

Pflanzen

Fortschritte im Triticalezuchtprogramm in Changins

Arnold Schori, Dario Fossati, Fabio Mascher und Aldo Fossati¹, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CH-1260 Nyon 1

Auskünfte: Arnold Schori, E-Mail: arnold.schori@acw.admin.ch, Tel. +41 22 363 47 23, Fax +41 22 362 13 25

Zusammenfassung

Seit 30 Jahren wird in der Schweiz hexaploider Triticale gezüchtet. Basierend auf Daten aus den Zuchtgärten zwischen 1988 und 2006 werden in diesem Artikel die wichtigsten Zuchtfortschritte dokumentiert. Die agronomischen Leistungen von 2281 Zuchtstämmen zeigen, dass der Zuchtfortschritt in erster Linie folgende agronomischen Merkmale betraf:

- Die Erhöhung des Ertrags pro cm Pflanzenlänge um jährlich 1,4 %
- Der Proteinерtrag pro Hektar, mit einem globalen Anstieg um 1,4 dt/ha, erhöhte sich um durchschnittlich 1,1 bis 1,3 % pro Jahr.
- Der Proteingehalt des Korns wurde um insgesamt zwei Prozentpunkte verbessert. Gleichzeitig wurde das spezifische Gewicht um sieben kg/Hektoliter erhöht.

Dies ist ein guter Erfolg, denn Proteingehalt des Korns und Hektolitergewicht, wie auch Proteingehalt und Hektarertrag sind negativ korreliert. Dank der Züchtung wurde die Akzeptanz für den Triticale in der Schweizer Landwirtschaft verbessert, der somit zu einem einfach anzubauenden und wirtschaftlich interessanten Getreide geworden ist. Die jüngst aufgetretenen Fälle von Resistenzverlust gegenüber bestimmten Krankheiten, wie z.B. dem Mehltau, stellen die Zucht vor neue Herausforderungen. Die Suche nach neuen Resistenzquellen wird immer wichtiger.

Abb. 1. Bei der Zucht von primären, hexaploiden (Hartweizen als weiblicher Elternteil) und oktaploiden (Weizen als weiblicher Elternteil) Triticale-sorten einbezogene Kreuzungen. Jeder andersfarbige Buchstabe stellt einen Satz von 7 Chromosomen der verschiedenen Genome dar. Somit besitzt der Hartweizen 4 Chromosomensätze aus den Genomen A und B. Er ist sogenannte tetraploid. Mit den 2 R-Chromosomensätzen des Roggens wird er somit hexaploid.

In der Schweiz wird Triticale seit Beginn der 80-er Jahre angebaut. Im Jahre 2006 belegte er etwas mehr als 11'000 ha, d.h. beinahe 15 % der Futtergetreide-Anbauflächen. In der Schweiz ist sein Ertrag vergleichbar mit jenem der Gerste; rund ein Drittel des Ertrags wird direkt auf dem Hof verfüttert (Daten swissgranum). Weltweit, hauptsächlich aber in Europa, belegt er über 3 Millionen Hektar. Die wichtigsten europäischen Produzenten sind Polen, Deutschland und Frankreich.

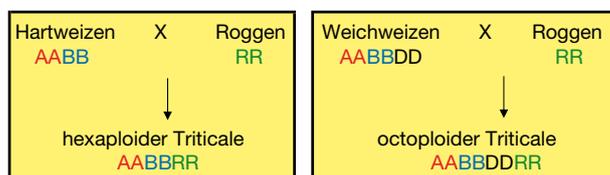
Oberstes Ziel der Triticale-Pioniere war es, ein neues Getreide zu schaffen, mit der Genügsamkeit und Robustheit des Roggens

und der Qualität des Weizens. In der Schweiz gehen die Arbeiten an dieser Sorte auf die Fünfundvierzigerjahre zurück. Die Kreuzung von Triticale-sorten (Ingold *et al.* 1968) (Abb. 1). Erst im Jahre 1976 fokussierte sich die Zucht auf hexaploide² Formen (Fossati *et al.* 1996), indem der Hartweizen als weiblicher Elternteil verwendet wurde. Diese entscheidende Etappe erlaubte es, sich über die anhaltenden Probleme einer verminderten Fruchtbarkeit und einer mangelnden Standfestigkeit des oktaploiden³ Triticale hinwegzusetzen. Die Zuchtbemühungen mündeten in der Registrierung von Brio im Jahre 1992 (Fossati *et al.* 1992), gefolgt von anderen Sorten (Fossati und Fossati 1992). Dieser Artikel dokumentiert die schweizerischen Zuchtfortschritte bei hexaploiden Formen. Die Fort-

schritte seit 1976 stützen sich auf die Ergebnisse der Zuchtstämme in den Zuchtgärten von Agroscope Changins seit 1989, als die agronomischen Leistungen der ersten Zuchtstämme erstmals untersucht wurden.

