

Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sorte und Fungizidschutz in der Getreideproduktion

Raphaël Charles, Edouard Cholley und Peter Frei, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon
Auskünfte: Raphaël Charles, E-Mail: raphael.charles@acw.admin.ch, Tel. +41 22 363 46 59



Die Getreidefruchtfolge muss ausgeglichen sein. Die Anbautechniken kompensieren die phytosanitären Risiken nur teilweise.

Einleitung

Der Druck, die Anbauverfahren zu vereinfachen, ist gross. Eine getreidebetonte Fruchtfolge, die pfluglose Bodenbearbeitung und der begrenzte Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sind alles Möglichkeiten zur Senkung der Kosten oder zur Extensivierung der Kulturen. Auch der Sortenwahl kommt in diesem Verfahren Bedeutung zu. Gemäss Grundlagen des integrierten Pflanzenschutzes (Häni *et al.* 1990) senkt eine abwechslungsreiche Fruchtfolge die phytosanitären Risiken. Durch die Bodenbearbeitung werden Ernterückstände vergraben

und die Übertragung von Krankheiten oder Schädlingen von einer Kultur auf die andere eingedämmt. Schliesslich erlaubt die Sortenwahl über Resistenzen gegenüber Schaderregern zu verfügen. Jeder einzelne Faktor trägt spezifisch zum Anbausystem bei. Dies gilt es optimal zu berücksichtigen.

In einem Langzeitversuch zur Getreidefruchtfolge hat Vulliod (2007) bei einem Weizen in Monokultur einen Ertragseinbruch von 15% gegenüber einem Fruchtfolgeweizen beobachtet. Die verschiedenen, zum Minimieren der negativen Wirkungen der Monokultur getesteten Arten der Bodenbearbeitung, des Manage-

ments der Ernterückstände, der Stickstoffdüngung oder der Stoppelbearbeitung führten zu keinem signifikanten Ergebnis. Die Wirkung der Fungizidbehandlungen hingegen war signifikant. Es erwies sich dabei, dass die phytosanitären Risiken bei einem über 50 % liegenden Getreidebesatz zunehmen. Dieser Langzeitversuch wurde ab dem Jahr 2006 angepasst, indem die bereits bestehenden Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung durch die Faktoren Sorte und Fungizidschutz ergänzt wurden. Durch diese Ergänzung sollte ermittelt werden, inwieweit die Sortenresistenz gegenüber Krankheiten und der Fungizidschutz in der Lage waren, die phytosanitären Risiken aufgrund eines hohen Getreidebesatzes auszugleichen. Einige Arbeiten haben gezeigt, dass eine zusätzliche Düngung oder ein verstärkter phytosanitärer Schutz die Wirkung einer unausgeglichenen Fruchtfolge nicht zu kompensieren vermögen (Berzesenyi *et al.* 2000). Die Folgen der Monokultur variieren jedoch nach Weltregion und können unter gewissen Anbaubedingungen akzeptabel sein (Lithourgidis *et al.* 2006). Sind diese Beobachtungen bei den bodenklimatischen Bedingungen und Anbaubedingungen unserer Gegenden umsetzbar? Der vorliegende Beitrag untersucht den Winterweizenertrag unter Einfluss der Faktoren Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sorte und Fungizideinsatz, in der Annahme, dass nur in einem integrierten System hohe Erträge erreicht werden können. Die Beobachtungen zum phytosanitären Gesundheitszustand der Pflanzen während der Vegetationsperiode und zur Erntequalität werden in einem späteren Beitrag vorgestellt.

Material und Methode

Die Versuchsanlage für die Getreidefruchtfolge wurde in Nyon (Changins, 430 m ü. M.) im Jahre 1967 eingerichtet. Der Boden besteht aus Parabraunerde mit einem Anteil von 25 % Ton, 48 % Silt und 27 % Sand. Die durchwurzelbare Bodentiefe beträgt 70 bis 100 cm. Im Jahre 2004 lag der Gehalt an organischem Material zwischen 2,0 und 2,3 %. Die Fruchtbarkeitsindikatoren P, K und Mg waren zufriedenstellend (Vullioud 2007).

Gegenstand der vorliegenden Studie sind die Winterweizenkulturen während der Periode 2006 bis 2010. Dabei wurden vier Verfahren des Langzeit-Versuchsschemas (Vullioud 2007) berücksichtigt. Sie entsprechen der Kombination der Faktoren Fruchtfolge (Monokultur oder Winterweizenrotation, Winterraps, Winterweizen, Mais) und Bodenbearbeitung (Pflügen oder vereinfachte Anbautechniken). Diese vier Verfahren wurden durch zwei zusätzliche Untervarianten ergänzt (Sortenwahl und Fungizidbehandlung). Zwei Sorten mit kontrastie-

