

# Pflanzen

## Bestimmung des Ertragszuwachses im Getreideanbau

Andreas Messerli und Ali Ferjani, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen

Auskünfte: Ali Ferjani, E-Mail: ali.ferjani@fat.admin.ch, Tel. +41 (0)52 368 32 75, Fax +41 (0)52 365 11 90

### Zusammenfassung

**Die Naturalerträge der Getreidekulturen variieren von Jahr zu Jahr. Dies lässt sich hauptsächlich auf die Witterung während der Vegetationsperiode zurückführen. Dabei ist aber über die Zeit ein Trend zu immer höheren Erträgen festzustellen. Dies hängt mit dem biologisch-technischen Fortschritt zusammen. Ziel dieser Arbeit war es, die Naturalerträge von Getreide zu analysieren und festzustellen, wie gross der jährliche Zuwachs bei Weizen, Gerste und Triticale ist. Mit einer linearen Regression wurde der durchschnittliche Mehrertrag berechnet. Dazu verwendet wurden Informationen zu den Inputfaktoren, zum Wetter, zum Standort und zur Landbauform. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass für Weizen und Gerste der durchschnittliche Mehrertrag rund eine halbe Dezitonne pro Hektare und Jahr beträgt und für Triticale rund 1,5 Dezitonnen.**

Eine Analyse des technischen Fortschritts und der Naturalerträge in der Schweizer Landwirtschaft ist nur möglich, wenn die Eigenheiten des Schweizer Agrarsektors mit einbezogen werden. Angesichts der sich wandelnden Agrarpolitik hat bereits eine Extensivierung der Produktion stattgefunden. Wegen der Politikabhängigkeit der Landwirtschaft wird auch eingewendet, dass nicht nur die erzielbaren Erträge, sondern auch die politischen Rahmenbedingungen die Intensität beeinflussen (Malitius 1996). Zusätzlich sind die Ansprüche der Konsumentinnen und Konsumenten gestiegen. Diese fragen immer mehr biologische und extensiv produzierte Produkte nach. Angesichts dieses Extensivierungstrends ist es von Interesse, den Ertragszuwachs im Getreideanbau zu quantifizieren.

### Messung des Ertragszuwachses

Der technische Fortschritt ist ein Teil des Ertragszuwachses. Dazu gehören Innovationen in den Bereichen Züchtung, Pflanzenschutz, Anbau- und Erntetechnik.

Dies ermöglicht die Steigerung von Naturalertrag und Ertragssicherheit im Getreideanbau.

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, wie gross der Ertragszuwachs bei Getreidekulturen ist. Dabei lässt sich der technische Fortschritt physisch nicht messen. Über ein Jahr betrachtet fällt der technische Fortschritt nicht gross ins Gewicht, da viele andere Faktoren für die real erzielten Naturalerträge verantwortlich sind. Wenn aber ein längerer Zeitabschnitt betrachtet wird, fällt ein Trend zu höheren Erträgen auf. In dieser Arbeit wurde versucht, den durchschnittlichen Ertragszuwachs für drei Getreidearten (Weizen, Gerste, Triticale) zu bestimmen. Da die Naturalerträge grossen jährlichen Schwankungen unterliegen sind, mussten auch die Gründe für diese Varianz analysiert werden, bevor Aussagen über den Ertragszuwachs gemacht werden konnten.

### Literatur zur Schätzung der Naturalerträge

Für die Analyse des durchschnittlichen Mehrertrags ist

es hilfreich, wenn man sich auf die wesentlichen Einflussfaktoren für den Naturalertrag einer Kultur beschränkt. Neben den natürlichen Bedingungen sind auch viele technische oder wirtschaftliche Einflussfaktoren zu nennen, die sich in den vergangenen Jahrzehnten massgeblich verändert haben und dazu führten, dass die Naturalerträge über die Zeit anstiegen. Der Einsatz von Mineraldünger, chemischen Pflanzenschutzmitteln, modernen Sorten sowie leistungsstarker und standortangepasster Anbau- und Erntetechnik haben zum Ertragszuwachs beigetragen (Bahrs *et al.* 2003). Als mögliche wirtschaftliche Gründe für den Ertragszuwachs werden auch die Anbaufläche, der Outputpreis beziehungsweise die Inputpreise genannt (Griffiths *et al.* 1999). Weiter kann auch die Agrarpolitik beziehungsweise deren Umsetzung, Einfluss auf das ökonomische Umfeld nehmen und damit den Ertrag beeinflussen (Geigel *et al.* 1984). In der Literatur werden auch Modelle vorgeschlagen, die gänzlich auf Wetterdaten verzichten und nur mit Zeitreihentechniken, basierend auf vorangegangenen Erträgen, arbeiten (Boken 2000).