Berechnung des Zuchtfortschrittes

Zwischen 1988 und 2006 wurden die agronomischen Leistungen von 2281 Zuchtstämmen aus den Zuchtgärten von Agroscope ACW hinsichtlich ihrer plurilokal⁴ Durchschnittswerte miteinander verglichen, die in ihrem ersten Ertragsversuch erzielt worden waren. Der jährliche Zuchtfortschritt ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Wert des ersten (1988) und des letzten Jahres (2006). Die Werte dieser Jahre werden aufgrund der Gleichung der Regressionsgeraden für die betrachtete Eigenschaft berechnet. Anschliessend wird der Unterschied durch die Anzahl Jahre, in diesem Falle 19 (da 1988 als erstes Zuchtjahr erfasst wurde), geteilt. Diese berechneten Werte erlauben es, sich vom Jahresergebnis zu lösen und Einflüsse extremer Jahre wie 1989 (sehr tiefe Erträge) oder 1998 (sehr hohe Erträge) (Abb. 2) auszuschalten. Zum Vergleich dieser Schätzungen mit den effektiven Daten wurde ausserdem die Mehrjahresleistung der Zuchtstämme in vier verschiedene Zuchtphasen berechnet. Dabei wurden die beiden extremen Jahre ausgeklammert. Bei diesen effektiven Daten sind die Zuchtphasen nicht gleich lang. Die erste Zuchtphase umfasst fünf Jahre (1988, 1990,



¹Neue Adresse: 1268 Begnins

²sechs Chromosomensätze

³acht Chromosomensätze

⁴an verschiedenen Orten

1991, 1992, 1993), die anderen drei Zuchtphasen umfassen jeweils vier Jahre. Bei den Daten, welche den Eiweissgehalt mit einschliessen, der erst seit 1990 durch Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) untersucht wird, sind die Zuchtphasen gleich lang. Die erste Zuchtphase umfasst hier ebenfalls vier Jahre (1990-1993). In den Grafiken wird die Leistung der jungen Zuchtstämme mit dem Durchschnittswert weiter entwickelter Sorten verglichen, die als Kontrollsorten dienen. Die meisten Kontrollen sind ausländische Sorten. Die Benotungen von 1 bis 9 zur Standfestigkeit und zur Pflanzdichte Ende Winter sowie die Benotung der Körner und der Anfälligkeit gegenüber Krankheiten werden in dieser Aufstellung nicht ausgewertet. Grund dafür ist ein Wechsel in der Benotungsart und bei den mit der Benotung betrauten Personen. Die Beobachtungen zur kürzlichen Entwicklung von Gelbrost (*Puccinia striiformis*) und Mehltau (*Blumeria graminis*) können hingegen verwertet werden.

Die Halmverkürzung des Triticale wurde durch die schrittweise Einführung von Zwergwuchsgenen aus dem Zuchtmaterial von Roggen, vor allem aber Weizen, erreicht. Ein Teil dieser Zwergwuchsgene stammte aus den CIMMYT-Zuchtstämmen, insbesondere jenen der Kreuzungen «Maya 2 x Armadillo» (Varughese *et al.* 1987).

Ertrag des Schweizer Zuchtmaterials

Der durchschnittliche errechnete Ertrag (Regression) des Schweizer Zuchtmaterials stieg zwischen 1988 und 2006 von 69,3 auf 78,6 dt/ha an (Tab. 1). Diese Zunahme um 9,3 dt/ha entspricht einem Züchterfolg von 0,43 bis 0,71 % pro Jahr, je nach gewählter Auswertungsmethode. Die Standardabweichung des durchschnittlichen Ertrags der Zuchtstämme geht hingegen schrittwei-

se von 8,1 auf 6,3 dt/ha zurück, was auf eine Abnahme der Varianz für diese Eigenschaft hinweist (Abb. 2).

Abbildung 2 zeigt ebenfalls, dass die Produktivität der in diesen gleichen Versuchen verwendeten Elite-Referenzsorten beinahe parallel zu jener der Schweizer Linien ansteigt. Hier rechnet man mit dem höchsten Ertrag der Vergleichssorten, da diese Kontrollsorten gerade wegen ihrer Leistung ausgewählt werden. Die analoge Kurve dieser beiden Geraden zeigt, dass der genetische Fortschritt des Schweizer Zuchtmaterials beim Ertrag gleichbedeutend mit jenem anderer europäischer Programme ist. Dieser Züchterfolg ist nicht direkt mit dem von Hede (2001) zitierten Prozentpunkt von 1,5 %/Jahr vergleichbar, da sie sich auf die Leistungen der Elitesorten und nicht auf den Durchschnittswert der für den Ertrag noch nicht gezüchteten Zuchtstämme stützt. Der genetische Jahreszuwachs des Versuchsmaterials entspricht ziemlich genau dem Ertragszuwachs der bei «swiss granum» eingetragenen Triticalesorten, d.h. 0,46 bis 0,67 % pro Jahr. Dieser Produktivitätszuwachs ist nicht auf die Erhöhung des Tausendkorngewichts zurückzuführen, das im betrachteten Zeitraum erstaunlich konstant blieb, sondern auf eine erhöhte Kör-

