 248, Tänikon, Schweiz.
- Luder W., (1996). Wetterrisiko und verfügbare Feldarbeitstage in der Schweiz. FAT-Bericht Nr. 490, Tänikon, Schweiz.

OcCC, (2007). Klimaänderung und die Schweiz 2050. Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC), Bern. Online verfügbar unter: www.occc.ch/products/ch2050/CH2050-bericht_d.html.

Torriani D., P. Calanca, S. Schmid, M. Beniston und J. Fuhrer, (2007a). Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. *Climate Research* 34, 59-69.

Torriani D., P. Calanca, M. Lips, H. Ammann, M. Beniston und J. Fuhrer (2007b). Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland. *Regional Environmental Change* 7, 209-221.

SBV, (2006). Statistische Schätzungen und Erhebungen über Landwirtschaft und Ernährung 2005, Schweizerischer Bauernverband (SBV), Brugg, Schweiz.

Schick M. und R. Stark, (2003). Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zum Getreideanbau. Von der Bodenbearbeitung bis zum Management. FAT-Bericht Nr. 604, Tänikon, Schweiz.

Stiens H., (1990). Zur Kalkulation des Schlagkraftrisikos. *Berichte über Landwirtschaft* 68: 218-229.

Vidale P.L., D. Lüthi, R. Wegmann und C. Schär, (2007). European summer climate variability in a heterogeneous multi-model ensemble. *Climatic Change* 81, 209-232.

Wöhe G. und U. Döring (2005). Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 22. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München.

Kontaktautor:

Markus Lips
Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
Forschungsgruppe Betriebswirtschaft
Tänikon
CH-8356 Ettenhausen
Email: markus.lips@art.admin.ch