

Krankheiten beim Winterweizen: Einfluss des Anbausystems und Auswirkungen auf den Ertrag

Raphaël Charles, Edouard Cholley, Peter Frei und Fabio Mascher,
Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

Auskünfte: Raphaël Charles, E-Mail: raphael.charles@acw.admin.ch, Tel. +41 22 363 46 59



Seit 1967 wird eine Winterweizenmonokultur in einem Versuch am Standort von ACW Changins beobachtet. Die Erträge sind deutlich tiefer als in der normalen Fruchtfolge. Dies ist auf die Präsenz mehrerer Krankheiten zurückzuführen, die nur teilweise durch die anderen Anbaumassnahmen bekämpft werden konnten.

Einleitung

Das Anbausystem beeinflusst die Winterweizenenerträge in unterschiedlicher Weise. Ein kürzlich publizierter Artikel (Charles *et al.* 2011) zeigte, inwieweit die Winterweizenproduktion durch Bodenbewirtschaftung (Fruchtfolge), Bodenbearbeitung, Sorte und Fungizidschutz beeinflusst wird. Diese von 2006 bis 2010 im Rahmen eines Langzeitversuchs durchgeführte Studie verglich die Erträge von Winterweizen in Monokultur mit jenen in Rotation und stellte sie dem Jahr 1967 gegenüber. Die Resultate haben gezeigt, dass der Getreidebesatz den Hauptfaktor für die Ertragsschwankung darstellt; ein übermässiger Besatz senkte nämlich den Ertrag um 10 bis 20 q/ha. Die Abweichung zwischen den Sorten betrug bei günstigen Bedingungen 10 bis 15 q/ha. Je nach Bodenbearbeitung wurde ein Ertragsunterschied von bis zu 10 q/ha beobachtet. Der Fungizidschutz führte zu einem Ertragsgewinn von rund 5 q/ha. Die Beiträge

von Sorte und Fungizidschutz zur Ertragssteigerung sowie die je nach Jahr unterschiedlichen Reaktionen zeigten einen signifikanten Einfluss der Krankheiten. Die zahlreichen Interaktionsfälle zwischen diesen Faktoren lassen auch vermuten, dass der Gesundheitszustand der Kulturen ebenfalls von der Bodenbewirtschaftung und der Bodenbearbeitung abhängt. Gindrat *et al.* (2003) und Schürch *et al.* (2009) haben zahlreiche Zusammenhänge zwischen den Getreideanbausystemen und dem Pilzbefall bei identischen standörtlichen Bedingungen nachgewiesen. Der vorliegende Beitrag bezweckt die Untersuchung der Auswirkung des Anbausystems auf die Entwicklung von Krankheiten und die Diskussion ihrer Auswirkungen auf den Körnerertrag von Winterweizen. Nach erfolgter Gegenüberstellung sämtlicher Krankheiten mit der landwirtschaftlichen Praxis wird es schliesslich möglich sein, auf die Anbausysteme ausgerichtete Vorbeugemassnahmen anzubieten.

Material und Methoden

Die vorliegende Studie wurde in einen im Jahre 1967 in Nyon (Changins, 430 m) eingerichteten und der Getreidefruchtfolge gewidmeten Langzeitversuch integriert. Der Boden bestand aus Parabraunerde mit einem Anteil von 25 % Ton, 48 % Silt und 27 % Sand und wies eine nutzbare Gründigkeit von 70 bis 100 cm auf. Im Jahre 2004 lag der Gehalt an organischem Material zwischen 2,0 und 2,3 % und die Fruchtbarkeitsindikatoren waren zufriedenstellend (Vullioud 2007). Während der Studienjahre 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.

Es wurden vier Verfahren des Langzeit-Versuchsschemas (Vullioud 2007) berücksichtigt. Sie entsprechen der Kombination der Faktoren Bodenbewirtschaftung (Monokultur oder Winterweizenfruchtfolge – Winter-

raps – Winterweizen – Mais) und Bodenbearbeitung (Pflügen oder vereinfachte Anbautechniken, TCS). Diese vier Verfahren wurden durch zwei zusätzliche Untervarianten ergänzt (Sortenwahl und Fungizidschutz). Zwei Sorten mit gegensätzlichen agronomischen und technologischen Eigenschaften wurden miteinander verglichen: Arina der Klasse I, die seit 1992 in der Versuchsanlage vertreten ist, und Tapidor, ein Futterweizen (Levy et al. 2010). Es wurden zwei Fungizidschutzstufen eingeführt: kein Schutz oder drei gezielte, auf Wurzelbrand, (Prochloraz, BBCH 31–32), das Laub (Azoxystrobin und Cyproconazol, ab BBCH 45) und die Ähren (Prothioconazol, ab BBCH 61) ausgerichtete Behandlungen. Die Studie konzentrierte sich auf drei Jahre; in der gesamten Versuchsanlage wurde ausschliesslich Weizen auf Weizen angebaut. Bei den Rotationsverfahren erfolgten die Beobachtungen bei Kulturen, die nach Mais (11.10.2005 und 07.10.2009) oder nach Raps (16.10.2007) und mit einer Dichte von je 450 Körnern/m² gesät worden waren. Die Ernterückstände wurden auf dem Feld liegen gelassen. Wachstumsregulatoren kamen nicht zum Einsatz. Die übrige Pflege der Kulturen erfolgte gemäss guter Agrarpraxis. Die anderen Bedingungen dieses Versuchs wurden vorgängig beschrieben (Charles et al. 2011, Vullioud et al. 2007).