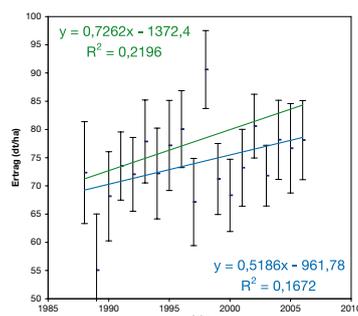


Abb. 2. Jährlicher Durchschnittsertrag der jungen Zuchtstämme (blau) und Standardabweichung je nach Zuchtjahr. Die aussergewöhnlichen Jahre 1989 und 1998 erscheinen nicht in der Berechnung des Fortschritts in Tabelle 1. Vergleich mit dem Fortschritt der in denselben Versuchen verwendeten Referenzsorten (grün).

nerproduktion pro m², die sich im betrachteten Zeitraum um ca. 8 % verbessert hat. Diese Beobachtung untermauert die These von Fossati (1997), wonach es für eine gleichzeitige Erhöhung des Ertrags und des spezifischen Gewichts dieser Art besser wäre, die Körneranzahl pro Quadratmeter anstelle des Tausendkorngewichts zu erhöhen.

Abnahme der Länge beeinflusst Ertrag

Die Durchschnittslänge ging in den 19 Jahren von 124 auf 105 cm zurück. Dies entspricht einem jährlichen Rückgang um 1 cm (Tab. 1 und Abb. 3). Die-

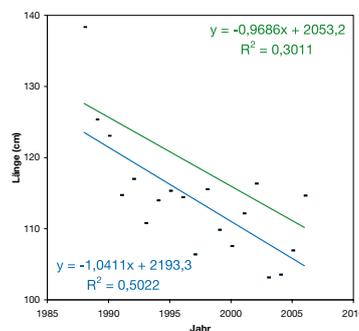


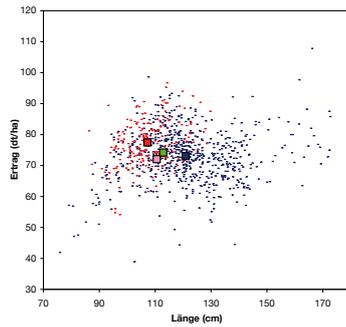
Abb. 3. Abnahme der jährlichen Durchschnittslänge aller jungen Zuchtstämme (blau) im Vergleich zu den ausländischen und Schweizer Zuchtstämmen der gleichen Versuche (grün).

Tab. 1. Fortschritte (%) des Schweizer Zuchtprogramms zwischen 1988 und 2006. Regressionswerte der Eigenschaft in den 19 Jahren, und zum Vergleich realisierte Durchschnittswerte je nach Zuchtphase

	Ertrag dt/ha	Länge (cm)	Spez. Gewicht (kg/hl)	TKG	Eiweiss- gehalt ¹	Eiweiss- ertrag	Körner m ²	dt/ha cm
1988 (Regression)	69,3	123,6	66,7	37,9	10,9	8,2	18'243	0,65
2006 (Regression)	78,6	104,9	73,7	39	12,9	9,8	20'285	0,82
Jährlicher Fortschritt (total 19 Jahre)	0,71	-0,80	0,55	0,15	0,96	1,07	0,59	1,38
1988-1993 (realisiert)	73	121	67,9	38	10,9	8,2	19'211	0,6
2003-2006 (realisiert)	77,4	107,2	73,5	38,2	12,7	9,7	20'262	0,72
Jährlicher Fortschritt	0,43	-0,81	0,59	0,04	1,27	1,31	0,39	1,41

¹ab 1990.

Abb. 4. Verteilung der individuellen Jahreswerte der Zuchtstämme bezüglich Länge und Ertrag, je nach Zuchtphase. Blau: 1988-1993 (ohne 1989), rot: 2003-2006. Zwecks verbesserter Lesbarkeit erscheint nur das Mittel der Übergangsphasen. Grün: 1994-1997, rosa: 1999-2002.



se Abnahme der Länge hat den Ertrag nicht beeinträchtigt. Abbildung 3 zeigt, dass die Durchschnittslänge des Schweizer Zuchtmaterials regelmässig unter derjenigen der Vergleichssorten liegt. Fossati *et al.* stellten 1996 fest, dass es zugleich möglich war, den Ertragsgrad der polnischen Sorte Lasko beizubehalten und die Länge des Materials

Abb. 5. Zuchtstämme, welche die Zuchtgärten im Sommer 1990 verlassen. Es ist ersichtlich, dass nur die kürzesten Linien nicht gebrochen sind.



Abb. 6. Steigerung des durchschnittlichen Hektolitergewichts bei allen jungen Zuchtstämmen (blau) im Vergleich zu den in denselben Versuchen verwendeten ausländischen und Schweizer Sorten (grün).