Für die Analyse der Ertragsentwicklung des gesamten Agrarsektors empfiehlt es sich nach unterschiedlichen Kriterien aufzuteilen und die Erträge einzeln zu schätzen (Baier 1977). Dieses Vorgehen erleichtert und verbessert die Modelle. Es macht aber nur Sinn, wenn die

Datenreihen auch entsprechend detailliert vorhanden sind oder man sie geeignet transformieren kann. Einerseits kann in Bodentyp und Klima aufgeteilt werden. Um eine solche Unterteilung zu bilden, können zum Beispiel Exposition, Niederschlagsmenge oder Höhe über Meer als Kriterien dienen. Andererseits kann eine Aufteilung in Ertragsklassen erfolgen (Mohanty *et al.* 1998). Dabei wird die Unterteilung in Abhängigkeit der erzielten Erträge vollzogen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Unterteilung auf Grund der Intensität der Bewirtschaftung (Boken 2000).

Der Einfluss der Witterung auf die Naturalerträge ist gross. Die jährlichen Ertragsschwankungen können hauptsächlich auf das Wetter während der Vegetationsperiode zurückgeführt werden (Gallagher *et al.* 1987, Brunt 1997). In der längeren Frist wird sicher der Klimawandel einen gewissen Einfluss auf den zu erwartenden Ertrag haben (Calanca *et al.* 2005). Kurzfristig kann der Klimawandel jedoch vernachlässigt werden.

### Das Getreide-Modell

In dieser Arbeit wurde versucht, mit einer Multiplen Linearen Regression die Naturalerträge von Weizen, Gerste und Triticale in der Schweiz zu modellieren. Mit den Kosten der Inputfaktoren, der geographischen Lage und der Produktionsart des Betriebes sowie mit den meteorologischen Einflussgrössen Temperatur und Niederschlagssumme und einem Trend konnten Modelle für die Naturalerträge erstellt werden. Der Trend wird in linearer Form verwendet, und er dient als Mass für den durchschnittlichen Ertragszuwachs.

Bei der Berechnung des Modells wurde beachtet, dass für jede Landwirtschaftszone und

### Modellgleichung

Für die Multiple Lineare Regression wurde folgende Gleichung verwendet:

$$Er_t = a + bI + cM + dD_1 + eD_2 + fD_3 + gT$$

mit

$Er_t$ : Naturalertrag für Kultur und Jahr  $t$

$I$ : Produktionsfaktor-Variablen (Pflanzenschutz, Dünger und Interaktion)

$M$ : Meteo-Variablen (Temperatur und Niederschlag)

$D_1$ : Dummy-Variablen (Landwirtschaftszonen)

$D_2$ : Dummy-Variable (biologischer Anbau)

$D_3$ : Dummy-Variable (Extensioanbau)

$T$ : Trend-Variable

$a, b, c, d, e, f$  und  $g$ : geschätzte Koeffizienten

Landbauform separate Aussagen gemacht werden konnten. Deshalb wurden Dummyvariablen für die Landwirtschaftszone beziehungsweise die Region, für die Landbauform sowie den Extensioanbau eingeführt. Zum Beispiel nimmt die Dummyvariable für die Ackerbauzone den Wert eins an, wenn die Beobachtung für die Ackerbauzone gilt, sonst ist sie null.

### Datengrundlage

Als Datengrundlage dienten die einzelbetrieblichen Daten der Zentralen Auswertung der FAT sowie meteorologische Daten von MeteoSchweiz. Verwendet wurden Daten von 1993 bis 2003, da ab 1993 eine Neuausrichtung der Schweizerischen Agrarpolitik auf die Extensivierung der Landwirtschaft stattfand.

