

Die Weizenzüchtung in der Schweiz

Dario Fossati und Cécile Brabant, Eidgenössische Forschungsanstalt für Pflanzenbau Changins, CH-1260 Nyon 1
 Auskünfte: Dario Fossati, E-mail: dario.fossati@rac.admin.ch, Tel. +41 (0)22 363 44 44

Das Programm der Eidgenössischen Forschungsanstalten



Zusammenfassung

Die beeindruckenden Fortschritte in der Weizenproduktion sind zu einem grossen Teil den intensiven Züchtungsarbeiten zu verdanken. Der vorliegende Artikel beschreibt das Weizen-Züchtungsprogramm der Eidgenössischen Forschungsanstalten, die im vergangenen Jahrhundert erzielten Resultate sowie einige Zukunftsperspektiven.

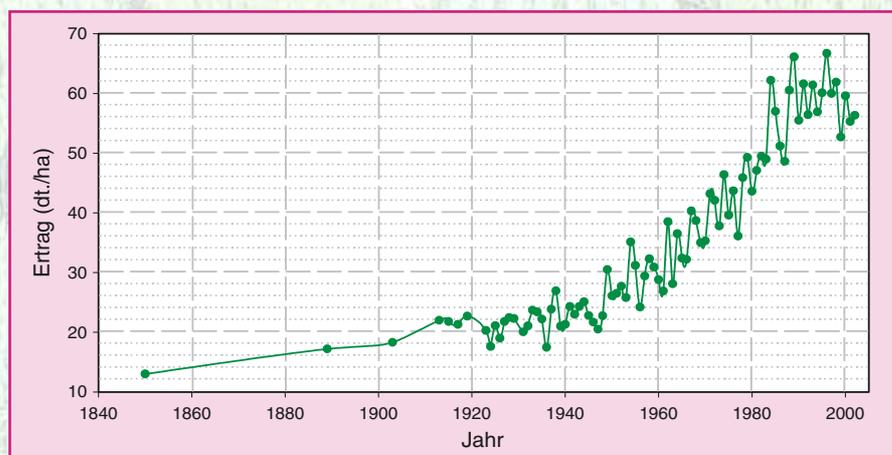


Abb. 1. Weizenertrag in der Schweiz von 1850 bis 2002. Nach einer schwachen Zunahme bis Mitte des XX. Jahrhunderts nimmt der Ertrag um ca. 80 kg/ha/Jahr zu. (Hauptquellen: SBV; BLW; Huber, 1956, 1978.)

Beeindruckende Fortschritte

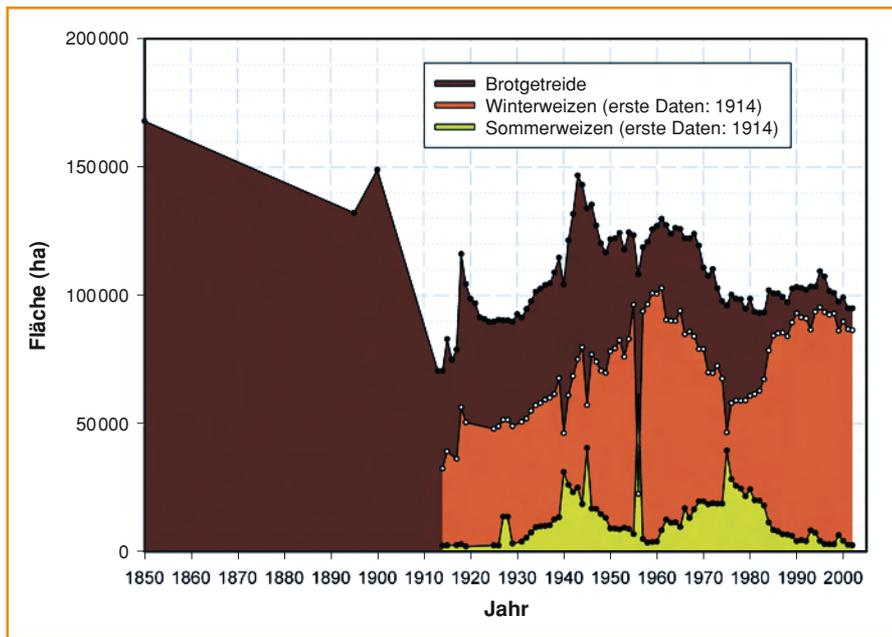
Die Weizenproduktion hat im Verlauf der zwei letzten Jahrhunderte enorme Fortschritte gemacht, was zum grossen Teil den aufwändigen Züchtungsarbeiten zu verdanken ist.

Am Ende des XIX. Jahrhunderts begannen die ersten Züchter, den inländischen Weizen zu verbessern, indem sie die besten Pflanzen der lokalen Populationen auswählten und vermehrten. Aus diesen Züchtungsarbeiten sind Sorten wie **Mont-Calme XXII**, **Plantahof**, **Rothenbrunner** oder **Strickhof** hervorgegangen. Parallel dazu begann Gustave Martinet 1904 nach dem Beispiel von Vilmorin in Frankreich, W. Rimpau in Deutschland, E. von Tschermak in Österreich oder A. Volkart in der Deutschschweiz erste Kreuzungszüchtungen in der Westschweiz zu entwickeln, zuerst mit lokalen Populationen und Sorten und später auf der Basis von Sorten, die ihrerseits bereits aus Kreuzungszüchtungen hervorgegangen sind (Gallay, 1956). Letztere ersetzen gegen Mitte des XX. Jahrhunderts die regionalen Sorten vollständig (Tab. 1 und 2).

Seit 1850 hat der schweizerische Brotgetreideanbau (Weizen, Roggen, Mengkorn) im Rhythmus der Geschichte und der jeweiligen Landwirtschaftspolitik

Tabelle 1. Wichtigste lokale Sorten, die ohne Hybridisierung aus den Weizen-Populationen des beginnenden XX. Jahrhunderts hervorgegangen sind.