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Langzeitversuchs zur Getreidefruchtfolge wurden die seit 1967 bereits erforschten Faktoren – Fruchtfolge und Bodenbearbeitung – während drei Jahren (2006, 2008 und 2010) durch die Faktoren Sorte und Fungizidschutz erweitert. Diese Ergänzung erlaubt es zu beurteilen, inwieweit die Sortenresistenz gegenüber Krankheiten und der Fungizidschutz die phytosanitären Risiken im Zusammenhang mit einem hohen Winterweizenbesatz kompensieren; und wie die Bodenbearbeitung und die Sorten interagieren. Die Monokultur war mit einem um 8 bis 22 q/ha tieferen Ertrag verbunden, was hauptsächlich auf die tiefere Kornzahlproduktion pro Flächeneinheit zurückzuführen ist. In zwei von drei Jahren war die Wirkung der Bodenbearbeitung signifikant, mit einer Abweichung von 8 q/ha zugunsten des Pflügens. Die Abweichung zwischen den Sorten erreichte 8 bis 15 q/ha, was den bekannten Unterschieden zwischen den beiden getesteten Weizentypen entspricht. Der Ertragsgewinn durch den Fungizidschutz variierte zwischen 4 und 7 q/ha. Die Auswirkungen eines hohen Getreidebesatzes konnten nicht kompensiert werden. Die spezifischen Beiträge jedes einzelnen Faktors und die zahlreichen festgestellten Interaktionen zeigen einmal mehr, dass es für eine hochstehende Produktion notwendig ist, die Anbautechniken bestmöglichst einzubeziehen.

Tab. 1 | Ertrag (q/ha), Tausendkorngewicht (g) und Kornzahl/m² von Winterweizen für die verschiedenen Faktoren und deren Interaktionen

| Fruchtfolge - F | Ertrag | | | Tausendkorngewicht | | | Kornzahl in Tausend/m ² | | |
|-----------------------------|--------|--------|------|--------------------|--------|------|------------------------------------|--------|--------|
| | 2006 | 2008 | 2010 | 2006 | 2008 | 2010 | 2006 | 2008 | 2010 |
| Monokultur | 61,5 | 52,0 | 47,5 | 38,0 | 44,2 | 40,1 | 1,61 | 1,17 | 1,18 |
| Fruchtfolge | 69,2 | 65,6 | 69,9 | 40,0 | 45,8 | 45,5 | 1,73 | 1,43 | 1,54 |
| | ** | ** | ** | ** | p=0,08 | ** | ** | * | ** |
| Bodenbearb. - B | | | | | | | | | |
| Vereinf.Anb.t. | 61,2 | 58,4 | 54,6 | 38,8 | 44,6 | 41,8 | 1,57 | 1,30 | 1,29 |
| Pflügen | 69,5 | 59,2 | 62,8 | 39,2 | 45,4 | 43,8 | 1,77 | 1,30 | 1,43 |
| | ** | p=0,47 | ** | p=0,22 | * | ** | ** | p=1,00 | ** |
| Sorte - S | | | | | | | | | |
| Arina | 61,5 | 51,4 | 53,7 | 38,3 | 44,6 | 43,5 | 1,60 | 1,15 | 1,23 |
| Tapidor | 69,2 | 66,2 | 63,7 | 39,7 | 45,4 | 42,1 | 1,74 | 1,45 | 1,49 |
| | ** | ** | ** | ** | * | ** | ** | ** | ** |
| Fungizidschutz - P | | | | | | | | | |
| Unbehandelt | 62,1 | 55,5 | 56,7 | 38,2 | 43,5 | 41,8 | 1,62 | 1,27 | 1,35 |
| Behandelt | 68,6 | 62,1 | 60,7 | 39,8 | 46,5 | 43,8 | 1,72 | 1,33 | 1,37 |
| | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | p=0,15 |
| Interaktionen Wert p | | | | | | | | | |
| F * B | * | 0,41 | * | 0,10 | 0,40 | 0,17 | 0,24 | 0,57 | 0,09 |
| F * S | 1,00 | ** | ** | 0,07 | 0,93 | * | 0,51 | ** | ** |
| F * P | 0,43 | 0,23 | 0,29 | 0,65 | 0,51 | 0,37 | 0,54 | 0,58 | 0,43 |
| B * S | 0,60 | 0,88 | 0,23 | 0,16 | 0,10 | 0,74 | 0,24 | 0,61 | 0,21 |
| B * P | 0,53 | 0,19 | 0,92 | 1,00 | * | 0,55 | 0,68 | 0,48 | 0,81 |
| S * P | 0,23 | * | 0,07 | 0,38 | ** | 0,11 | 0,17 | 0,89 | 0,54 |
| F*B*S | 0,29 | 0,47 | 0,48 | 0,24 | 0,61 | 0,88 | 0,18 | 0,40 | 0,31 |
| F*B*P | 0,13 | 1,00 | * | 0,39 | 0,89 | 0,32 | 0,47 | 0,97 | 0,16 |
| F*S*P | 0,83 | 0,98 | * | 0,12 | 0,49 | 0,67 | 0,26 | 0,80 | 0,12 |
| B*S*P | ** | 0,61 | 0,10 | 0,08 | 0,44 | 0,63 | 0,08 | 0,81 | 0,12 |
| F*B*S*P | 0,07 | 0,56 | 0,12 | 0,56 | * | * | 0,20 | 0,96 | 0,54 |