Als Produktionsfaktoren wurden die Kosten für Pflanzenschutz und Dünger verwendet. Da die Daten nur die realen Kosten, nicht aber die verbrauchte Menge beziehungsweise die Qualität widerspiegeln, sind sie nur eine Annäherung an die tatsächlichen Gegebenheiten. Um eine zusätzliche Variable für die Intensität der Bewirtschaftung

zu bekommen, wurde eine Interaktionsvariable eingeführt. Die nominalen Kosten wurden mit einem Preisindex auf der Basis von 1997 bereinigt.

Die Landwirtschaftszonen beruhen auf der Zoneneinteilung des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW). Die Betriebe werden in acht Zonen eingeteilt (Landwirtschaftliche Zonen-Verordnung 2003). Die Landwirtschaftszonen geben in beschränkter Masse Auskunft über die Standortfaktoren. Weiter werden zwei Landbauformen unterschieden: integriert (ÖLN) mit der Option Extensioanbau sowie biologisch bewirtschaftete Betriebe.

Zur Bestimmung des Witterungseinflusses wurden monatliche Temperaturmittelwerte und Niederschlagssummen verwendet. Die Wahl von anderen meteorologischen Variablen wäre möglich. Diese korrelieren jedoch stark untereinander, weshalb eine Beschränkung auf die wesentlichen meteorologischen Kenngrössen Sinn macht (Binder 1978). Die Temperatur- und Niederschlagswerte gelten für die ganze Schweiz. Sie wurden aus den Daten der wichtigsten Wetterstationen im Mittelland

als Mittelwert berechnet. Dabei wurden folgende Stationen von MeteoSchweiz gewählt: Bern, Biel, Buchs-Suhr, Changins, Genf, Güttingen, Payerne und Reckenholz. Mit dem Mittelwert aus diesen Stationen konnte der Witterungseinfluss auf die Weizenenerträge in der ganzen Schweiz gut abgebildet werden. Einmalige, negative Wetterereignisse wie zum Beispiel Hagel konnten nicht in die Berechnungen einbezogen werden, da sie meist nur lokal sind.

### Einflüsse auf die Naturalerträge

Weizen, Gerste und Triticale kommen in der Schweiz in einer Winter- und einer Sommerform vor, wobei erstere flächenmässig dominiert. Deshalb wird hier nicht zwischen Winter- und Sommerform unterschieden.

Für die Modelle von Weizen, Gerste und Triticale werden die Pflanzenschutzkosten und die

Interaktionsvariable für Pflanzenschutz- und Düngerkosten verwendet. Die wichtigsten meteorologischen Einflüsse auf den Naturalertrag werden durch die Temperaturmittel in den Monaten April bis Juni und die Niederschlagssummen in den Monaten Mai und Juni abgebildet. Zur Unterscheidung des Standortes und der Landbauform wurden Dummyvariablen verwendet. Schliesslich stellt die Trendvariable den technischen Fortschritt dar. In Tabelle 1 sind die Resultate der drei Modelle für Weizen, Gerste und Triticale abgebildet.

Erwartungsgemäss haben höhere Pflanzenschutz- und Düngerkosten einen positiven Einfluss auf den Naturalertrag. Die Interaktionsvariable ist bei allen drei Kulturen signifikant, die Pflanzenschutzkosten hingegen nur bei Weizen. Von den Kosten kann nur auf das Intensitätsniveau geschlossen wer-

den, nicht aber auf die effektiv ausgebrachte Menge und Art von Pflanzenschutzmitteln und Dünger.

Die Witterung während der Vegetationsperiode beeinflusst wesentlich den Ertrag bei der Ernte. Dabei spielen vor allem die Wetterverhältnisse während gewissen Entwicklungsstadien (Bestockung, Schossen und Blüte) der Kultur eine Rolle. Das Pflanzenwachstum der drei Kulturen beginnt mit etwa 5-6°C, und bei 8-25°C wird eine hohe Wachstumsleistung erreicht. Höhere Temperaturen sind für die Ertragsbildung ungünstig, die Pflanze leidet unter Hitzestress. Allfällige Auswinterungsschäden können mittels Bestockung im Frühling grösstenteils regeneriert werden. Wasser ist im Getreideanbau in der Schweiz meist kein limitierender Faktor, zu viele Niederschläge erhöhen jedoch den Krankheits-