Die häufigsten und verbreitetsten Krankheiten wurden verfolgt. Es werden hier nur die signifikantesten Resultate vorgestellt, nämlich Halmbruch (*Oculimacula yallundae*, *O. acuformis*), Braunfleckigkeit (*Septoria nodorum* und *S. tritici confondus*), echter Mehltau (*Erysiphe graminis*), Braunrost (*Puccinia recondita*) und Ährenfusariose (*Fusarium* spp.). Die Bonitur von Halmbruch fand zur Reife des Weizens statt. Grundlage dafür bildeten die befallenen Stängel und die Befallsstärke wurde mittels eines Indexes von eins (¼ des Umfangs befallen) bis vier (Gesamtumfang befallen) bonitiert (Gindrat et al. 2003). Die drei letzten Blätter dienten dazu, die Laubkrankheiten punkto Präsenz auf den Pflanzen und den befallenen Anteil der Blattoberfläche kurz vor der Behandlung und 15 Tage nach der Intervention aufzunehmen. Nach der Ernte wurden die von der Fusariose produzierten Mykotoxine (Desoxynivalenol DON) im Weizenkorn mittels Elisa-Test (Häller-Gärtner et al. 2005) bestimmt. Auf jeder Parzelle wurden der Ertrag (15 % Feuchtigkeit) und die Erntequalität erhoben. Bei Blütebeginn wurde auf dem letzten Blatt der Chlorophyllgehalt optisch gemessen (N-Tester, Yara). Das ursprüngliche Versuchsschema besteht aus randomisierten Blöcken, die viermal wiederholt werden. Die Einführung der beiden zusätzlichen Faktoren für diese Studie führt zu einem Versuchsschema, das statistisch als Split-split-split plot ausgewertet wird (Gomez und Gomez 1984).

Zusammenfassung

Im Rahmen eines dem Getreidefruchtwechsel gewidmeten Langzeitversuchs wurden die seit 1967 bereits erforschten Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung während drei Jahren (2006, 2008 und 2010) durch die Faktoren Sorte und Fungizidschutz ergänzt. Ziel war es, die Einflüsse des Anbausystems auf das Vorkommen von Krankheiten bei Winterweizen zu beurteilen und die Auswirkungen auf den Ertrag zu diskutieren. Die günstige Wirkung von Vorbeugemassnahmen wie Rotation und Pflügen wurde bei Halmbruch, Spelzenbräune und Ährenfusariose festgestellt. Die Wirkung dieser Vorbeugemassnahmen konnte jedoch durch Umweltfaktoren zunichte gemacht werden, die in der Folge den Krankheitsverlauf begünstigten. Beim echten Mehltau und beim Braunrost spielte hingegen das Anbausystem kaum eine Rolle und der Krankheitsverlauf hing hauptsächlich von den Umweltbedingungen ab. Durch den Anbau von Mais als Vorfrucht von Weizen wurde die Konzentration von Mykotoxinen gegenüber den Bedingungen einer Weizenmonokultur gefördert. Der Stellenwert des Pflügens oder einer resistenten Sorte wie Arina konnte unterstrichen werden. Die Sortentoleranz stellte einen massgebenden und stabilen Faktor zur Krankheitsregulierung dar. Die Wirkung des Fungizidschutzes hängt von diesen vorgängigen Massnahmen sowie von den jeweils aktuellen Umweltbedingungen ab.

Tab. 1 | Bonitur von Halmbbruch, echtem Mehltau, Braunrost und DON-Gehalt bei Winterweizen in Abhängigkeit der verschiedenen Faktoren und deren Wechselwirkungen. Präsenz von Halmbbruch ausgedrückt in % der in den Jahren 2006 und 2008 befallenen Triebe und in Index (Note von 1 bis 4, 4 = gesamter Triebumfang befallen) für das Jahr 2010. Echter Mehltau und Braunrost ausgedrückt in % der befallenen Pflanzen. DON-Gehalt ausgedrückt in ppm.