*signifikant (p < 0,05); **hoch signifikant (p < 0,01).

renden agronomischen und technologischen Eigenschaften wurden miteinander verglichen: Arina der Klasse I, die seit 1992 in der Versuchsanlage vertreten ist, sowie Tapidor, ein Futterweizen (Levy *et al.* 2010). Es wurden zwei Fungizidschutzstufen eingeführt: kein Schutz oder drei gezielte, gegen Halmbruch, (Prochloraz, BBCH 31–32), Blattkrankheiten (Azoxystrobin und Cyproconazol, ab BBCH 45) und die Ähren (Prothioconazol, ab BBCH 61) ausgerichtete Behandlungen. Wachstumsregulatoren kamen nicht zum Einsatz. Die Ernterückstände wurden auf dem Feld liegen gelassen. Je nach Jahr wurden gemäss Düngungsgrundlagen (Sinaj *et al.* 2009) 140 bis 190 kg N/ha ausgebracht. Die Pflege der Kulturen erfolgte ansonsten gemäss guter Agrarpraxis.

Die Studie konzentrierte sich auf jene Jahre, in denen Weizen auf der gesamten Versuchsstruktur angebaut wurde. Bei den Fruchtfolgeverfahren betraf es die Kulturen nach Mais im Jahre 2006 und 2010, und nach Raps im Jahre 2008. Der Ertrag (15 % Feuchtigkeit) und seine Komponenten (Tausendkorngewicht, Anzahl Körner pro m²) wurden auf jeder Parzelle einzeln erhoben. Sporadisch wurden zusätzliche Beobachtungen durchgeführt (Anzahl Ähren pro m²). Die Massnahmen betrafen auch die Qualität der Ernten und die Entwicklung der Weizenkrankheiten. Diese Resultate werden in einer nächsten Publikation veröffentlicht. Das ursprüngliche Versuchsschema besteht aus randomisierten Blöcken, die viermal wiederholt werden. Die Einführung der beiden