**Tab. 1. Determinanten der Modelle für Weizen, Gerste und Triticale**

Variablen	Koeffizienten			t-Statistik		
	Weizen	Gerste	Triticale	Weizen	Gerste	Triticale
Konstante	103,00	108,61	147,54	14,94	12,51	12,36
Pflanzenschutzkosten in Fr.	0,03	-0,01*	0,01*	2,48	-0,37	0,40
Interaktionsvariable in 1000 Fr.	0,05	0,04	0,11	2,27	4,40	2,50
April Temperatur in °C	1,84	1,90	1,85	7,73	5,76	4,29
Mai Temperatur in °C	-2,78	-3,39	-2,91	-11,04	-9,74	-6,12
Juni Temperatur in °C	-1,64	-1,37	-3,30	-7,23	-4,43	-7,88
Mai Niederschlag in mm	-0,07	-0,12	-0,11	-14,13	-17,34	-10,88
Juni Niederschlag in mm	-0,06	-0,03	-0,10	-6,18	-2,73	-5,70
Dummy Ackerbauzone	10,82	15,74	5,74	9,78	15,39	4,73
Dummy erw. Übergangszone	10,55	13,19	5,74	9,94	13,07	4,73
Dummy Übergangszone	8,31	9,97	5,74	7,75	9,87	4,73
Dummy Hügelzone	7,59	10,09	4,21	6,94	10,09	3,23
Dummy Bergzone 1	5,90	7,55	4,21	5,62	7,56	3,23
Dummy biologischer Anbau	-5,24	-3,83	-7,94	-4,03	-3,22	-3,69
Dummy Extensioanbau	-3,28	-6,27	-3,31	-2,35	-6,59	-3,21
Trend (linear)	0,44	0,61	1,47	4,04	4,45	7,61
Bestimmtheitsmass	0,91	0,87	0,69			
Anzahl Beobachtungen	224	258	170			

Alle Variablen sind auf dem 5%-Niveau signifikant, ausser \* nicht signifikant





**Abb. 1.** Die Witterung wie auch die Technik sind mitverantwortlich für die jährlich erwirtschafteten Erträge. (Foto: Werner Luder, Agroscope FAT Tänikon)

druck. Demnach begünstigen hohe Temperaturen im April das Wachstum der Pflanzen. Bei zu hohen Temperaturen im Mai und Juni leidet die Kultur

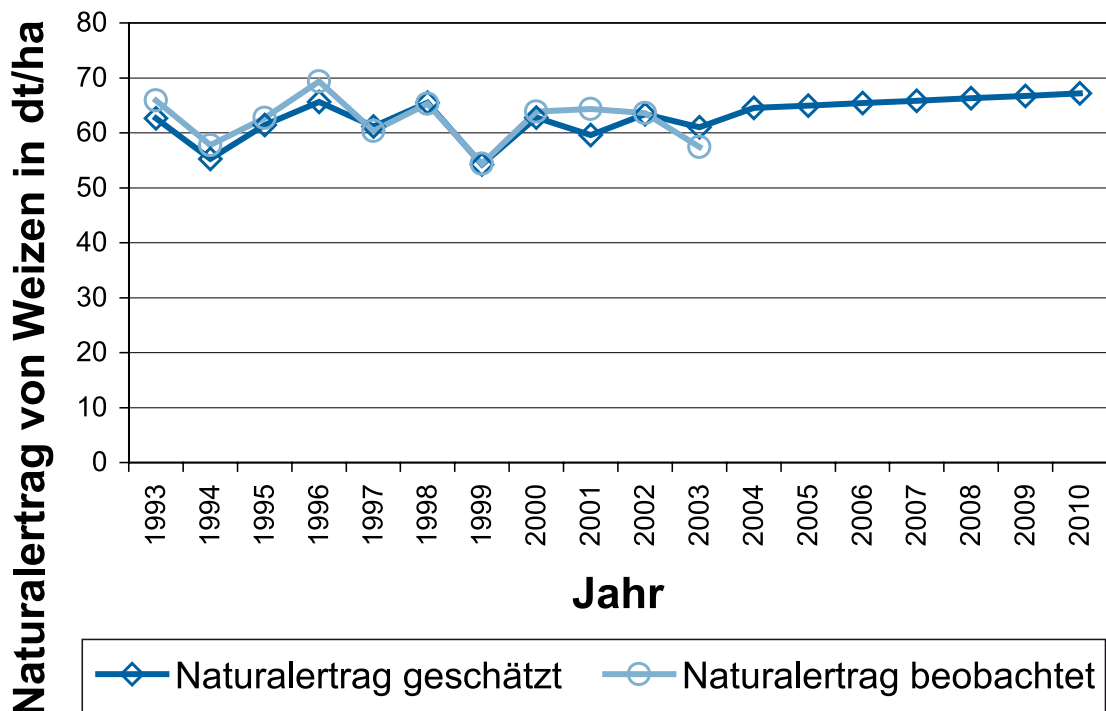
unter Hitzestress. Zuviel Niederschläge im Mai und Juni wirken sich negativ auf den Ertrag aus, der Krankheitsdruck steigt.