POPULATIONEN	LOKALE SORTEN (Einführungsjahr)
PETIT ROUGE DU PAYS	Blanc du Jorat Bretonnières Vuiteboeuf Baulmes ...
BLANC DU PAYS (Blanc précoce, Blanc de Savoie)	Haute-Broye Blanc précoce de Savoie Peissy Pailly Rouge de la Venoge (1918) ...
ALTKIRCHER-WEIZEN	Rouge de Gruyère Rouge de Cernier Rouge de Vaumarcus ...
WEIZEN AUS DEM BÜNDNERLAND	Plantahof Rothenbrunner ...
WEIZEN AUS DEM ZÜRCHERLAND	Strickhof ...
ERLACHER LANDWEIZEN (Rütti)	MC XXII (1913) Barbut du Tronchet



◁ Abb. 2. Brotgetreideflächen in der Schweiz von 1850 bis 2002. Für das XIX. Jahrhundert gibt es nur wenige und nur ungefähre Daten. Beim Weizen (Datenerhebung seit 1914) ist es interessant festzustellen, dass in schwierigen Jahren der Sommerweizen als Kompensation dient. (Hauptquellen: SBV; BLW; Huber, 1956, 1978).

zwischen rund 70'000 ha und über 150'000 ha geschwankt. Während dieser Zeitspanne nahm der durchschnittliche Ertrag von 13 dt·ha⁻¹ auf über 60 dt·ha⁻¹ zu (Abb. 1 und 2). Die Ertragsentwicklung verlief ähnlich wie in Frankreich: Bis Ende der fünfziger Jahre blieb sie auf schwachem Niveau und wies eine jährliche Steigerung von ungefähr 10 kg·ha⁻¹ auf. Danach verlief die Ertragssteigerung mit rund 80 kg·ha⁻¹·Jahr⁻¹ sehr rasch. Sie blieb jedoch unter derjenigen in den Nachbarländern, wo sie bis zu 126 kg·ha⁻¹·Jahr⁻¹ erreichte (Brancourt-Humel *et al.*, 2003). Diese Steigerung ist auf die Verbesserung der Sorten zurückzuführen, welche die Entwicklung der Anbaumethoden begleitete und zum Teil auch förderte. Gemäss den von Brancourt-Humel *et al.* (2003) gesammelten Resultaten sind 33 bis 63% der Ertragssteigerung auf die genetische Verbesserung der verwendeten Sorten zurückzuführen.

Die wichtigsten Sorten

In der Schweiz wurde jeder Zeitabschnitt von einer bestimmten Sorte geprägt (Abb. 3 und 4; Tab. 1 und 2). Nach den Weizensorten **Plantahof** und vor allem **Mont-Calme XXII**, welche bis 1932 die meist angebaute Sorte war (Ingold, 1998), haben die Sorten **Mont-Calme 245** und **Mont-Calme 268** die Kriegsjahre geprägt. Sie bleiben in Erinnerung als die Weizensorten des Plans "Wahlen". In den sechziger Jahren belegte die Sorte **Probus** trotz ihrer grossen Anfälligkeit für Gelb- und Braunrost (*Puccinia striiformis* resp. *P. recondita*) bis zu 90% der gesamten Winterweizenfläche der Schweiz. Dieser grosse Erfolg lässt sich durch ihre gute Backqualität und ihre Toleranz gegenüber Ährenseptoria (*Stagonospora nodorum*) erklären. Zu diesem Zeitpunkt begann man den Weizenanbau zu intensivieren, insbesondere durch eine erhöhte Stickstoffdüngung. Dank ihres kurzen Wuchses und ihrer Standfestigkeit wurde **Zénith** zur Vorzeigesorte dieser Periode. Darauf folgte eine weitere «Erfolgsgeschichte» mit **Arina**, einer Sorte, die noch heute, mehr als zwanzig Jahre nach ihrer Registrierung, die wichtigste Weizensorte ist. Der Beginn ihrer Karriere Mitte der achtziger Jahre fällt mit dem

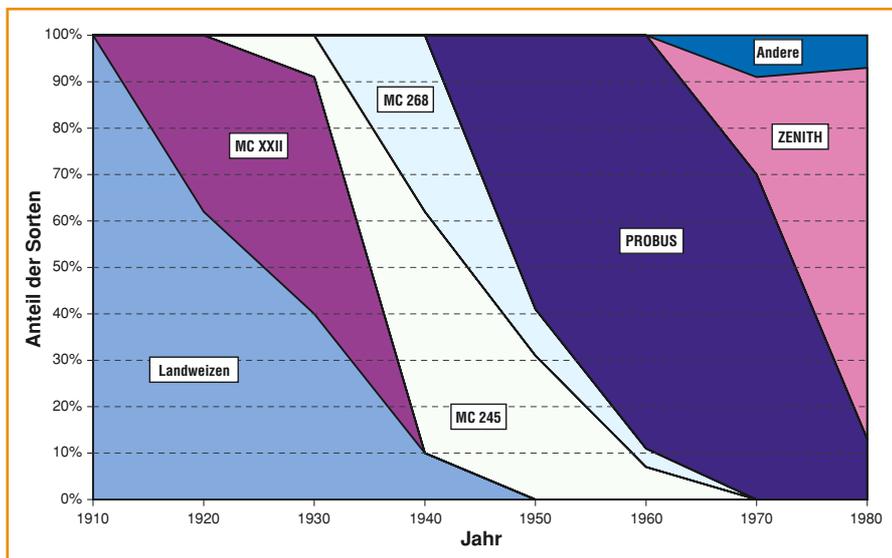
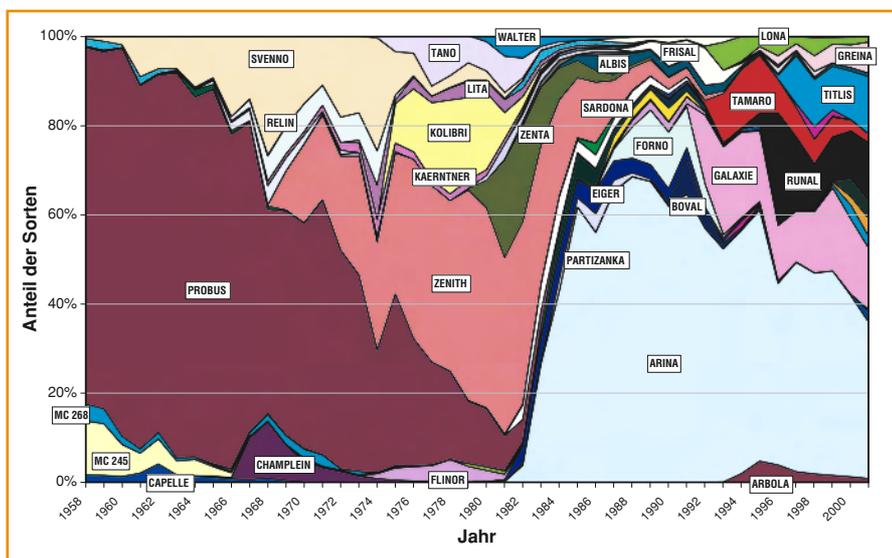