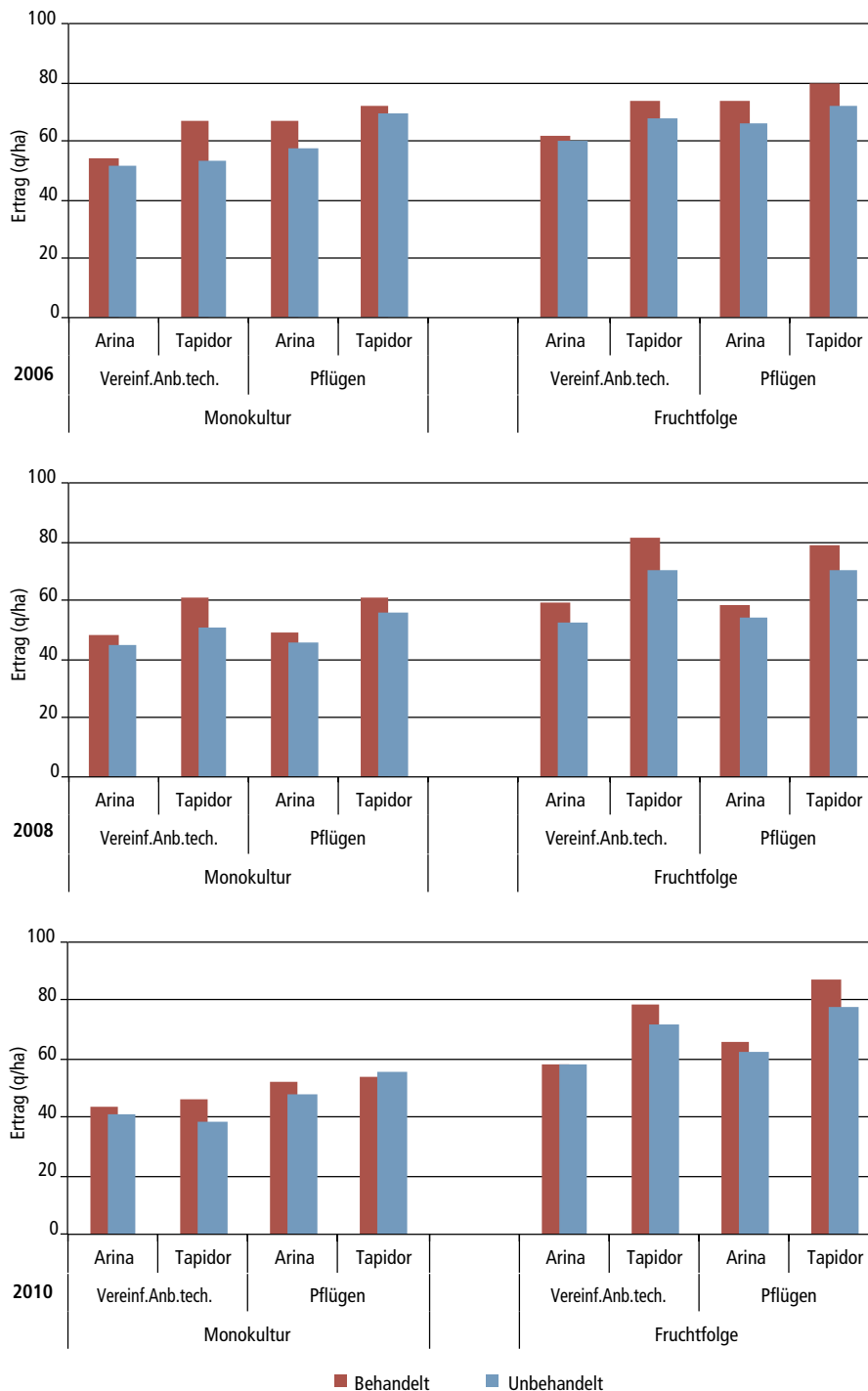


Abb. 1 | Winterweizenertrag aufgrund der Faktoren Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sorte und Fungizidschutz in den Jahren 2006, 2008 und 2010. Statistische Auswertung in der Tabelle 1.

zusätzlichen Faktoren für diese Studie führt zu einem Versuchsschema, das statistisch als Split-split-split plot ausgewertet wird (Gomez et Gomez 1984).

Während der Studie waren die Jahrestemperaturen allgemein höher als im Mittel der letzten 30 Jahre. Die Monate Januar und Februar waren in den ersten drei

Jahren eher trocken. Die Monate März bis Mai 2006 waren feucht (>100 mm/Monat). März und April 2008 waren regnerisch. Im November und Dezember 2009 war die Niederschlagsmenge besonders hoch (140 mm/Monat). Abgesehen von einem mässig nassen Mai (80 mm) war der Frühling 2010 trocken.

Tab. 2 | Komponenten der Varianz beim Ertrag, beim Korngewicht und bei der Kornzahl pro Flächeneinheit, ausgedrückt in Prozent der Durchschnittsbeete für die vier untersuchten Faktoren und sämtliche Interaktionen

| | 2006 | 2008 | 2010 |
|------------------------------------------|------|------|------|
| Ertrag | | | |
| Fruchtfolge | 24 | 39 | 66 |
| Bodenbearb. | 28 | 0 | 9 |
| Sorte | 24 | 45 | 13 |
| Fungizid | 17 | 9 | 2 |
| Interaktionen | 7 | 6 | 10 |
| Tausendkorng. | | | |
| Fruchtfolge | 38 | 16 | 70 |
| Bodenbearb. | 1 | 3 | 9 |
| Sorte | 18 | 4 | 5 |
| Fungizid | 22 | 57 | 9 |
| Interaktionen | 21 | 20 | 7 |
| Kornzahl in Tausend/m² | | | |
| Fruchtfolge | 15 | 38 | 53 |
| Bodenbearb. | 41 | 0 | 8 |
| Sorte | 21 | 54 | 29 |
| Fungizid | 11 | 2 | 0 |
| Interaktionen | 12 | 6 | 10 |

Resultate

Erträge

Die durchschnittlichen Erträge des Versuchs erreichten 65 q/ha im Jahr 2006 und 59 q/ha in den Folgejahren. Die Abweichungen zwischen den Verfahren waren gross und bewegten sich im Jahr 2010 zwischen 39 und 87 q/ha. Die vier Faktoren beeinflussten die jährlichen Erträge jeweils signifikant (Tab. 1). Diese Resultate sind durch zahlreiche einfache oder komplexe Interaktionen fein differenziert (Abb. 1 und Tab. 1).

Die Monokultur war mit einer Ertragseinbusse um 8 - 22 q/ha (je nach Jahr), d.h. einem Rückgang um 11 % im Jahr 2006, um 21 % im Jahr 2008 und um 32 % im Jahr 2010, verbunden. In den Jahren 2006 und 2010 war die Wirkung der Bodenbearbeitung signifikant, mit einer Abweichung von 8 q/ha zugunsten des Pflügens, während im Jahr 2008 keine Abweichung beobachtet wurde. Die Differenzen zwischen den Sorten beliefen sich auf 8 bis 15 q/ha, was den bekannten Unterschieden zwischen einem Qualitäts-Brotweizen (Arina) und einem Futterweizen (Tapidor; Levy *et al.* 2010) entspricht. Die Fungizidbehandlungen waren jedes Jahr wirksam und führten zu einem Mehrertrag von 4 – 7 q/ha.