Die Dummyvariablen für die Landwirtschaftszonen zeigen, dass je nach Standort mit einem anderen Ertragsniveau gerechnet werden muss. In höheren



**Abb. 2.** Je nach Landbauform stehen dem Betriebsleiter andere Möglichkeiten für den Pflanzenschutz zur Verfügung, was sich auf den zu erwartenden Ertrag auswirkt. (Foto: Andreas Messerli, Agroscope FAT Tänikon)

Abb. 3. Effektiv erwirtschaftete und geschätzte Naturalerträge von Weizen für ÖLN-Betriebe im Talgebiet und Prognose der Naturalerträge bis zum Jahr 2010.



Lagen und hügeligeren Gebieten ist das Ertragsniveau tiefer als im Mittelland. Die Unterteilung der Betriebe nach ihrer Landbauform mit den Dummyvariablen für biologische Bewirtschaftung und den Extensivbau zeigen, dass mit diesen Produktionsformen durchschnittlich weniger Ertrag erwartet werden kann.

Trotz einer sehr kurzen Datenreihe von elf Jahren ist es möglich, bei allen drei Kulturen einen Trend festzustellen. Dabei ist der Ertragszuwachs bei den Modellen für Weizen und Gerste weniger gross als bei Triticale. Für den Weizen- und Gersteanbau beträgt der Ertragszuwachs rund eine halbe Dezitonne pro Hektare und Jahr oder knapp 1%. Der Ertragszuwachs ist bei Triticale rund drei Mal grösser als bei Weizen und Gerste. Für das Triticale-Modell sind weniger Beobachtungen vorhanden, und das Bestimmtheitsmass ist kleiner, weshalb der Wert für den Trend eher unsicher ist.

### Wie hoch sind die künftigen Naturalerträge?

Eine Ertragsprognose für die Entwicklung der Naturalerträge von Weizen ist nur begrenzt möglich, da man das Wetter nicht voraussehen kann. In Abbildung 3 sind exemplarisch die beobachteten Naturalerträge von Weizen und die vom Modell geschätzten Naturalerträge von 1993 bis 2003 von ÖLN-Betrieben im Talgebiet zu sehen. Die Daten für 2004 standen während den Modellrechnungen noch nicht zur Verfügung, weshalb die beobachteten Werte von 2004 weggelassen wurden. Weiter ist eine Prognose für den Naturalertrag bis 2010 abgebildet. Für diese Ertragsprognose wurden die Koeffizienten des Weizen-Modells aus der Tabelle 1 verwendet. Die Variablen wurden aus dem gewichteten Mittelwert der Jahre 1993 bis 2003 berechnet und als konstant angenommen. Einzig die Trendvariable wurde dem Jahr angepasst.

Obwohl auf den ersten Blick in Abbildung 3 kein positiver Trend herauszulesen ist, war es mit dem Weizen-Modell möglich diesen neben den andern Einflussgrössen zu identifizieren.

### Schlussbemerkungen

Im betrachteten Zeitraum von 1993 bis 2003 konnte ein Ertragszuwachs beim Anbau von Weizen, Gerste und Triticale festgestellt werden. Auf welche Faktoren dieser Zuwachs zurückzuführen ist, kann man aus dem Modell nicht feststellen, wobei der technische Fortschritt sicher einen grossen Einfluss hat. Offen bleibt, ob auch ein gewisser Lerneffekt seitens der Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter und der Strukturwandel einen Beitrag zur Trendvariablen geleistet haben. Denn mit den politischen Extensivierungsmassnahmen zu Beginn der Neunzigerjahre mussten diese erst lernen, mit weniger Input an Dünger und Pflanzenschutzmitteln zu wirtschaften.