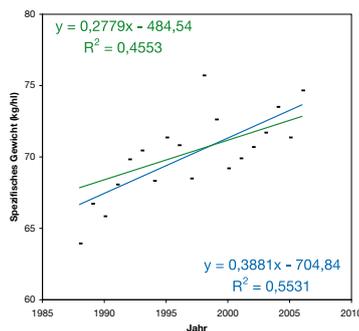
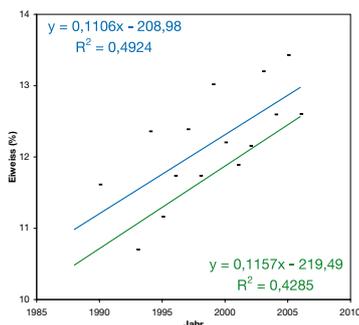


Abb. 7. Zunahme des durchschnittlichen Eiweissgehalts aller jungen Zuchtstämme (blau) im Vergleich zu den in denselben Versuchen verwendeten ausländischen und Schweizer Sorten (grün).



um 10 bis 15 % zu verkürzen. Abbildung 4 zeigt jedoch, dass diese bedeutende Verkürzung des Triticale ihren Preis hatte. Dieses vorrangige Ziel verlangsamte die Ertragszunahme in den ersten drei Zuchtphasen, bis zur Wiederherstellung des physiologischen Gleichgewichts der Pflanze und zur Ausweisung eines deutlicheren Ertragszuwachses in der aktuellen Zuchtphase. Diese Abbildung zeigt auch, dass die Längenvarianz in der ersten Zuchtphase sehr gross war; die Verbesserung der Durchschnittslänge des Schweizer Zuchtmaterials erklärt sich zum grossen Teil durch die Abnahme dieser Variabilität. Bereits in der Ausgangsphase kamen kurzhalmige und leistungsfähige Typen vor. Diese Entwicklung entspricht jener in der Weizenzüchtung, wo die Abnahme der Länge zu Beginn ebenfalls mit einem Ertragsrückgang einherging.

Der grösste genetische Fortschritt wurde in Changins bei der Verbindung Länge/Ertrag oder Ertrag pro Längeneinheit erzielt. Hier beträgt der durchschnittliche Jahresfortschritt 1,4 % und bei physiologisch leistungsfähigeren Pflanzen 23 %.

Die Abnahme der Länge ist eines der besonders geeigneten Mittel zur Vermeidung von Halmbruch. Leider wurde der Halmbruch in den neun Jahren nicht regelmässig benotet, was eine Bilanz der Verbesserung dieser Eigenschaft unmöglich macht. Denkt man aber an die ersten Zuchtgärten mit starkem Halmbruch, so kann doch gesagt werden, dass ein bedeutender Fortschritt erzielt wurde (Abb. 5). Die Abnahme der Pflanzenlänge hat zudem den weiteren Vorteil, dass das Dreschen erleichtert wird, indem bei gleicher Bestockung die Strohmenge abnimmt. Eine geringere Strohproduktion kann jedoch bei Mischbetrieben von Nachteil sein.

Spezifisches Gewicht oder Hektolitergewicht

Durch die sehr strenge visuelle Selektion des in den Zuchtgärten geernteten Saatguts konnte diese Eigenschaft in den 19 Jahren um 7 Punkte (kg/hl) verbessert werden (Tab. 1). Im Jahre 1988 wiesen 13 % des Materials noch ein Hektolitergewicht (HLG) unter 60 kg auf, und kein Zuchtstamm überschritt 70 kg. Neunzehn Jahre später weist keine Linie mehr ein so tiefes HLG auf, und 55 % von ihnen haben sogar ein HLG über 75 kg. Das geschrumpfte und deformierte Korn der alten Triticalesorten gehört somit der Vergangenheit an. Dennoch erinnern wir daran, dass der Standard für den «Grad 1» des kanadischen Triticale noch bei 65 kg/hl liegt (Salmon *et al.* 2007). Abbildung 6 zeigt, dass diese Eigenschaft mit Ausnahme des bereits genannten Jahres 1998 den jährlichen Schwankungen weniger unterliegt als der Ertrag. Das spezifische Gewicht wie auch die Länge hängen in der Tat stark vom Genotyp ab. Barnett *et al.* (2006) stellen eine realisierte Vererblichkeit (h^2) von 0,93 beim HLG und von 0,57 beim Ertrag fest. Ein wohl geformtes und pralles Korn signalisiert ein dichtes, wenig brüchiges Saatgut mit glatter Oberfläche, das also potenziell durch Staub oder Pathogene weniger verseucht ist. Aus einem schlecht geformten Korn entstehen häufiger (13 %) aneuploide Formen (Pflanzen mit 40 oder 41 statt 42 Chromosomen) als aus glatten Körnern. Diese aneuploiden Pflanzen mit einem fehlenden oder überzähligen Chromosom gefährden die Homogenität und Beständigkeit der Sorten mit diesem Mangel. Eine Möglichkeit zur Verbesserung des HLG war die Verwendung von Triticalesorten aus CIMMYT-Zuchtmaterial, insbesondere von substituierten Triticalesorten (deren 2R-Chromosom des Roggens durch das 2D-Chromosom des

Brotweizens ersetzt wurde) und deren Herkunft auf «Armadillo» zurückgeht, eine Sorte, die aus einer spontanen Kreuzung zwischen Triticale und kurzhalbigem Weizen entstanden ist (Varughese *et al.* 1987).