Die Wechselbeziehung zwischen den Faktoren des Anbausystems wird durch die Interaktion zwischen den vier Faktoren, die nahe der Signifikanz in den Jahren 2006 und 2010 liegt, unterstrichen. In den gleichen Jahren war die Überlegenheit der Bodenbearbeitung gegenüber den vereinfachten Anbautechniken bei der Monokultur ausgeprägter als bei der Fruchtfolge. Kombiniert haben diese beiden Faktoren ausserdem signifikant mit dem Fungizideinsatz interagiert (Tendenz im Jahre 2006).

Im Jahr 2010 begrenzte die Monokultur die Erträge beider Sorten auf identischer Stufe. Bei der Fruchtfolge hingegen lag das Ertragspotenzial von Tapidor über jenem von Arina. Im Jahr 2008 betrug diese Abweichung 20 q/ha. Die Sorten haben spezifisch auf den Fungizideinsatz reagiert. Bei Tapidor war er in den Jahren 2008 und 2010 wirksamer. Der Fungizidschutz hatte im Allgemeinen die gleiche Wirkung, unabhängig von der Bodenbearbeitung und der Fruchtfolge. Hingegen trug er zu Interaktionen zwischen mehreren Faktoren in relativ komplexen Beziehungen bei. Im Jahr 2006 begünstigten die Fungizidbehandlungen systematisch den Ertrag von Tapidor, während der Pflanzenschutz bei Arina nur nach dem Pflügen zu beobachten war. Im Jahre 2010 profitierte Tapidor stärker von der Wirkung der Fruchtfolge und vom Fungizidschutz als Arina und erreichte einen Ertrag von 83 q/ha.

Die Fruchtfolge aber auch die Sortenwahl erklären zu einem grossen Teil die unterschiedlichen Erträge (Tab. 2). Der Beitrag der Bodenbearbeitung variierte von Jahr zu Jahr und war im Jahr 2008 sogar gleich Null. Diese drei Faktoren haben zu gleichen Teilen auf die Ertragsvarianz des Jahres 2006, welches das ertragsreichste Jahr war (8 q/ha Abweichung zwischen den Varianten eines gleichen Faktors), beigetragen. Im Jahr 2008 hatten die Faktoren Sorte und Fruchtfolge den grössten Einfluss. 2010 bestimmte die Fruchtfolge 66 % der Varianz. Demgegenüber ging der Ertrag bei der Monokultur um 22 q/ha zurück. Die Wirkung des Fungizids war nie so entscheidend wie diejenige der anderen Faktoren. Die Interaktionen machten gesamthaft einen Höchstanteil von 10 % der Varianz aus.

Korngewicht

Das Tausendkorngewicht (TKG) wurde im Jahr 2010 eher durch die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung begünstigt, sowie die Fungizidbehandlungen im Jahr 2008 (Tab. 1). Auch wurden Unterschiede zwischen den Sorten deutlich, aber die beste Sorte zeigte von Jahr zu Jahr Schwankungen. Die signifikante Interaktion zwischen den vier Faktoren im Jahr 2008 und 2010 unterstreicht die Komplexität der Verfahren in Bezug auf das

Kornwachstum. Im Jahr 2008 war der Fungizidschutz für Tapidor sehr förderlich und der fehlende Schutz begrenzte vor allem die vereinfachten Anbaubedingungen. Die Fruchtfolge und der Fungizideinsatz spielten eine wichtige Rolle bei der Varianz des Tausendkorngewichts (Tab. 2). Die Interaktionen zwischen der Sorte und den anderen Faktoren erklärten zu einem grossen Teil die Varianz des Tausendkorngewichts, insbesondere im Jahre 2008 mit dem Fungizidschutz (14 % der Varianz).

Kornzahl

Die vier Faktoren haben die produzierte Kornzahl pro Flächeneinheit signifikant beeinflusst (Tab. 1). Im Jahre 2010 bewirkte die Fruchtfolge gegenüber der Monokultur eine Zunahme von 360 Körnern/m². In den Jahren 2008 und 2010 wurde eine starke Interaktion zwischen Fruchtfolge und Sorte beobachtet. Der Unterschied zwischen den beiden Fruchtfolgen war dabei bei Tapidor viel grösser als bei Arina. Bezüglich der Varianz hing die

Anzahl Körner pro Flächeneinheit in den Jahren 2008 und 2010 hauptsächlich von der Fruchtfolge und der Sorte ab, während im Jahr 2006 die Bodenbearbeitung entscheidend war (Tab. 2). Die Wirkung der Fungizidbehandlung war im Allgemeinen gering.

Der Ährenbestand (Beobachtungen nur bei Arina) ist bei der Rotation signifikant höher mit 550 Ähren/m² im Jahr 2008 respektive 500 im Jahr 2010, d.h. 100 Ähren mehr als bei der Monokultur. Die Bodenbearbeitung spielte nur im Jahr 2008 eine signifikante Rolle (60 Ähren mehr mit der vereinfachten Anbautechnik).