Die sich ständig ändernden wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen führen dazu, dass die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse an Gültigkeit einbüßen werden. Es ist nicht auszuschließen, dass die Öffnung der Agrarmärkte und der mögliche Anbau von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) die Entwicklung der Anbauflächen und der Naturerträge beeinflussen werden.

## Literatur

- Bahrs E., Dohms H. & Rust I., 2004. Notwendigkeit und Konsequenzen einer aktualisierten Bodenschätzung in der Landwirtschaft aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In: Gesellschaft für wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. (Hrsg.): Schriften der Gesellschaft für wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. Bd. 39. Münster: Münster-Hiltrup, 2004, S. 461-470.
- Baier W., 1977. Crop-weather models and their use in yield assessments. World Meteorological Organization, Technical Note No. 151. Geneva. 48 S.
- Binder J. & Ortner K. M., 1978. Die Abhängigkeit der Erträge vom Witterungsverlauf. Schriftenreihe des Agrarwirtschaftlichen Instituts des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft Wien, Nr. 28. Wien. 147 S.
- Boken V. K., 2000. Forecasting spring wheat yield using time series analysis: A case study for the canadian prairies. *Agronomy Journal* **92**, 1047-1053.
- Brunt L., 1997. Nature or Nurture? Explaining english wheat yields in the agricultural revolution. Oxford University Discussion Paper in Economic and Social History, No. 19. Oxford. 21 S.
- Calanca P., Fuhrer J., Jsaper K., Torriani D., Keller F. & Dueri S., 2005. Klimawandel und landwirtschaftliche Produktion. *Agrarforschung* **12** (9), 392-397.
- Gallagher P., 1987. U. S. Soybean yields: Estimation and Forecasting with Nonsymmetric Disturbances. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. **71**, 796-803.
- Geigel J. M. & Sundquist W. B., 1984. A review and evaluation of weather-crop yield models. Staff Paper Series, P84-5. St. Paul. 63 S.
- Griffiths W., Thomson G. & Coelli T., 1999. Predicting output from seemingly unrelated area and yield equations. Working Paper Series in Agricultural and Resource Economics, No. 99-9. 22 S.
- Malitius O., 1996. Die Entwicklung landwirtschaftlicher Betriebe im Talgebiet der Schweiz. Diss. ETH Nr. 11877. Zürich.
- Mohanty S., Alexandratos N. & Bruinsma J., 1998. The long-term outlook for India. Centre for Agricultural and Rural Development, Technical Report, 98-TR 38. 23 S.

## RÉSUMÉ

### Détermination de l'augmentation des rendements physiques dans les cultures des céréales

Les rendements physiques des céréales varient d'une année à l'autre notamment suite aux conditions météorologiques durant la période de végétation. Toutefois, les rendements ont tendance à être toujours plus élevés, ce qui est dû au progrès bio-technologique. Cette étude avait pour objectif d'analyser les rendements physiques des céréales et de déterminer l'augmentation annuelle pour le blé, l'orge et le triticale. Une régression linéaire a permis de calculer l'augmentation moyenne des rendements physiques sur la base d'informations relatives aux intrants aux conditions météorologiques, au site et au mode de production. Les études ont montré que l'augmentation moyenne des rendements physiques du blé et de l'orge s'élevait à environ 50 kg par hectare et par an et à quelque 150 kg pour le triticale.

## SUMMARY

### Determination of increase in cereal crop yields

The cereal crop yields vary from year to year, mainly as a result of the weather during the growth period. Nevertheless, a trend towards ever-higher yields is observed over time. This has to do with biotechnological advances. The aim of this paper was to analyse the cereal crop yields and to determine the size of the annual increase in the case of wheat, barley and triticale crops. The average increase in yield was calculated with a linear regression, using information on the input factors, weather, location and type of farming. Tests showed that the average increase in yield per hectare and year was around 50 kg for wheat and barley, and around 150 kg for triticale.

**Key words:** cereals, yields, weather, biotechnological advances, linear regression