Abb. 3. Relative Bedeutung der wichtigsten Winterweizensorten in der Westschweiz von 1910 bis 1980. (Quelle: ASS)



◁ Abb. 4. Relative Bedeutung der wichtigsten Weizensorten in der Schweiz von 1958 bis 2001. (Quelle: SZV/DSP.)

Tabelle 2. Weizensorten (Hybridzüchtungen), die in der Schweiz von 1990 bis 2002 angebaut wurden

WINTERWEIZEN					
Name	Registrierungsjahr	Land	Name	Registrierungsjahr	Land
ALPHA*	?	CH	PARTIZANKA	1981	YUG
BISNACHTER*	?	CH	BERNINA**	1983	CH
MC 223*	?	CH	ASIAGO	1985	I
MC 269*	?	CH	TAMBO	1985	CH
PRECOCE CD*	?	CH	FORNO	1986	CH
CARRE VAUDOIS*	1913	CH	IENA	1986	F
MC XXII*	1913	CH	GARMIL	1987	CH
PLAINE*	1923	CH	RAMOSA	1989	CH
MC 245*	1926	CH	BOVAL	1990	CH
MC 268*	1926	CH	OBELISK	1990	NL
PROBUS	1948	CH	GALAXIE	1991	F
SALTO	1948	I	TAMARO	1992	CH
CAPELLE	1956	F	CAMINO**	1993	CH
FRANCEST	1963	F	ARBOLA**	1994	CH
PROBELLE	1963	CH	GREIF	1994	D
VILRON	1963	CH	ARLAS	1995	CH
CHAMPLEIN	1966	F	DANIS	1995	CH
FERMO	1969	CH	GENIAL	1995	F
FUNONE	1969	I	RUNAL	1995	CH
ZENITH	1969	CH	TERZA	1996	CH
TAPRO	1971	I	TITLIS	1996	CH
ARDUS	1972	CH	LEVIS	1997	CH
FLINOR	1974	F	ORSINO	1997	CH
HARDI	1978	F	TANEDA	1997	CH
VALLE d'ORO/ZLATNA DOLINA	1978	YUG	HABICHT	1998	D
ZENTA	1979	CH	PEGASSOS	1998	D
EIGER	1980	CH	ASKETIS	2001	D
SARDONA	1980	CH	SEMPER	2001	NL
ARINA	1981	CH	DRIFTER	2002	D
CARIMULTI**	1981	D	TIRONE	2002	CH
MOLESON	1981	CH			
SOMMERWEIZEN					
Name	Registrierungsjahr	Land	Name	Registrierungsjahr	Land
MANITOBA #	?	CND	BESSO	1982	CH
PEKO	?	?	HERMES	1982	D
HURON	1927	CH/CND	ORELLO	1982	CH
WAGENBOURG	1931 ?	?	ALBIS	1983	CH
LICHTI I	1953	D	DADORA	1984	CH
SVENNO	1957	S	REMI	1986	CH
KAERTNER	1958	CH	FRISAL	1987	CH
HINAL	1963	CH	LONA	1991	CH
RELIN	1963	CH	BALMI	1994	CH
ARKA	1964	A	GOLIN	1994	CH
RONEGA	1966	CH	GREINA	1994	CH
GRANAT	1970	CH	TORONIT	1996	CH
LITA	1972	CH	MOLERA	1997	CH
TANO	1972	CH	PIZOL	1997	CH
KOLIBRI	1975	D	FIORINA	2001	CH
CALANDA	1979	CH	NADRO	2002	CH
WALTER	1980	S			

*Erste Sorten, die aus Kreuzungen zwischen lokalen Sorten hervorgegangen sind. ** Biskuitweizensorte.

Handelstyp aus rund 5 verschiedenen Sorten.

Die wichtigsten Sorten sind **fettgedruckt**.

Erreichen der Selbstversorgung bei Brotgetreide in der Schweiz zusammen. Arina ist erneut eine Sorte, die eine gute Backqualität mit einer sehr gesunden Ähre verbindet. Weiter weist sie eine der besten Resistenzen gegenüber Fusariose und Septoria in Europa auf (Bartos *et al.*, 2000). Zuchtlinien ähnlicher Qualität wie Arina, die jedoch einen höheren wirtschaftlichen Ertrag und eine grössere Resistenz gegenüber Krankheiten besitzen,

sind zurzeit in der Zulassungsphase. Produzenten und Müller erwarten sie mit Ungeduld, denn Arina ist bisher die einzige Winterweizensorte ihrer Qualitätsklasse. In den letzten Jahren konnten mehrere Sorten mit hervorragender Backqualität einen gewissen Erfolg erzielen (**Tamaro**, **Titlis**, **Runal**, **Lona**). Die Müllerei benötigt jedoch nur etwa 20 bis 25% dieser Weizen von ausserordentlicher Qualität.