	Halmbbruch			Echter Mehltau			Braunrost			DON
	2006	2008	2010	2006	2008	2010	2006	2008	2010	2010
Stadium BBCH	75	75	75	65	65	75	65	71	79	Ernte
Fruchtfolge - K										
Monokultur	36,6	49,5	3,2	2,3	5,2	8,1	0,1	17,2	9,7	0,2
Rotation	30,5	59,3	2,3	1,2	6,6	3,8	1,3	22,7	28,4	1,2
	p=0,40	p=0,07	*	p=0,16	p=0,25	p=0,07	p=0,22	p=0,10	*	**
Bodenbearb. - B										
TCS	28,2	60,3	2,9	0,4	1,6	4,1	1,0	14,7	15,6	0,9
Pflügen	38,9	48,5	2,5	3,0	10,2	7,8	0,4	25,2	22,5	0,5
	**	*	p=0,07	*	**	p=0,39	p=0,58	*	p=0,18	*
Sorte - S										
Arina	36,0	63,8	2,6	1,7	11,1	9,7	1,4	34,7	29,1	0,2
Tapidor	31,1	45,1	2,8	1,8	0,6	2,2	0,0	5,2	9,1	1,2
	p=0,19	**	p=0,26	p=0,91	**	**	p=0,18	**	**	**
Fungizidschutz - F										
unbehandelt	44,0	73,5	2,9	1,7	8,8	10,9	1,3	38,7	38,1	0,9
behandelt	23,1	35,3	2,5	1,8	3,0	0,9	0,1	1,3	0,0	0,5
	**	**	**	p=0,95	*	**	p=0,25	**	**	**
Interaktionen; p-Wert										
K * B	*	0,56	0,05	0,33	0,68	0,56	0,74	0,69	1,00	*
K * S	0,15	0,07	0,78	0,91	0,73	1,00	0,26	0,16	0,32	**
K * F	0,60	0,81	**	0,32	0,10	0,16	0,17	0,34	**	**
B * S	0,93	0,06	0,33	0,91	**	0,79	0,53	0,52	0,39	*
B * F	0,63	0,55	0,33	0,95	*	0,24	0,70	*	0,11	0,17
S * F	0,38	*	0,71	0,55	**	*	0,25	**	**	**
K*B*S	0,10	0,47	0,93	0,91	0,73	*	0,70	0,55	0,13	*
K*B*F	0,23	0,90	0,36	0,95	0,42	0,48	0,52	0,50	1,00	0,99
K*S*F	0,87	*	0,82	0,32	0,05	0,81	0,17	0,40	0,30	**
B*S*F	0,77	0,26	0,81	0,64	*	1,00	0,70	0,85	0,37	0,15
K*B*S*F	0,54	*	0,53	0,27	0,42	0,07	0,52	0,53	0,11	0,96

* signifikant (P<0,05), ** hoch signifikant (P<0,01)

Resultate

Halmbbruch

Die Wirksamkeit des Fungizidschutzes konnte jährlich überprüft werden. In den Jahren 2006 und 2008 senkte der Fungizideinsatz den Prozentsatz der zu Beginn der Körnerreife befallenen Pflanzen praktisch um die Hälfte (Tab. 1). Die Varianz des Befalls konnte zu über der Hälfte durch die Behandlung oder Nicht-Behandlung erklärt werden (Tab. 2). Weiter konnte im Jahre 2010 die Befallstärke (Index) durch den Fungizidschutz

gesenkt werden, dieser wirkte sich jedoch nicht auf den Prozentsatz der befallenen Pflanzen aus (unveröffentlichte Daten).

Während zwei Jahren hing der Halmbbruchbefall von der Fruchtfolge verbunden mit der Bodenbearbeitung ab. Im Jahr 2006 führten die vereinfachten Anbautechniken vor einem Weizen in Fruchtfolge zu einem geringeren Krankheitsaufkommen (signifikante Interaktion). Die anderen Kombinationen von Faktoren führten beinahe zu einer Verdoppelung der befallenen Pflanzen (40 %). Im Jahr 2010 führte die Kombination Monokultur

und vereinfachte Anbautechniken zu einem signifikant höheren Halmbruch-Index. Die beiden individuell beurteilten Faktoren zeigten bereits eine interessante Wirkung. Die Bodenbewirtschaftung spielte eine wichtige Rolle bezüglich der Krankheit und erklärte die Varianz des Krankheitsbesfalls zu mehr als der Hälfte (Tab. 2).

Im Jahr 2008 illustriert eine signifikante Interaktion zwischen den vier Faktoren die Komplexität der Krankheitsentwicklung und ihre multifaktorielle Herkunft. Die vereinfachten Anbautechniken, Arina und ein fehlender Fungizideinsatz waren dieser Krankheit unabhängig von der Bodenbewirtschaftung zuträglich. Tapidor blieb im Allgemeinen gesund und profitierte gegenüber Arina stärker von den für die Krankheit ungünstigen Bedingungen, d.h. dem Pflügen und dem Fungizidschutz.