Eiweissgehalt und Kornbildung verbessert

Seit der routinemässigen Untersuchung dieser Gehalte durch NIRS im Jahre 1990 stieg der Eiweissgehalt stetig an (Tab. 1 und Abb. 7). Der durchschnittliche Eiweissgehalt stieg von 10,9 auf 12,9 an, dies bei immer wohlgeformteren Körnern. Im Jahre 1990 erreichten weniger als zwei Zuchtstämme von 100 den Gehalt von 13 %, während im Jahre 2006 32 % diesen Wert erreichten oder gar überschritten. Der Eiweissgehalt ist nach dem Verhältnis Länge/Ertrag die Eigenschaft, die in unserem Programm den deutlichsten Fortschritt verzeichnet hat (1 bis 1,3 % pro Jahr). Die Literatur weist regelmässig darauf hin, dass die verbesserte Kornbildung aufgrund des einfachen Verdünnungsphänomens auf Kosten des Eiweissgehaltes ging (Bombik *et al.* 2001; Oettler 2005). Das besser gefüllte Korn (durch Kohlenhydrate) des modernen Triticale hätte damit einen reduzierten Eiweissgehalt. Beim Schweizer Zuchtmaterial ist dieser Gehalt nicht zurückgegangen, ganz im Gegenteil. Die modernen Zuchtstämme wurden auf beiden Ebenen verbessert (Abb. 8). Der bedeutende und konstante Zuchtfortschritt bei diesen beiden Eigenschaften erscheint in der Grafik mit unterschiedlichen Punktwolken für die erste und letzte Zuchtphase. Dies zeigt, dass die Pflanze durch die Zucht effektiv umgewandelt wurde, und dass die aktuellen Typen bei Zuchtbeginn schlichtweg nicht existierten. Auch hier ist der Eiweissgehalt ein Faktor, der einer starken genetischen Kontrolle unterliegt. Auch wenn die negative Korrelation zwischen Eiweiss und Ertrag

bei unseren neusten Zuchtstämmen geringer ist als bei Alaru *et al.* (2003) ($r = 0,46^{**}$), so zeigt sich doch, dass die Zucht zugunsten des Eiweissgehaltes ihren Preis beim Ertrag hat, während die Verbesserung des HLG diese Eigenschaft noch verbessert.

Höherer Eiweissertrag

Der über die gemeinsame Erhöhung des physischen Ertrags und des Eiweissgehaltes erzielte Eiweissertrag stieg von 8,2 auf 9,8 dt/ha (Tab. 1 und Abb. 9) oder jährlich 1,1 bis 1,3 % an. Abbildung 10 zeigt ebenso wie Abbildung 8 unterschiedliche Verteilungswolken für diese zwei Zeiträume. Dies lässt den Schluss zu, dass die kurzhalbigen Typen mit hohem Eiweissertrag in unserem Material nun in der Überzahl sind. Obwohl diese Eigenschaft in der empfohlenen Sortenliste nicht berücksichtigt wird, belegt unsere Sorte Blenio punkto Eiweissertrag pro Hektar den Spitzenplatz (mit einem unserer Zuchtstämme und der polnischen Sorte Baltico).

Druck von Krankheitsresistenzen wächst

Mit dem schrittweisen Anstieg der Anbaufläche auf weltweit 3 Millionen Hektar nahmen die gesundheitlichen Probleme beim Triticale folglich zu. Für den Produzierenden bleibt der wichtigste Trumpf nach wie vor seine Robustheit, trotz dem zunehmenden Druck der Krankheiten.

Während Gelbrost (*Puccinia striiformis*) trotz künstlicher Infektionen bis 1998 von unseren Zuchtgärten verschwand, ist diese Krankheit im Jahre 2000 neu erwacht (Abb. 11). Nur gerade ein Zuchtstamm dieses Versuchs weist in betreffendem Jahr einige seltene Symptome auf (Note 1,5). Im Jahre 2001 weisen bereits 54 % der Zuchtstämme schwache Sporenbildungen auf. Dieses Datum entspricht den ersten in Deutschland dokumentierten Krankheitsbeobachtungen. Dort

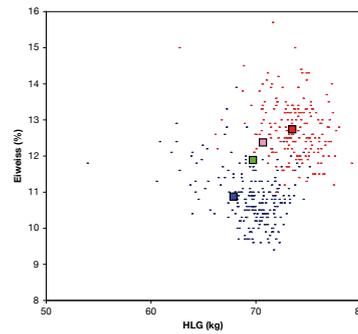


Abb. 8. Verteilung der individuellen Jahreswerte der Zuchtstämme beim spezifischen Gewicht und beim Eiweissgehalt, je nach Zuchtphase. Blau: 1990-1993, rot: 2003-2006. Zwecks verbesserter Lesbarkeit erscheint nur das Mittel der Übergangsphasen. Grün: 1994-1997, rosa: 1999-2002.