Von 1958 bis 2001 belegten die Schweizer Sorten, die aus den Züchtungsanstalten hervorgingen, im Durchschnitt mehr als 85% der Anbauflächen. Dieser Erfolg ist einerseits das Resultat unserer Landwirtschaftspolitik und andererseits der Tatsache, dass die Züchtungsprogramme früher von Mont-Calmé und Oerlikon und heutzutage von Reckenholz und Changins dieselben Ziele verfolgen.

Bestimmung der Zuchtziele

Pflanze, Umwelt, Mensch

Wie bei jeder landwirtschaftlichen Tätigkeit müssen bei der Bestimmung der Zuchtziele drei Elemente berücksichtigt werden. Es sind dies die **Pflanze**, die **Umwelt** und der **Mensch**. Das stabilste Element ist zweifelsohne die Pflanze. Die Komplexität ihres Genoms, ihre Physiologie sowie insbesondere ihre Vermehrungsart bestimmen den Typus und die Dauer des Züchtungsschemas. Beim Winterweizen erfordert ein klassisches Schema 12 bis 15 Jahre von der Kreuzung bis zur Vermarktung einer Sorte.

Die Umwelt – Klima und Boden – kann auch als relativ stabil betrachtet werden. Die Schweiz weist für den Weizenanbau ein besonderes Klima auf: Die generell ziemlich grossen Niederschlagsmengen von über 1'000 mm pro Jahr und speziell die in den Monaten Juni und Juli vor allem in der Ostschweiz besonders hohen Regenmengen fördern die Entwicklung von Pilzkrankheiten an der Ähre. Dafür ist das Trockenheitsrisiko eher gering, da die Anzahl Tage mit Maximaltemperaturen von über 30°C während des Kornwachstums beschränkt ist. Im Durchschnitt sind dies weniger als 2 Tage im Juni, weniger als 5 Tage im Juli und weniger als 3 Tage im August (Fossati und Ingold, 2001).

Das unbeständigste und am wenigsten vorhersehbare Element ist sicherlich der Mensch. Es ist in der Tat sehr schwierig vorauszusagen, wie die nationale und internationale Landwirtschaftspolitik in zehn Jahren aussehen wird, wie stark die Landwirtschaft intensiviert wird und welche Wünsche die Konsumentinnen und Konsumenten sowie die Verarbeiter haben werden. Für den Züchter bedeutet dies, dass er sich immer wieder in Abhängigkeit des Standes seines Zuchtprogramms und seiner Fachkenntnisse den Herausforderungen der Zukunft stellen muss.

Qualität, Resistenz, Ertrag

Das schweizerische Programm war stets auf die bestmögliche Backqualität, die Resistenz gegenüber Krankheiten und den wirtschaftlichen Ertrag ausgerichtet.

Qualität

Die hohe Backqualität ist ein schwierig zu erreichendes Zuchtziel. Sie ist genetisch komplex determiniert, und es bedarf zahlreicher Tests, um alle Aspekte der Qualität zu erfassen (Kleijer, 2002). Von den angestrebten Eigenschaften seien insbesondere ein hoher Eiweissgehalt und qualitativ hochstehende Glutenproteine genannt. Leider besteht eine stark negative Wechselbeziehung zwischen dem Eiweissgehalt und dem Ertrag (Abb. 5). Aus diesem Grund trifft man in Ländern, in welchen der Ertrag vom Markt oder vom Zulassungssystem stark gefördert wird, nur selten qualitativ hochstehende

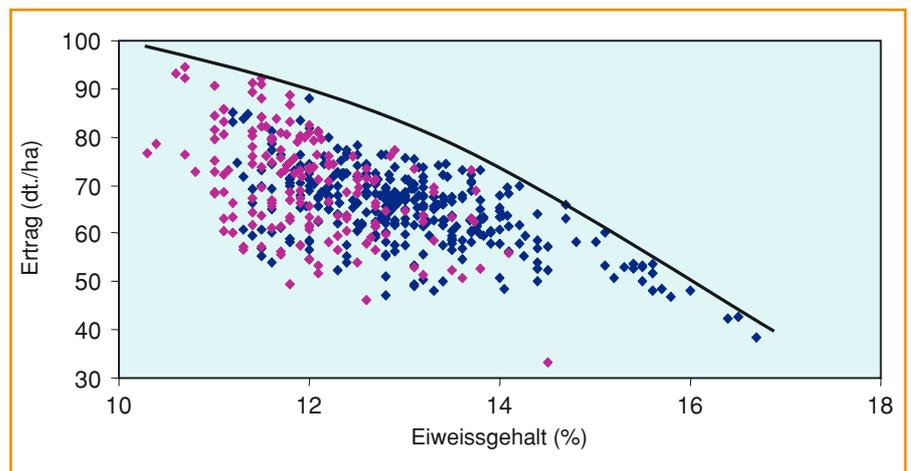


Abb. 5. Verhältnis zwischen Eiweissgehalt und Ertrag für Schweizer (◆) oder ausländische (◆) Linien oder Sorten, die von 1983 bis 2001 in den Ertragsversuchen getestet wurden. Die ausgezogene Kurve zeigt, dass der potenzielle Ertrag durch den Eiweissgehalt begrenzt wird. Die Linien des Schweizer Programms weisen meistens einen hohen Eiweissgehalt auf.