Echter Mehltau

Der echte Mehltau trat im Jahr 2006 kaum auf, weshalb eine Interpretation heikel ist (Tab. 1). 2008 förderte das Pflügen den echten Mehltau und interagierte mit der Sorte und dem Fungizidschutz. Der fehlende Fungizidschutz beim Pflügen war für die Krankheit bei der Sorte Arina besonders förderlich (31 % befallene Pflanzen bei sämtlichen Bodenbewirtschaftungsformen). In der gleichen Kombination und bei vereinfachten Anbautechniken entwickelte sich die Krankheit nicht (4 %). Die in Rotation und ohne Fungizidschutz angebaute Sorte Arina zeigte andererseits eine besonders hohe Krankheitspräsenz (23 % befallene Pflanzen bei allen Bodenbearbeitungsformen). Das direkt vergleichbare Monokultur-Verfahren senkte die Krankheitspräsenz um die Hälfte. Alle anderen Situationen führten zu bescheidenen Vorkommen von echtem Mehltau (< 7 %). Im Jahr 2010 wurden die markantesten Auswirkungen bei Arina beobachtet,

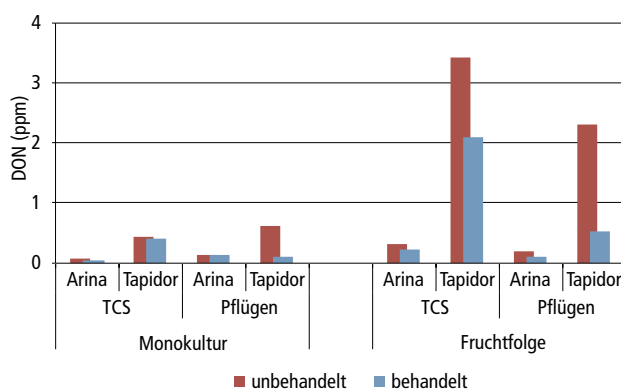


Abb. 1 | DON-Gehalt der Winterweizenkörner im Jahr 2010 aufgrund der Faktoren Anbausystem, Bodenbearbeitung, Sorte und Fungizidschutz. Statistische Auswertung in der Tabelle 1.

Tab. 2 | Komponenten der Varianz für Halmbruch, echten Mehltau und Braunrost sowie DON-Gehalt bei Winterweizen, ausgedrückt in Prozent der mittleren Quadrate bei den vier erforschten Faktoren und sämtlichen Wechselwirkungen.

Varianz	2006	2008	2010
Halmbruch (%)			
Fruchtfolge	5	4	53
Bodenbearb.	14	6	8
Sorte	3	15	1
Fungizid	55	62	11
Interaktionen	24	14	26
Echter Mehltau			
Fruchtfolge	9	0	6
Bodenbearb.	55	17	4
Sorte	0	25	16
Fungizid	0	8	29
Interaktionen	36	49	45
Braunrost			
Fruchtfolge	10	1	11
Bodenbearb.	3	3	1
Sorte	15	26	12
Fungizid	10	42	45
Interaktionen	63	27	30
DON-Gehalt			
Fruchtfolge			22
Bodenbearb.			3
Sorte			32
Fungizid			6
Interaktionen			37

et, die sich wiederum als anfälliger als Tapidor erwies. Die Wechselwirkungen erklären zu einem Grossteil die Varianz der Präsenz von echtem Mehltau, die sich in den drei Versuchsjahren zwischen 36 und 49 % bewegte (Tab. 2). Die Interaktion Sorte * Fungizidschutz war dabei am markantesten.

Braunrost

Braunrost trat im Jahre 2006 nur vereinzelt auf. In den Folgejahren zeigten die Sorte und der Fungizidschutz individuell und in Interaktion signifikante Auswirkungen (Tab. 1). Ausserdem waren sie zu einem grossen Teil an der Varianz beteiligt (Tab. 2). Im Jahr 2008 wurde die Krankheit ausserdem durch das Pflügen (schwacher Trend im Jahr 2010) und im Jahr 2010 durch die Rotation (schwacher Trend im Jahr 2008) begünstigt. In diesen beiden Situationen war die Fungizidbehandlung besonders wirksam und verhinderte die Entwicklung der Krankheit (signifikante Interaktionen).

Tab. 3 | Septoria bei Winterweizen. Präsenz von Septoria ausgedrückt in % der in den Jahren 2006 und 2008 befallenen Pflanzen und in % der 2010 befallenen Blätter.