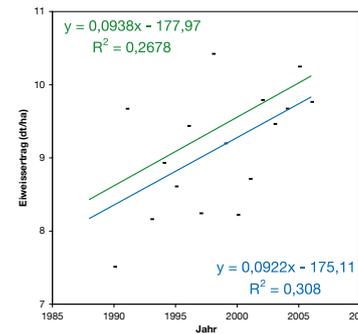


Abb. 9. Zunahme des Eiweissertrags pro ha aller jungen Zuchtstämme (blau) im Vergleich zu den in denselben Versuchen verwendeten ausländischen und Schweizer Sorten (grün).

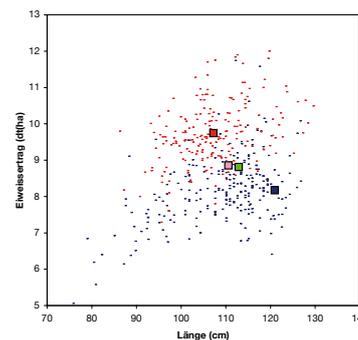


Abb. 10. Verteilung der individuellen Jahreswerte der Zuchtstämme bei der Länge und dem Eiweissertrag, je nach Zuchtphase. Blau: 1990-1993, rot: 2003-2006. Zwecks verbesserter Lesbarkeit erscheint nur das Mittel der Übergangsphasen. Grün: 1994-1997, rosa: 1999-2002.

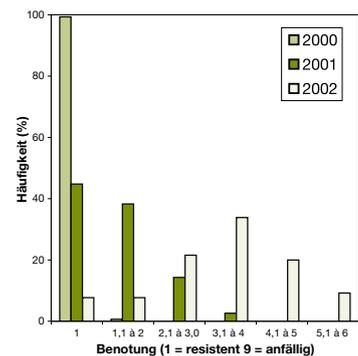


Abb. 11. Entwicklung der Häufigkeit der durch Gelbrost infizierten Zuchtstämme (2000-2002). Note 1 = resistent, 9 = anfällig.

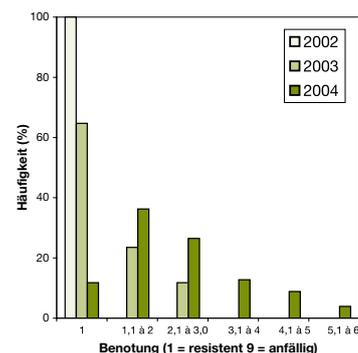


Abb. 12. Entwicklung der Häufigkeit der durch Mehltau infizierten Zuchtstämme (2002-2004). Note 1 = resistent, 9 = anfällig.

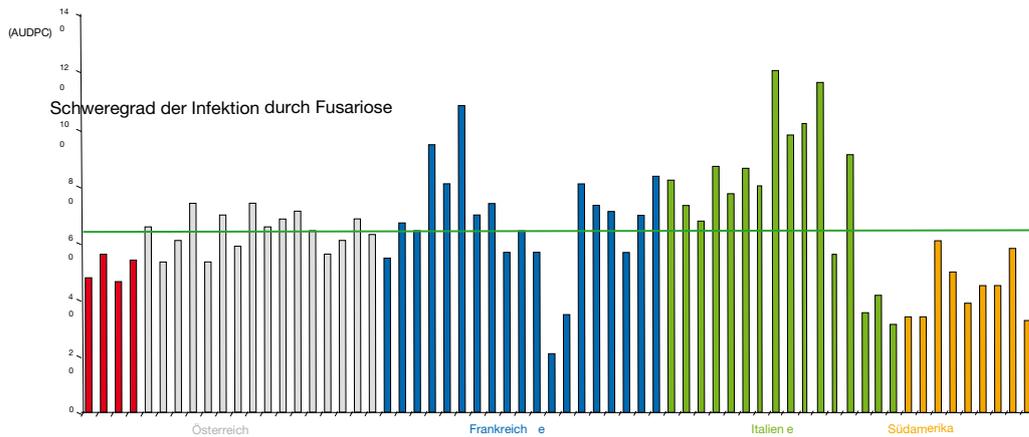


Abb. 13. Schweregrad des Fusariose-Befalls bei Hartweizensorten und -zuchtstämmen (*Triticum durum*) verschiedener Herkunft.

treten starke Infektionen auf, die manchmal wie in Changins, sogar die Ähren (Tian *et al.* 2004) befallen. Ab 2002 gelten 63 % der Zuchtstämmen als mittel bis stark betroffen und erhalten Noten zwischen 3,1 und 6. Die normale Häufigkeitsverteilung im Jahre 2002 spricht zumindest teilweise für eine Reaktion einer Vielzahl von Genen dieses Materials bezüglich der Resistenz. Obwohl diese Krankheit in den folgenden Jahren keine grösseren Probleme in der Praxis darstellte, sonderten zahlreiche anfällige Zuchtstämmen aus unseren Zuchtgärten aus.