Sorten an. Die Züchter sind nicht bereit, allzu viele Mittel für ein schwierig zu erreichendes Ziel und einen beschränkten und wenig Gewinn bringenden Markt zu investieren. Aufgrund des Aufkommens von neuen Industrieprozessen, die starke Glutenproteine erfordern (intensives Kneten, tiefgekühlte Teige, längere Fermentationsdauer usw.), nimmt jedoch die Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Weizensorten zu. Aus verschiedenen Gründen war in der Schweiz die Nachfrage nach qualitativ hochstehenden Weizen stets gross. Wir erinnern daran, dass der Bund über ein Einkaufsmonopol verfügte. Der produzierte Weizen war ausschliesslich für die Brotherstellung und für den Konsum im Inland bestimmt und nur Posten, die von Auswuchs betroffen oder überschüssig waren, wurden im Futtermittelsektor abgesetzt. Die verlangte Qualität war demnach sehr hoch und die Schweiz konnte es sich nicht leisten, wie andere Länder Weizen mittlerer Qualität auf weniger anspruchsvolle Märkte zu exportieren oder Weizen für die Herstellung von Futtermitteln zu produzieren. Die Schweizer Konsumentinnen und Konsumenten, insbesondere in der Deutschschweiz, schätzen Brot aus Ruch- oder Vollkornmehl. Diese Mehlarnten enthalten mehr Elemente aus der äusseren Kornhülle. Damit das Brot ein gutes Volumen behält und eine luftige Krume entwickelt, müssen die Glutenproteine von sehr guter Qualität sein. Da wir unser «täglich Brot» nicht mehr unbedingt jeden Tag einkaufen, muss zudem das Brot während mehreren Tagen aufbewahrt werden können. Um dies zu gewährleisten, muss das verwendete Mehl genügend Wasser aufnehmen können und im gebackenen Brot muss das Wasser im Protein- und Stärkenetz, welches die Krume bildet, gut verteilt bleiben, ohne dass es zur Kruste gelangt (altbackenes Brot) oder dass zu grosse Verluste entstehen (trockenes Brot). Die industrielle Brotherstellung, die in der Schweiz eine ziemlich grosse Rolle

spielt, ist ein weiterer Sektor, welcher ein hohes und regelmässiges Qualitätsniveau benötigt. Die heutigen Schweizer Sorten haben dieses Niveau erreicht. Paradoxerweise werden unsere qualitativ hochstehenden Weizensorten im Ausland weniger zur Herstellung von Vollkornbrot als zur Intensivierung der Herstellungsprozesse von Industriebrot verwendet. In Zukunft dürften sich die Qualitätstypen nach der Verwendungsart richten (vgl. Kasten). Die Stabilität der Qualität wird an Bedeutung gewinnen und neue Kriterien, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Nährwert oder dem Geschmack, werden eine Rolle spielen.

Resistenz

Das zweite Zuchtziel, die Resistenz gegenüber Krankheiten, soll erlauben, möglichst auf Pflanzenschutzmassnahmen zu verzichten. Dadurch sollen nicht nur die Produktionskosten gesenkt, sondern ebenfalls die Erträge stabilisiert und die Umweltbelastung vermindert werden. Da sich die Krankheiten ständig entwickeln, kann ihre Bekämpfung mittels genetischer Resistenz nie als endgültig abgeschlossen betrachtet werden. Der Artikel von V. Michel (2001) zeigt diesen Aspekt des Programms im Detail auf. Das durchschnittliche Resistenzniveau der Züchtungen der Forschungsanstalten ist ziemlich hoch. Genügend hoch jedenfalls, dass Massnahmen wie die «Extensio-Prämien» im Jahre 1991 eingeführt werden konnten. Man schätzt, dass von 1998 bis 2001 dank resistenter Sorten ca. 11 Millionen Franken an Behandlungskosten (~200.- Fr./ha⁻¹) eingespart und die Umweltbelastung mit Wirkstoffen um 22 t/Jahr⁻¹ (0,4kg/ha⁻¹) vermindert werden konnten. Diese Zahlen basieren auf einer jährlichen Anzahl Fungizidbehandlungen von 1,25 und auf Brotgetreideflächen von 41'844 ha für die Extensioproduktion beziehungsweise 2239 ha für die Bioproduktion während diesem Zeitabschnitt (Quelle: BLW; Bio Suisse; R. Charles,

Brot-, Biskuit- und Futterweizen sowie Weizen für andere Verwendungen

Wird Weizen in der Schweiz vor allem für die Herstellung von Bäckereiprodukten eingesetzt, so gibt es doch auch andere Verwendungsmöglichkeiten. Deswegen werden auch verschiedene Qualitätsarten benötigt.

Weniger als 5% der Ernte werden in Biskuitprodukten verwertet. Die Biskuitherstellung erfordert, insbesondere wenn das Rezept kaum andere Zutaten als Mehl und Wasser enthält, wenig harte Körner. Zudem braucht es Mehl, das kaum Wasser aufzunehmen vermag, und Glutenproteine, die einen sehr dehnbaren und wenig elastischen Teig ergeben, der sich während des Backens nicht verformt. Jährlich wird nur eine beschränkte Anzahl Kreuzungen (und ein spezifisches Züchtungsprogramm von 1987 bis 1994) hergestellt, aus denen sich die ein bis zwei Biskuitweizen-Sorten des nationalen Sortenkataloges erneuern.

Bisher wurde vor allem Brotweizen minderer Qualität oder Auswuchsweizen als Futter verwendet. Spezifischer Futterweizen muss vor allem einen hohen Ertrag aufweisen, damit der tiefere Körnerpreis ausgeglichen werden kann. Weiter muss er zusätzlich zu den üblichen agronomischen Eigenschaften einen möglichst hohen Gehalt an Eiweiss und essentiellen Aminosäuren, eine schwache Viskosität (falls er für die Geflügelfütterung verwendet wird), einen tiefen Phytansäure-Gehalt und wenn möglich eine grosse Phytaseaktivität (insbesondere für die Schweinefütterung) aufweisen. Schliesslich muss er genügend resistent gegenüber Pilzkrankheiten der Ähre (Septoria und vor allem Fusariose) sein, um Probleme mit Mykotoxinen beim Vieh zu vermeiden. Die in Changins geschaffenen Triticale-Sorten verfolgen all diese Ziele (Fossati, 1998) und stellen eine wettbewerbsfähige Alternative zu Futterweizen dar.