Septoria	2006	2008			2010
Stadium BBCH	65	55	65	71	79
Fruchtfolge - K					
Monokultur	95,6	51,6	51,9	80,5	74,6
Rotation	86,4	40,9	58,6	86,6	53,8
	*	**	*	p=0,11	*
Bodenbearb. - B					
TCS	90,1	53,0	65,0	87,0	67,7
Pflügen	91,9	39,5	45,4	80,0	60,7
	p=0,61	**	**	*	*
Sorte - S					
Arina	82,9	39,5	50,8	78,6	49,2
Tapidor	99,1	53,0	59,7	88,4	79,2
	**	**	**	**	**
Fungizidschutz - F					
unbehandelt	93,0	47,3	73,1	98,1	80,3
behandelt	89,0	45,2	37,3	68,9	48,2
	p=0,09	p=0,40	**	**	**
Interaktionen; p-Wert					
K * B	*	*	0,61	0,17	0,53
K * S	*	0,62	0,56	0,40	**
K * F	0,74	0,90	0,68	*	**
B * S	0,64	0,13	0,10	*	0,46
B * F	0,23	0,99	0,24	*	0,10
S * F	0,32	0,81	0,53	**	0,13
K*B*S	0,09	0,56	0,15	0,12	0,66
K*B*F	0,51	0,81	0,07	0,28	0,49
K*S*F	1,00	0,99	0,77	0,23	*
B*S*F	0,27	0,12	0,13	0,12	0,92
K*B*S*F	0,58	0,90	0,77	0,57	0,77

* signifikant (P < 0,05), ** hoch signifikant (P < 0,01)

Septoriosen

Unter den Blattkrankheiten zeigte die Spelzenbräune die grössten Gegensätze zwischen den Verfahren und Jahren. Im Jahr 2008 wurden aufgrund der stark unterschiedlichen Resultate und Krankheitsentwicklungen (Tab. 3 und 4) drei Stadien berücksichtigt. Die drei Jahre zeigen durchs Band eine bessere Krankheitstoleranz von Arina und die Wirksamkeit des Fungizidschutzes (Trend im Jahr 2006).

2006 führten die vereinfachten Anbautechniken in Monokultur zum höchsten Befall, während diese gleichen Techniken in Rotation zur schwächsten Präsenz von Spelzenbräune führten (Interaktion p < 0,05). Ausserdem verursachte die Monokultur einen starken Befall von Arina, die eigentlich weniger anfällig ist. Der Befall-

grad erreichte praktisch jenen von Tapidor, jedoch nur unter diesen Bedingungen.

Im Jahre 2008 schwankte die Entwicklung von Septoria im Laufe der Vegetationsperiode je nach Fruchtfolge. Bei einsetzender Infektion (BBCH 45), wo die Fungizide noch wirkungslos waren – begünstigten die Monokultur und die vereinfachten Anbautechniken die Entwicklung der Krankheit und interagierten signifikant. Hingegen zeigte der nach dem Pflügen in Rotation eingerichtete Weizen die schwächste Präsenz von Septoria. In der Folge eröffnete die Rotation der Krankheit günstigere Bedingungen, obwohl die Wirksamkeit des Fungizidschutzes deutlich wurde und die Unterschiede in Bezug auf die Bodenbearbeitung markant blieben. Am Ende des Zyklus (BBCH 71) wurde die Präsenz der Krankheit kaum durch das Anbausystem beeinflusst (p=0,11). Die schwächste Infektion von Septoria erfolgte in Monokultur mit Fungizidbehandlung (signifikante Interaktion). Insgesamt wurden die schwächsten Infektionsgrade bei den Kombinationen Pflügen * Arina, Pflügen * Fungizidbehandlung und Arina * Fungizidbehandlung beobachtet (signifikante Interaktionen).

Im Jahr 2010 veranschaulicht die signifikante Interaktion zwischen Fruchtfolge, Sorte und Fungizidschutz die kombinierte Wirkung dieser drei Faktoren. Tapidor hat nur in Rotation mit einer Fungizidbehandlung eine schwache Präsenz von Septoria gezeigt, während sämtliche anderen Kombinationen dieser Faktoren zu hohen Infektionsgraden führten. Im Gegensatz dazu führt die Toleranz von Arina gegenüber Septoria bei gleichem Fungizidschutz zu schwachen Abweichungen zwischen den beiden Anbausystemen. Bei dieser Sorte war zudem die Wirkung der Fungizidbehandlung sowohl in Monokultur als auch in Rotation identisch.