Ertragsbildung

Der Ertrag setzt sich aus der Kornzahl, multipliziert mit ihrem Gewicht, zusammen. Im Laufe der drei Jahre waren die Schwankungen der Kornzahl verhältnismässig höher als jene des Tausendkorngewichts (Tab. 1). Die Kornzahl spielte also eine grössere Rolle. Ausserdem variiert die Beziehung zwischen diesen beiden Eigen- >

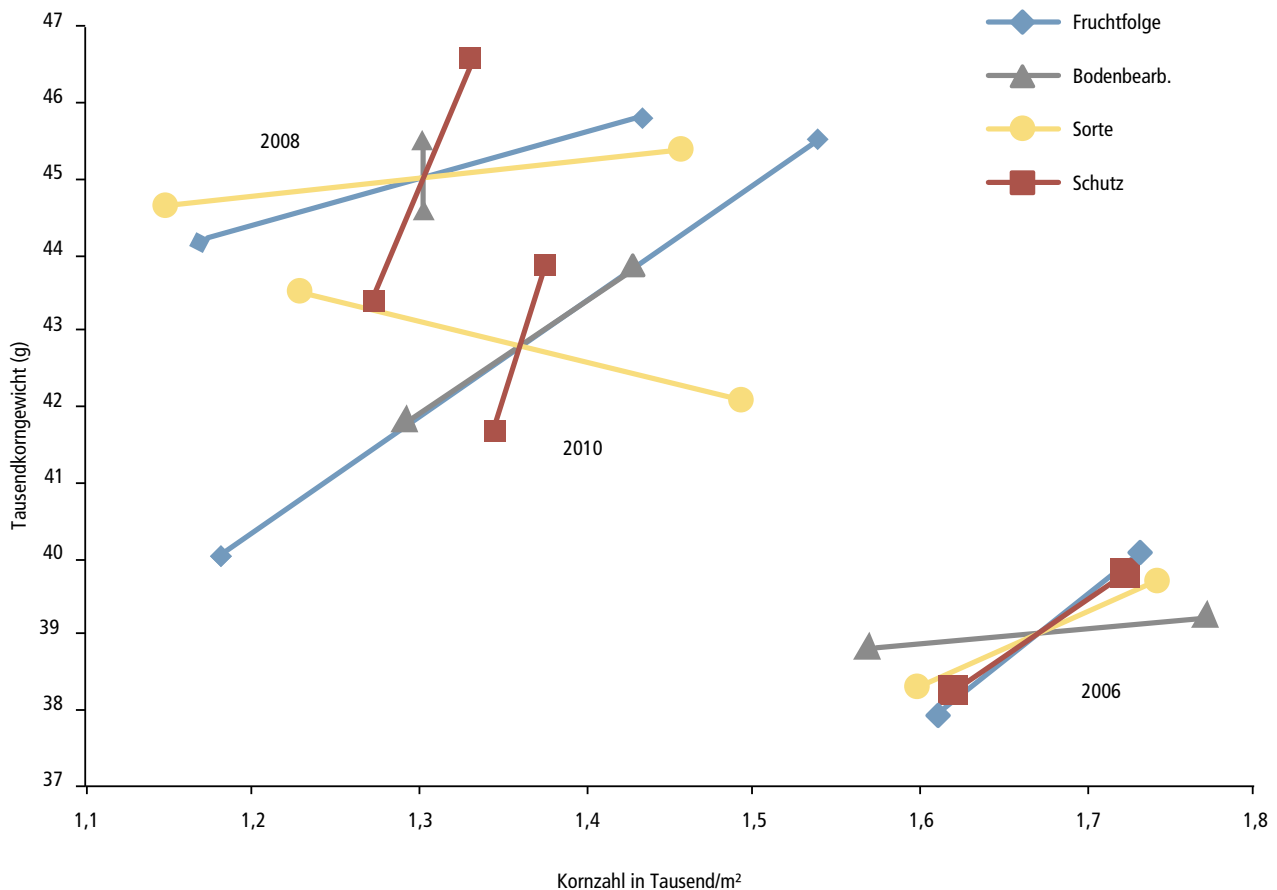


Abb. 2 | Beziehung zwischen der Kornzahl pro Flächeneinheit und dem Winterweizenkorngewicht bei den vier Faktoren und in den drei Beobachtungsjahren. Ergebnisse der Varianten in Tabelle 1.