Andere Verwendungen des Weizens (Produktion von Bier, Stärke oder Ethanol usw.) gibt es in der Schweiz nicht oder nur in beschränktem Rahmen.

tung war in dieser Zeit insbesondere die Ertragsstabilität (Fossati und Paccaud, 1986). Die Liberalisierung des Getreidemarktes und die gegenseitige Anerkennung der nationalen Kataloge der Schweiz und der Europäischen Union bewirken einen verstärkten Wettbewerb zwischen den Sorten. Der wirtschaftliche Ertrag wird dadurch erneut zu einem Hauptfaktor, und es gilt für jeden auf dem Markt nachgefragten Qualitätstypus das höchstmögliche Ertragspotenzial zu finden.

Zu diesen drei Hauptzuchtzielen kommen andere Kriterien wie die Standfestigkeit und die Resistenz gegenüber Kälte und Auswuchs hinzu. Man darf allerdings nicht vergessen, dass die erzielten Fortschritte pro Ziel umso kleiner ausfallen, je mehr Ziele aufs Mal verfolgt werden.

Vielfalt nutzen oder schaffen

Um Individuen zu finden, die den Zuchtzielen möglichst entsprechen, muss der Züchter eine vorhandene Vielfalt nutzen oder sie zuerst selber schaffen. Die sofort verfügbare Vielfalt ergibt sich in Form von Linien oder Sorten aus Sammlungen (z.B. von Changins), von Linien aus regelmässigem oder punktuelltem Austausch mit anderen Züchtern, von Linien aus internationalen Versuchen oder von eigenen Linien. Der grösste Teil der rund 350 Kombinationen, die jährlich hergestellt werden, besteht aus Kreuzungen solcher Linien. Diese Kreuzungen stellen neue Genkombinationen dar, sie enthalten jedoch nur in den seltensten Fällen neue Eigenschaften. Für gewisse Eigenschaften müssen die interessanten Gene in anderen, dem Weizen nahe stehenden Arten gesucht werden (*Triticum sp.*, *Aegilops sp.*, *Agropyron sp.*, usw.). Danach werden diese «exotischen» Gene durch Kreuzung in einer äusserst lang-

RAC, mdl.). Obwohl sie schwer zu schätzen ist, muss auch die Verminderung der Anzahl Behandlungen bei der konventionellen und bei der integrierten Produktion berücksichtigt werden.

Die relative Bedeutung der Krankheiten, die bekämpft werden müssen, nimmt zu. Die durch die Klimabedingungen geförderten Septoria-Krankheiten waren in der Schweiz stets besonders wichtig (Abb. 6). Nebst Braunrost und Mehltau spielt der Gelbrost eine sehr wichtige Rolle, vor allem seit der Epidemie im Jahre 1961. Als Folge neuer Anbaumethoden (Minimalbodenbearbeitung, Direktsaatverfahren, Verzicht auf Pflugarbeit in Mais-Weizen-Fruchtfolgen) und verbesserter Nachweismethoden für Toxine haben in letzter Zeit die Fusariosen an Bedeutung gewonnen.

Ertrag

Der Bund spielte im letzten Jahrhundert über die Gesetzgebung, die Preisfestsetzung und das Einkaufsmonopol der Eidgenössischen Getreideverwaltung eine ausschlaggebende Rolle bei der Ausrichtung des Brotgetreideanbaus. Wie überall in Europa wurde nach dem Krieg die Produktion stark gefördert, wobei der Ertrag eindeutig ein vorrangiges Ziel war (Badoux, 1979). Als zu Beginn der achtziger Jahre eine Überproduktion drohte,

wurde versucht, durch Preissenkungen und die Einführung von ökologischen Massnahmen die schweizerische Produktion zu drosseln. Mit Preisklassen wurde ein Ausgleich der Produktivitätsunterschiede zwischen Weizen verschiedener Qualität angestrebt. Hauptziel der Züch-



Abb. 6. Unterschiedliche Sensibilität zweier Linien gegenüber Septoria. Septoria ist eine der Hauptkrankheiten des Weizens in der Schweiz.