Mykotoxingehalt

Die Fusariuminfektionen und die Konzentrationen von Mykotoxinen variierten stark von Jahr zu Jahr. 2006 blieb der Fusariumbefall schwach. 2008 bleiben zahlreiche Untersuchungsergebnisse trotz markanterem Fusariumbefall unter der für die Auswertung zuverlässigen Nachweisschwelle. 2010 waren die Mykotoxinkonzentrationen hingegen bei allen Untersuchungen ausreichend hoch (Tab. 1 und 2). Die Sorte Arina zeigte systematisch um einige Zehntel ppm tiefere Konzentrationen (Abb. 1). Der Anbau von Mais vor dem Weizen förderte die Produktion von Mykotoxinen gegenüber den Bedingungen einer Weizenmonokultur. Die vereinfachten Anbautechniken waren günstiger als das Pflügen. Der Fungizidschutz erlaubte jederzeit die Senkung der Konzentration an Mykotoxinen. Die Sorte und die Bodenbearbeitung

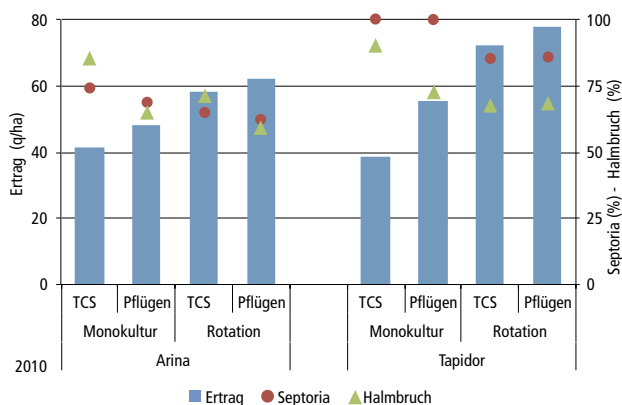


Abb. 2 | Ertrag, Septoria und Halmbruch bei Winterweizen in Abhängigkeit von Sorte, Bodenbewirtschaftung und -bearbeitung, ohne Fungizidbehandlung, im Jahr 2010.

waren die Hauptkomponenten der Varianz der Mykotoxingehalte. Die Hauptinteraktionen betrafen ebenfalls diese beiden Faktoren. Bei Arina oder in Monokultur blieben die Konzentrationen systematisch tief und zwar unabhängig von der Bodenbearbeitung oder vom Fungizidschutz. Im Gegensatz dazu zeigte Tapidor in Rotation hohe Konzentrationen mit den vereinfachten Anbautechniken, aber auch mit dem Pflügen. Einzig in diesem letzten Fall ermöglichte der Fungizidschutz, das Vorkommen von Mykotoxinen gut zu begrenzen.

Diskussion

Die Beobachtungen von Krankheiten können mit den in einem früher publizierten Artikel beschriebenen Kulturleistungen in Zusammenhang gebracht werden (Charles *et al.* 2011). In diesem Sinne fasst Tabelle 5 die Ertragsresultate kurz zusammen. Zum Beispiel zeigt das Jahr 2010 eine gewisse Übereinstimmung zwischen dem Endertrag und der Präsenz von Braunfleckigkeit und Halmbruch (Abb. 2). Die zahlreichen nachgewiesenen Wechsel-

Tab. 4 | Komponenten der Varianz für die Septoria bei Winterweizen, ausgedrückt in Prozent der mittleren Quadrate für die vier untersuchten Faktoren und die gesamten Interaktionen

Varianz	2006	2008			2010
Septoria (%)					
Stadium BBCH	65	55	65	71	79
Fruchtfolge	14	19	2	3	16
Bodenbearb.	0	30	20	4	2
Sorte	43	30	4	8	33
Fungizid	3	1	67	68	37
Interaktionen	41	20	6	18	13

wirkungen zwischen den Faktoren, die den Ertrag und den Krankheitsbefall beeinflussen, erschweren jedoch jeglichen Rückschluss auf einen direkten Kausalzusammenhang. Zudem traten jedes Jahr mehrere Krankheiten auf und führten zu einem unterschiedlichen und bezüglich Ertrag schwer quantifizierbaren Krankheitsdruck. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, die Diskussion auf einige Fälle zu konzentrieren. Die Abweichung zwischen Sorten bewegte sich je nach Jahr zwischen 8 und 15 q/ha. Diese Abweichung erklärt sich mit der Typologie der beiden Sorten und ihrer Krankheitsanfälligkeit (Levy Häner *et al.* 2011). Im Vergleich zu Tapidor war Arina eher resistent gegenüber Septoria und Ährenfusariose, jedoch anfälliger gegenüber den anderen Krankheiten. Diese Unterschiede erklären zahlreiche Interaktionen mit dem Fungizidschutz, die unterschiedliche Wirksamkeit der Behandlungen und die anschließenden Ertragsabweichungen. Vor allem in den Jahren 2008 und 2010 waren die Fungizide bei Tapidor wirksamer. In diesen beiden Jahren wurde eine starke Präsenz von Septoria, insbesondere bei dieser Sorte, beobachtet. Der Fungizidschutz führte zu einem durchschnittlichen Jahresertragszuwachs von 4 bis 7 q/ha.