Ein zweites Problem, der Mehltau, (*Blumeria graminis*) sucht unsere Zuchtgärten zwei Jahre später, im Jahre 2004, heim. Bislang galt der Triticale gegenüber Mehltau als immun. Die bereits 2003 stark verbreitete Krankheit befällt mit mässiger bis starker Ausprägung 26 % des Zuchtmaterials (Abb. 12). In Polen stellen Strzembicka *et al.* (2006) in einem

Abb. 14. F1-Hybriden aus Kreuzungen zwischen fusariosensitiven Hartweizensorten im Jahre 2006. Einige sollen für die Züchtung von neuen primären Triticalesorten als Vererber ausgewählt werden.



Sortenversuch nach der Aufnahme in den Jahren 2004-2005 fest, dass nur noch eine Minderheit der Sorten ihre Resistenz behalten haben. Bei einem anderen Material berechnen sie, dass nur noch 20 % der Zuchtstämmen resistent sind. Diese verheerende Krankheit führt bei den anfälligen Sorten zu Ertragsverlusten von 20 % (Mascher *et al.* 2006). Die ersten Studien unseres Pathologielabors zeigen, dass es sich beim Triticalemehltau um eine physiologische Form der Stämme handelt, die den Weichweizen befallen.

Bei diesen beiden Krankheiten veranlassen uns die genetische Variabilität des Schweizer Pflanzenmaterials und die Art der exprimierten Resistenz dazu, beim Triticale auf einen gleichen Toleranztyp hinzuzüchten wie beim Weizen. Die Robustheit des Triticales muss beibehalten werden, um dieser Art einen ihrer Vorteile zu erhalten.

Bei der Ährenfusariose, einer Ährenkrankheit, welche das Erntegut mit Mykotoxinen verseucht, geht die Zucht gleich vor wie bei allen anderen, in Changins erforschten Krankheiten, indem künstliche Infektionen auf dem Feld ausgelöst werden, um die Reaktion der getesteten Zuchtstämmen zu bewerten. Zudem wird das Mykotoxin Deoxynivalenol (DON) untersucht. Einige italienische und südamerikanische Hartweizensorten (Abb. 13) haben einen guten Resistenzgrad gegenüber Ährenfu-

sariose gezeigt. Diese Genotypen wurden für Kreuzungen von verbesserten Hartweizenpopulationen verwendet. Dieses Material wird es auf Dauer erlauben, gegenüber Ährenfusariose resistenter primäre Triticale zu züchten. Die gleiche Strategie wird bei der Mehltaresistenz angewendet (Abb. 14). Die Furcht vor Befall mit Mutterkorn (*Claviceps purpurea*) begrenzt den Triticaleinsatz in der Ernährung von Ferkeln oder Mutterschweinen, obwohl dieses Problem mit der verbesserten Ährenfruchtbarkeit stark abgenommen hat. Die Zuchtanstrengungen gehen auch in diese Richtung weiter, selbst wenn der Triticale gegenüber dieser Krankheit bereits bedeutend weniger anfällig ist als der Roggen.

Schlussfolgerungen

Die Züchtenden sind oft mit gegensätzlichen Zielen konfrontiert. Beim Triticale konnte jedoch die Länge erheblich gesenkt werden, ohne dabei den Ertrag negativ zu beeinflussen.

Der markanteste Fortschritt beim Triticalezüchtprogramm ist zweifellos die gleichzeitige Verbesserung des spezifischen Gewichts und des Eiweissgehalts, und somit die Schaffung völlig neuer Triticalesorten in Bezug auf diese Eigenschaften. Auch wenn diese heute weniger gewertet werden, ist der Züchtende gefordert, diesen Kurs weiterzuverfolgen.

Bei den Qualitätskriterien des Korns, insbesondere der Züchtung zugunsten einer geringen Viskosität, verfügt die Zucht zugleich über eine ausreichende genetische Variabilität und über genügend wirtschaftliche Absatzmöglichkeiten, um diese heute zu berücksichtigen (Abb. 15).

Das neue Problem, mit dem sich die Zucht befassen muss, ist die Erhaltung der Triticale-Widerstandsfähigkeit. Insbesondere

re werden die Arbeiten bezüglich Ährenfusariose- und Mehltau-Resistenz verstärkt vorangetrieben und sollen künftig durch eine Laborgruppe für die markergeschützte Züchtung unterstützt werden.