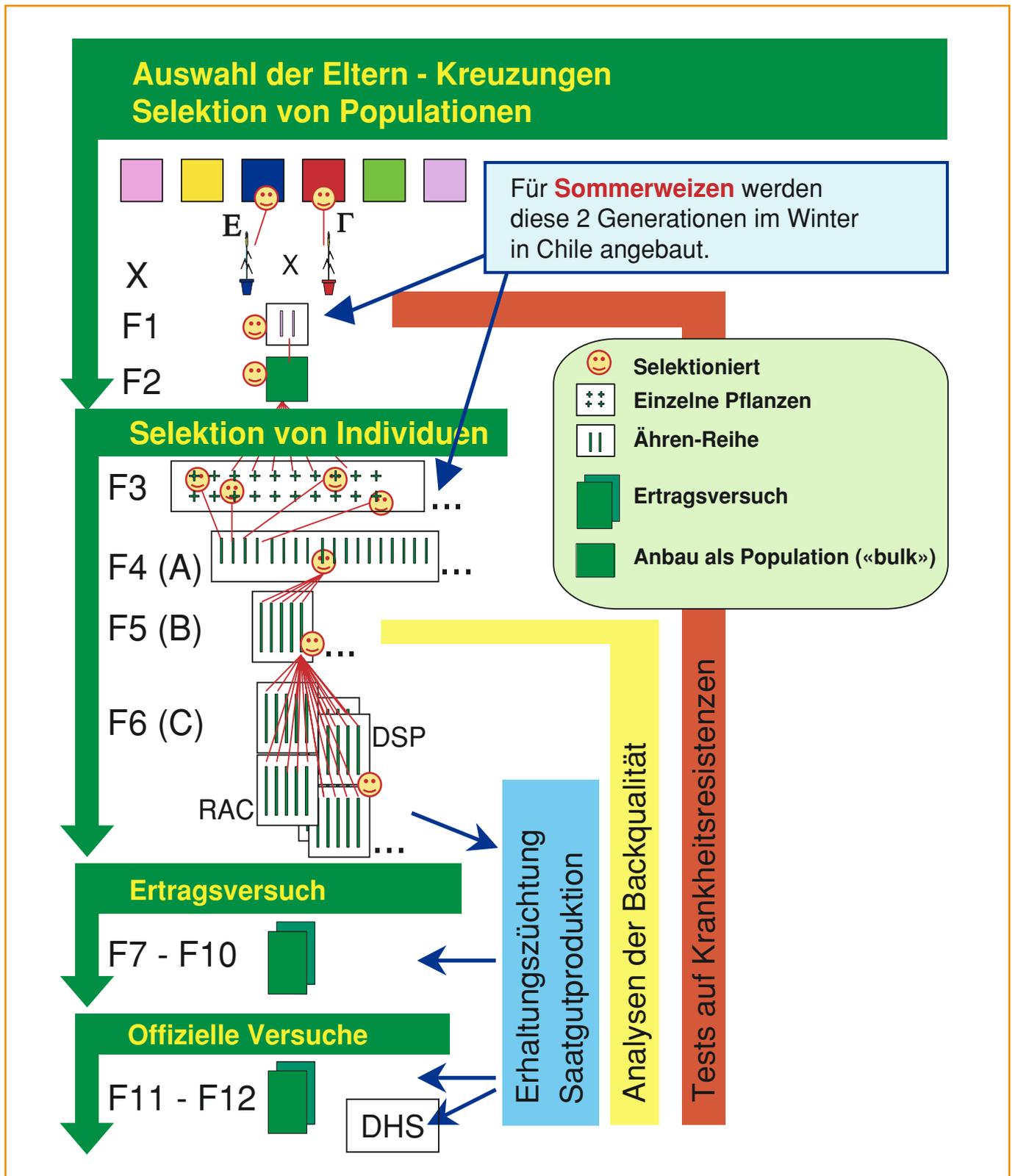


Abb. 7. Züchtungsschema für Weizen

wierigen Arbeit in das Genom der modernen Weizenlinien eingefügt. Ein grosser Teil der Resistenzgene wurde durch solche interspezifischen Kreuzungen in die heutigen Sorten eingebaut. Wenn für gewisse Eigenschaften zu wenig Vielfalt sowohl im Weizen als auch in nahe ste-

henden Arten besteht, muss diese geschaffen werden. Durch Mutagenese können ungezielt neue Eigenschaften gebildet werden. Die interessantesten Individuen müssen anschliessend jedoch in einer effizienten Selektion (*screening*) gefunden und isoliert werden. Diese Me-

thode ist je nach Arten und gesuchten Eigenschaften mehr oder weniger erfolgreich. 1999 gab es weltweit mehr als 1961 Sorten, die aus Mutagenese hervorgegangen waren, davon mehr als 153 Sorten Weichweizen. Eine unter ihnen war die Schweizer Winterweizensorte



Abb. 8. Kastrierung einer Weizenähre. Beim Elternteil A (Mutter) werden die drei Staubbeutel jeder Blüte mit einer Pinzette ausgezupft. Danach wird die Ähre mit einem Säckchen bedeckt, um eine ungewollte Befruchtung vor der Bestäubung mit dem Blütenstaub des Elternteils B (Vater) zu verhindern.



Abb. 9. Befruchtung einer Weizenähre. Der Blütenstaub wird auf einem Ährenstrauss des Elternteils B gesammelt und mit einer Pinzette in jede Blüte des Elternteils A gebracht.

Tambo (Maluszynski *et al.*, 2001). Seit kurzem lässt sich der Weizen auch durch Transgenese, den gezielten Einbau artfremder Gene, verändern. Die meisten Versuche auf diesem Gebiet werden von privaten Firmen in Nordamerika durchgeführt. Dort fanden auch bereits Freilandversuche statt, und die ersten Sorten dürften demnächst auf Praxisbetrieben angebaut werden. Die Veränderungen betreffen vor allem die Resistenz gegenüber Herbiziden, Virus- und Pilzkrankheiten, andere Ansatzpunkte sind aber auch die agronomische Leistungsfähigkeit und die Qualität (Barsby *et al.*, 2001). Solange die Transgenese in Europa in der Öffent-

lichkeit auf Ablehnung stösst, wird sich unser Programm nicht in diese Richtung bewegen. Sie ist teuer und für das Erreichen unserer gegenwärtigen Ziele nicht notwendig. Es wäre jedoch gefährlich, wenn die Forschungen auf diesem Gebiet ausschliesslich privaten Firmen vorbehalten blieben.

Züchtungsschema

Das aktuelle Programm benutzt ein klassisches Schema autogamer (selbstbefruchteter) Arten (Abb. 7), welches dem von Winzeler *et al.* (1994) beschriebenen ähnlich ist. Für jede Kombination werden zwei Ähren der Sorte A kastriert,

die einige Tage später mit dem Pollen der Sorte B bestäubt werden (Abb. 8 und 9). In der Zwischenzeit und nach der Bestäubung werden die Ähren mit Säckchen vor anderen Pollen geschützt (Abb. 10). Die Körner der zwei Ähren werden in Reihen von 2 x 1 m gesät. Wenn es sich bei den Elternlinien A und B um homozygote Linien¹ handelt (Abb. 11), sind die Pflanzen dieser ersten Generation (F1) gemäss den Mendelschen Gesetzen alle gleich. Bei der zweiten Generation (F2) ist die genetische Vielfalt hingegen voll ausgeprägt, so dass jede Pflanze der Population anders und stark heterozygot² ist (Abb. 12 und 13). In diesem Stadium werden