Die Monokultur war im Jahr 2006 mit einem um 8 q/ha und im Jahr 2010 um 22 q/ha tieferen Ertrag verbunden. 2006 und 2010 führte das Pflügen zu einer positiven Abweichung von 8 q/ha. Die Fruchtbarkeit der Pflanzen (Ähren, produzierte Körner) wurde insbesondere in Monokultur, aber auch mit vereinfachten Anbautechniken beeinträchtigt. Keine der beobachteten Krankheiten, insbesondere ab Erscheinen des letzten Blattes, vermag solch grosse Abweichungen zu erklären. Hingegen waren diese beiden Faktoren, allein oder in Interaktion, insbesondere für die Präsenz von Halmbruch, Septoria und die DON-Konzentration entscheidend. Halmbruchbefall tritt nach einer Winterweizenvorfrucht eindeutig häufiger auf (Gindrat und Frei 1999). Die Auswirkung des Anbausystems (Bodenbewirtschaftung, Bodenbearbeitung) wie auch die Sortentoleranz spielen bei der Ährenfusariose eine erwiesene Rolle (Vogelgsang *et al.* 2009). Die Septoria kann mit einem guten Management der Vorfruchtrückstände und einer grossen Artenvielfalt in der Rotation bekämpft und so der Krankheitszyklus durchbrochen werden (Schürch und Frei, 2009). Gewisse Krankheiten konnten auch durch die vereinfachten Anbautechniken begrenzt werden oder wurden durch die Monokultur nicht übertragen, was die multifaktorielle Herkunft der Präsenz und der Krankheitsentwicklung unterstreicht. Die Entwicklungen der Septoria im Jahr 2008 lassen einerseits die günstigen Ausgangsbedingungen einer Krankheit und andererseits ihre spätere Entwicklung aufgrund gewisser

Tab. 5 | Winterweizenertrag und Ertragsvarianz in Abhängigkeit von den Faktoren Bodenbewirtschaftung und -bearbeitung, Sorte und Fungizidschutz in den Jahren 2006, 2008 und 2010

	Ertrag (q/ha)		
	2006	2008	2010
Fruchtfolge - K			
Monokultur	61,5	52,0	47,5
Rotation	69,2	65,6	69,9
	**	**	**
Bodenbearb. - B			
TCS	61,2	58,4	54,6
Pflügen	69,5	59,2	62,8
	**	p=0,47	**
Sorte - S			
Arina	61,5	51,4	53,7
Tapidor	69,2	66,2	63,7
	**	**	**
Fungizidschutz - F			
unbehandelt	62,1	55,5	56,7
behandelt	68,6	62,1	60,7
	**	**	**
	Varianz (%)		
	2006	2008	2010
Fruchtfolge	24	39	66
Bodenbearb.	28	0	9
Sorte	24	45	13
Fungizid	17	9	2
Interaktionen	7	6	10

* signifikant ($P < 0,05$), ** hoch signifikant ($P > 0,01$)

Umweltfaktoren (Klima, Mikroklima, Boden) erkennen. Es wurde nachgewiesen, dass die Stickstoffrestmenge aus gewissen Vorfrüchten wie dem Raps (in diesem Versuch im Jahr 2008) die Entwicklung von Halmbruch ebenfalls günstig beeinflussen kann (Gindrat und Frei, 1999). Im Jahr 2008 reagierte die Entwicklung von echtem Mehltau günstig auf die durch das Pflügen und die Rotation hervorgerufenen Wachstumsbedingungen. Diese Krankheit reagiert günstig auf Stickstoff und ein feuchtes Mikroklima (Pflügen, Vegetationsdichte). In diesem Versuch zeigten Messungen des Chlorophyllindex jährliche Abweichungen zwischen den Sorten, jedoch keine signifikante Auswirkung der übrigen Faktoren. Diese Resultate bestätigen im Nachhinein, dass die Verfahren mit den tiefsten Erträgen nicht mit begrenzenden Chlorophyllgehalten und durch Extrapolierung begrenzenden Stickstoffzufuhren verbunden waren. Dies bestätigt auch die durch die Krankheiten ausgeübte wichtige Rolle.

Schlussfolgerungen

- Im Rahmen eines Langzeitversuchs gab es zwischen den beobachteten Krankheiten bei Winterweizen in Rotation und in Monokultur keine spezifischen Unterschiede. Die hauptsächlich festgestellten Krankheiten waren Halmbruch und Septoria. Der echte Mehltau, Braunrost sowie Ährenfusariose, deren DON-Gehalt gemessen wurde, waren weniger systematisch präsent.
- Eine günstige Wirkung von Sanierungsmassnahmen wie Rotation und Pflügen wurde bei Halmbruch, Septoria und Fusariose festgestellt. Die Wirkung dieser Vorbeugemassnahmen konnte jedoch durch Umweltfaktoren zunichte gemacht werden, die sich in der Folge begünstigend auf den Krankheitsverlauf auswirkten. Beim echten Mehltau und beim Braunrost spielte hingegen das Anbausystem kaum eine Rolle und deren Krankheitsverlauf hing hauptsächlich von den Umweltbedingungen ab.
- Bei für die Fusariose günstigen Klimabedingungen war der DON-Gehalt im Falle einer Maisvorfrucht höher als nach einem Winterweizen in Monokultur. Der Stellenwert des Pflügens oder einer resistenten Sorte wie Arina konnte unterstrichen werden.
- Die Sortentoleranz stellte einen der wichtigsten und stabilsten Faktoren zur Krankheitsregulierung dar, indem sie zahlreiche Interaktionen mit den anderen Anbaumassnahmen ermöglicht. Zahlreiche Kombinationen von Anbautechniken sind je nach gewähltem Anbausystem und Produktionszielen denkbar. Die Wirkung des Fungizidschutzes hängt von diesen vorgängigen Massnahmen sowie von den jeweils aktuellen Umweltbedingungen ab. ■