schaften unter Einwirkung der Produktionsfaktoren. Indem die Varianten miteinander in Bezug gebracht werden, kann der Haupteinfluss jedes Faktors auf die Fruchtbarkeit (Kornzahl) und die Wachstumsbedingungen (Korngewicht; Abb. 2) ermittelt werden. Die Anzahl Körner und das Korngewicht haben beinahe gleichermaßen auf die Produktionsfaktoren reagiert: Die besten Varianten führten zu zahlreichen schweren Körnern, begrenzende Bedingungen zu kleinen und leichten Körnern (Abb. 2). Allgemein hatte der Fungizidschutz eine stärkere Wirkung auf das Tausendkorngewicht als die anderen Faktoren. Die einzige ausgleichende Wirkung zwischen Kornzahl und Korngewicht konnte beim Faktor Sorte im Jahr 2010 festgestellt werden. In diesem Jahr wirkten sich die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung analog auf die ertragsrelevanten Eigenschaften aus. Die Fruchtfolge war die Ursache der grossen Ertragschwankungen, wie dies die Abweichung bei der Kornzahl/m² illustriert. Das Jahr 2006 zeichnet sich durch eine hohe Kornzahl und ein relativ tiefes Tausendkorngewicht aus. Bei diesen Bedingungen lagen die Kornzahl und das Korngewicht bei praktisch allen Faktoren dicht beieinander.

Diskussion

Mehrere Arbeiten haben gezeigt, dass die Fruchtfolge die Wirkungen des Pflanzenschutzes, der Bodenbearbeitung (Deike *et al.* 2008) und der Düngung (Sieling *et al.* 2005) überwiegt. Die Ertragseinbusse ist regelmässig proportional zum Getreideanteil der Fruchtfolge (Berzsenyi *et al.* 2000). Sieling *et al.* (2005) haben in der Literatur Werte zwischen 8 bis 57 % festgestellt. Vez (1975) stellte im Verlauf der ersten Jahre einer Monokultur einen Ertragsrückgang um 35 % und in der Folge um 15 bis 18 % fest. Letzterer Wert wurde von Vulllioud (2007) langfristig festgestellt. Die Beständigkeit dieses Rückgangs wird durch die vorliegende Studie nuanciert, die eine sehr starke Schwankung je nach Jahr zeigt und die zum Teil von der Produktionsintensität abhängt. Die Gründe für die Ertragsverluste bei der Monokultur können vor allem auf die sinkende Kornzahl pro Flächeneinheit zurückgeführt werden. Dieses Ergebnis wird durch andere Arbeiten bestätigt (Sieling *et al.* 2005; Berzsenyi *et al.* 2000).

Im Vergleich zum Pflügen wirkte die reduzierte Bodenbearbeitung in zwei von drei Jahren begrenzend. Die vorgängig auf der gleichen Versuchsanlage durchgeführten Arbeiten hatten ähnliche Erträge zwischen Bodenbearbeitung und vereinfachten Anbautechniken (Vulllioud 2007) gezeigt, dies allerdings auf lange Dauer gesehen und bei weniger intensiven Produktionsbedingungen.

Die zahlreichen Interaktionsfälle, wo Sorte und Fungizidschutz beteiligt sind, sowie die jahresbedingt unterschiedlichen Reaktionen zeigen, dass die Anfälligkeit der Sorten gegenüber Krankheiten die Weizenerträge beeinflusst hat, aber auch, dass die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung eine signifikante Wirkung auf den Gesundheitszustand der Kulturen hatten. Gindrat *et al.* (2003) und Schürch *et al.* (2009) haben die Beziehungen zwischen den Getreideanbauverfahren und dem Pilzbefall bei ähnlichen bodenklimatischen Bedingungen nachgewiesen. Diese Studien können mit den in diesem Versuch gemachten Beobachtungen bezüglich Krankheiten verglichen werden.

Schlussfolgerungen

- Nach 43 Jahren Monokultur erreichte der Weizenertrag im Mittel 54 q/ha. Der übermässige Getreideanteil senkte die Erträge um 10 bis 20 q/ha. Die Abweichungen zwischen den Sorten betragen 10 bis 15 q/ha. Die Bodenbearbeitung führte zu einer Abweichung von 10 q/ha. Der Fungizidschutz brachte einen Mehrertrag von rund 5 q/ha.
- Diese Ertragsschwankungen heben die spezifischen Wirkungen der einzelnen untersuchten Faktoren hervor. Die Notwendigkeit eines optimalen Einbezuges der Produktionsfaktoren wird dadurch deutlich.
- Die Fruchtfolge stellt einen wichtigen Faktor für hohe Erträge dar. Keiner der anderen Faktoren konnte die ungünstigen Wirkungen der Monokultur ausgleichen.
- Die Fruchtfolge, aber auch die Bodenbearbeitung, beeinflussen die Fruchtbarkeit der Pflanzen und Ähren stärker als das Kornwachstum, welches eher durch den Fungizideinsatz begünstigt wird.
- Die Kombination zwischen produktiver Sorte und intensivem Fungizidschutz war besonders beim Pflügen sehr vorteilhaft. Im Hinblick auf das Ertragspotenzial gab es zwischen den Sorten Unterschiede, die sich bei der Erstellung von integrierten Anbausystemen als wichtig und praxistauglich erwiesen.
- Ein später erscheinender Beitrag soll den Zusammenhang zwischen der Kulturleistung und der Entwicklung von Krankheiten aufzeigen. Es sollen auch die Wirkungen auf die Erntequalität aufgezeigt werden. ■