■ Dank den Bemühungen der schweizerischen und internationalen Züchtung gehört das Bild der ersten langhalmigen, teilweise sterilen Triticalesorten mit harten Körnern der Vergangenheit an. Aus dem Vergleich der letzten 19 Jahre geht hervor, dass die morphologische und physiologische Plastizität der Pflanze durch den Züchtenden, der sie in eine leistungsfähige Kultur verwandelt hat (Abb. 16), stark beansprucht wurde. Die künftigen Fortschritte werden von Bedeutung sein, denn der Triticale kann auf die genetische Vielfalt seiner drei elterlichen Arten zählen.

Literatur

Die Literatur ist beim Erstautor erhältlich.

Stärken und Schwächen von Futterarten										
Quelle: UFA, verändert	Anwendung	Viskosität	Smackhaft.	Prot. / AS	Keime	Toxine	Aminosäuren	Fettsäuremuster Schweinefutter	Fettsäuremuster Wiederkäuer- und Geflügelzucht	Mutterkorn
Gerste	0	-	+	0	0	0	0	0	0	0
Hafer	-	0	+	0	--	+	0	-	+	0
Mais	++	+	+	--	+	--	--	--	++	0
Weizen	++	-	-	-	0	-	-	+	0	0
Triticale	+	--	--	-	0	-	-	++	0	-
Roggen	+	--	--	-	0	0	-	++	0	--
Erbsen	0	+	0	0	0	0	+	+++	0	0
Pferdeböhen	-	0	--	0	0	0	0	+++	0	0

Abb. 15. Beurteilung der unterschiedlichen Futtersortenqualität. (Quelle UFA, geändert)

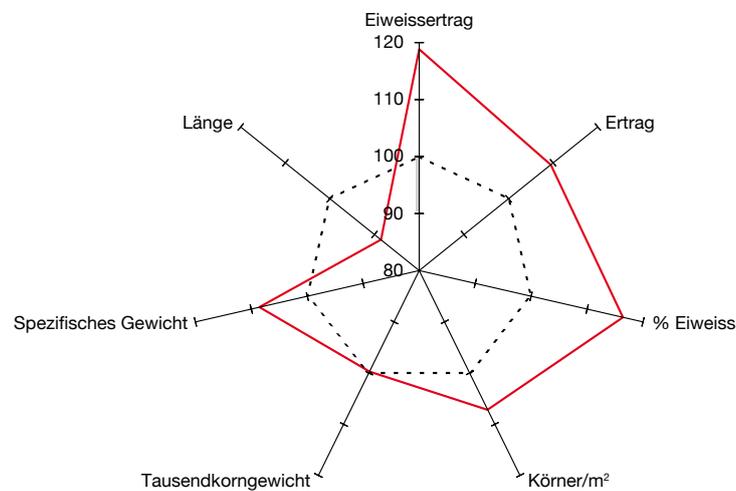


Abb. 16. Relative Leistungen der neuen (2003-2006) (rot) und alten Triticalesorten (1988-1993) (gestrichelt).

RÉSUMÉ

Amélioration génétique du triticale à Changins

Le programme suisse de sélection du triticale hexaploïde a fêté en 2006 ses trente ans d'existence. Cet article, basé sur l'observation des pépinières de sélection de 1988 à 2006, analyse les principaux progrès réalisés. Les performances agronomiques des 2281 lignées testées enregistrent les progrès les plus rapides dans:

- la productivité par unité de hauteur de la plante, améliorée de 1,4 % par année
- le rendement protéique par hectare, augmenté globalement de 1,4 dt/ha au rythme de 1,1 à 1,3 % par année
- l'amélioration de deux points de la teneur en protéine du grain, parallèlement à un gain de sept points (kg/hl) du poids spécifique.

La corrélation négative entre le poids à l'hectolitre et la teneur en protéines, ainsi qu'entre teneur en protéine et rendement, explique en quoi ce programme, améliorant conjointement ces facteurs, a contribué à la bonne acceptation de cette culture dans l'agriculture suisse. Le triticale est ainsi devenu une culture facile et économiquement intéressante.

La perte de résistance récemment enregistrée envers certaines maladies comme l'oidium lance de nouveaux défis à la sélection. La recherche de nouvelles sources de résistance s'avère nécessaire.

SUMMARY

Breeding progress on triticale obtained in Switzerland by Changins Research Station

Triticale is bred in Switzerland since 30 years. Based on observations on breeding lines between 1988 and 2006, this article analyzes the main breeding progresses achieved. Agronomic performances of the 2281 lines show that:

- productivity per cm height was improved with a rate of 1,4 % per year
- protein yield was increased by 1,4 dt/ha, thus progressing by 1,1 to 1,3 % per year
- protein content of the grain was improved by 2 points; at the same time the test weight gained 7 points (kg/hl).

Considering the negative correlation between test-weight and protein content, as well as between protein and yield, these simultaneous outcomes greatly contributed to the good acceptance of this crop in Switzerland. Triticale became thus an easy and economically interesting crop. Recently, the losses of resistance towards diseases like powdery mildew launched new challenges to the breeder. The search for new sources of resistance proves to be necessary.

Key words: Triticale, breeding progress, yield, diseases resistances, specific weight, protein, powdery mildew