Riassunto

Influenza del sistema di coltura sull'apparizione di malattie del frumento autunnale e la loro incidenza sulla resa

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 l'influenza del sistema colturale sulla presenza delle malattie del frumento autunnale e di discutere delle incidenze sulla resa. L'effetto favorevole di misure preventive, come la rotazione colturale e la lavorazione del terreno, è stato osservato per il mal del piede dei cereali, la septoriosi sulle foglie e la fusariosi sulla spiga. Dette misure fitosanitarie preventive hanno potuto essere eluse dalle condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo ulteriore della malattia. L'oidio e la ruggine bruna erano poco influenzati dal sistema colturale e il loro sviluppo dipende principalmente dalle condizioni ambientali, mentre la concentrazione di micotossine prodotte dalla fusariosi si basano piuttosto sulla presenza di un mais antecedente che su una monocoltura di frumento autunnale. È stata evidenziata l'importanza della lavorazione del suolo o di varietà tolleranti come Arina. La tolleranza varietale ha costituito un fattore essenziale e stabile per il controllo delle malattie. L'efficacia della protezione fungicida dipende da queste preliminari misure colturali e dalle condizioni ambientali del momento.

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. This complement aimed at evaluating the influence of the cropping system on the development of diseases on winter wheat and discussing the impacts on yield.

The favorable effect of sanitation measures such as crop rotation and ploughing was raised for eyespot, septoria leaf blotch and fusarium head blight. These preventive measures could be reversed by environmental conditions favorable to the later disease development. Powdery mildew and brown rust were further influenced by the environmental conditions favorable to their development. The concentration in fusarium mycotoxins depended more on the presence of previous maize than on winter wheat in monoculture. The importance of the ploughing or a tolerant variety such as Arina could be underlined. The variety resistance constituted a crucial and stable factor for the diseases control. The efficiency of fungicide protection depends on these initial cropping measures as well as on current environmental conditions.

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

Literatur

- Charles R., Cholley E. & Frei P., 2011. Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sorte und Fungizidschutz in der Getreideproduktion. *Agrarforschung Schweiz* 2 (5), 212–219.
- Gindrat D. & Frei P., 1999. Quelques particularités du piétin-verse du blé d'automne. *Revue Suisse d'Agriculture* 31 (5), 213–216.
- Gindrat D. & Frei P., 1999. La météo, un élément clef pour la prévision du risque de piétin-verse pour le blé d'automne. *Revue Suisse d'Agriculture* 31 (5), 217–220.
- Gindrat D., Frei P. & Pellet D., 2003. Prévision du risque de piétin-verse sur le blé d'automne en Suisse. *Revue Suisse Agric.* 35 (3), 113–116.
- Hüller-Gärtner B., Kleijer G., Mascher F., 2005. Répartition du DON dans les fractions de mouture du blé. *Mitt. Lebensm. Hyg.* 96, 462–465.
- Gomez K.A. and Gomez A.A., Statistical Procedures for Agricultural Research. Wiley-Interscience, Second Edition 1984, 680 p.
- Levy Häner L., Collaud J., Schwaerzel R., Bertossa M., Hiltbrunner J., Anders M., Stoll P. & Peter D., 2011. Liste der empfohlenen Getreidesorten für die Ernte 2011. *Agrarforschung Schweiz*, 1, 7–8.
- Schürch S., Frei P., Frey R., Wullschlegel J. & Sierotzki H., 2009. Septoriose du blé : sensibilité aux fongicides de la population suisse de *Mycosphaerella graminicola*. *Revue Suisse Agric.* 35 (3), 113–116.
- 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.
- Vogelgsang S., Jenny E., Hecker A., Bänziger I., & Forrer H.-R., 2009. Fusarien und Mykotoxine bei Weizen aus Praxis-Ernteproben. *Agrarforschung* 16 (7), 238–243.
- Vullioud P., 2007. Rotations de cultures chargées en blé : est-il possible d'en diminuer les inconvénients. *Revue Suisse Agric.* 39 (1), 15–23.