Riassunto**Rotazione delle colture, lavorazione del suolo, varietà e protezione fungina nella produzione cerealicola**

Nell'ambito di una prova a lunga durata dedicata alla rotazione cerealicola, i fattori varietà e protezione fungina sono stati aggiunti durante tre anni (2006, 2008 e 2010) ai fattori rotazione delle colture e lavorazione del suolo già studiati dal 1967. Attraverso questo complemento si trattava di valutare in quale misura la tolleranza varietale alle malattie e la protezione fungina permettono di compensare i rischi fitosanitari dovuti a un carico elevato di frumento autunnale e come interagisce la lavorazione del suolo. La monocoltura ha penalizzato la resa da 8 a 22 q/ha, riduzione dovuta principalmente al numero minore di grani per unità di superficie. Due anni su tre, l'effetto della lavorazione del suolo era significativa con uno scarto di 8 q/ha in favore dell'aratura. La differenza tra le varietà ha raggiunto i 8-15 q/ha, corrispondente alle differenze note tra i due tipi di frumento testati. Il guadagno di resa attraverso la protezione fungina varia tra 4 e 7 q/ha. Gli effetti di un carico elevato di cereali non possono essere compensati. I contributi specifici di ciascun fattore e le numerose interazioni rilevate sottolineano la necessità di integrare al meglio le tecniche colturali per una produzione di alto livello.

Literatur

- Bersenyi Z., Györfly B. & Lap D. Q., 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *Europ. J. Agronomy* 13, 225–244.
- Deike S., Pallutt B., Melander B., Straasemeyer J. & Christen O., 2008. Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case-study of long-term field experiments in Germany and Denmark. *Europ. J. Agronomy* 29, 191–199.
- Gindrat D., Frei P. & Pellet D., 2003. Prévion du risque de piétin-verse sur le blé d'automne en Suisse. *Revue suisse Agric.* 35 (3), 113–116.
- Häni F., Popow G., Reinhard H., Schwarz A., Tanner K. & Vorlet M., 1990. Protection des plantes en production intégrée. LMZ Centrale des moyens d'enseignement agricole, Zollikofen, 334 p.
- Levy L., Collaud J. F., Schwärzel R., Bertossa M., Hiltbrunner J., Anders M., Stoll P. & Peter D., 2010. Liste recommandée des variétés de céréales pour la récolte 2011. *Recherche Agronomique Suisse* 1 (7–8), 1–8.

Summary**Crop rotation, soil tillage, variety and fungicide protection in cereal production**

Within the framework of long-term experiment devoted to cereal production, the factors variety and fungicide protection were added during three years (2006, 2008 and 2010) to the factors crop rotation and soil tillage already studied since 1967. By this complement, the aim was to evaluate to what extent variety disease tolerance and fungicide protection may compensate for phytosanitary risks due to high ratio of winter wheat in rotation, and how far soil tillage interacts. Monoculture penalized grain yield from 8 to 22 q/ha, mainly because of the reduction of the grains number produced per unit of area. Two years out of three, the effect of soil tillage was significant, with a variation of 8 q/ha in favor of the ploughing. The difference between varieties reached 8 to 15 q/ha, corresponding to the known variation between the two types of wheat tested. The additional yield by fungicide protection varied between 4 and 7 q/ha. The effects of a high ratio of cereals in rotation could not be compensated. The specific contributions of each factor and many stressed interactions point out the need for better integrating the cropping techniques for a high-level production.

Key words: winter wheat, crop rotation, monoculture, soil tillage, fungicide.

- Lithourgidis A. S., Damalas C. A. & Gagianas A. A., 2006. Long-term yield patterns for continuous winter wheat cropping in northern Greece. *Europ. J. Agronomy* 25, 208–214.
- Schürch S., Frei P., Frey R., Wullschlegler J. & Sierotzki H., 2009. Septoriose du blé: sensibilité aux fongicides de la population suisse de *Mycosphaerella graminicola*. *Revue suisse Agric.* 35 (3), 113–116.
- Sieling K., Stahl C., Winkelmann C. & Christen O., 2005. Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *Europ. J. Agronomy* 22, 71–84.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et herbages. *Revue suisse Agric.* 41 (1), 98 p.
- Vez A., 1975. Observations dans les essais de rotation de cultures à Changins au cours des 10 dernières années. *Revue suisse Agric.* 7 (4), 113–118.
- Vulliod P., 2007. Rotations de cultures chargées en blé: est-il possible d'en diminuer les inconvénients? *Revue suisse Agric.* 39 (1), 15–23.