Marker-gestützte Züchtung

Molekulare Marker ermöglichen es, Individuen mit gewissen Genen zu identifizieren, ohne dass die Bedingungen für die Beobachtung der Expression dieser Gene gegeben sein müssen. Bei Rückkreuzungen (*back-cross*) wird der Nutzen der Marker offensichtlich. Bei dieser Methode wird eine Elite-Linie mit einer Linie gekreuzt, die ein interessantes Gen besitzt. Danach wird die Nachkommenschaft dieser Kreuzung, die das neue Gen aufgenommen hat, mehrmals mit der Elite-Linie rückgekreuzt. Am Schluss erhält man eine Linie, die von der «Spender-Linie» praktisch nur das interessante Gen übernommen, für alle andern Merkmale aber den genetischen Hintergrund der Elite-Linie beibehalten hat. Die Anzahl notwendiger Jahre und Zyklen hängt zum grossen Teil von der Frage ab, wie einfach und zuverlässig ohne Marker die Gen-Expression in der Nachkommenschaft erkannt werden kann. Manchmal wird die gesuchte Eigenschaft von mehreren Genen kontrolliert. Also müssen alle Regionen des Genoms untersucht werden, die bei ihrer Expression eine Rolle spielen. Um diese Genregionen zu identifizieren, wird eine Population untersucht, die bezüglich der gesuchten Eigenschaft aus der Kreuzung zweier Sorten mit starker Variabilität hervorgegangen ist. Mittels Korrelationsanalyse zwischen der phänologischen (Feldbeobachtung) und der genetischen Variation (Beobachtung auf der DNA) werden den identifizierten Genregionen (loci) Gewichte in Form von Prozentzahlen zugeteilt. Diese beschreiben die Bedeutung der jeweiligen Stelle für die Expression der untersuchten Eigenschaft. Die Genregionen werden **QTLs** (*quantitative trait loci*) genannt. Leider sind die Arbeiten über QTLs oft enttäuschend. Da es häufig schwierig und sehr aufwändig ist, phänotypische Daten guter Qualität zu erfassen, ergeben sich mangelhafte QTLs. Die Gewichte der QTLs werden häufig überschätzt, und vor allem ist die Extrapolation auf andere Populationen als diejenige, die für die Identifikation der QTLs verwendet wurde, oft unbefriedigend.



◁ Abb.10. Jährlich werden rund 350 Kombinationen für das Weizen-Züchtungsprogramm zusammengestellt.

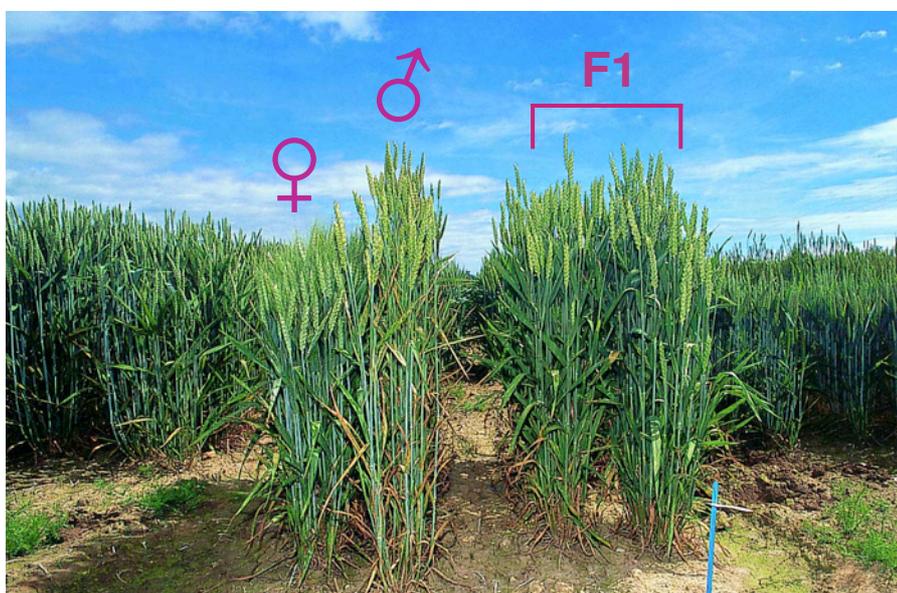


Abb. 11. In der Generation F1 werden die Körner, die auf den zwei kastrierten und befruchteten Ähren gesammelt wurden, in Reihen von je 1 m Länge gesät. Links eine Reihe mit der «Mutter» und eine Reihe mit dem «Vater» und rechts die zwei F1-Linien.



ausser den längsten Pflanzen noch keine Individuen beseitigt. Bei der dritten Generation (F3) werden die Körner einzeln in einem Zuchtgarten im Chablais gesät. Die Pflanzen werden aufgrund der lokalen Bedingungen und durch künstliche Infektion mit verschiedenen Krankheiten einem besonders hohen Krankheitsdruck ausgesetzt. Die kräftigsten und am wenigsten anfälligen Pflanzen werden markiert und später geerntet. Mit den geernteten Ähren dieser Generation wird die Pedigree-Selektion fortgesetzt. Die Nachkommenschaft jeder Ähre, die in den im Vorjahr selektierten Reihen geerntet wurde, wird wiederum in einer Reihe gesät («Ähren-Reihe»). Im ersten Jahr wird eine Ähren-Reihe, ein so genannter A-Stamm, von jeder selektierten Pflanze gesät (Abb. 14). Im zweiten Jahr werden vier Ähren-Reihen (B-Stamm) von jedem selektierten A-Stamm gesät (Abb. 15). Im letzten Jahr im Zuchtgarten werden schliesslich die C-Stämme mit den 30 Ähren gebildet, die im Vorjahr auf den besten B-Stämmen geerntet wurden. Zehn Ähren davon werden erneut im Zuchtgarten von Chablais und die zwanzig restlichen bei Delley Semences et Plantes SA (DSP) in Delley gesät. Das Zusammenführen der Daten der beiden Versuchsorte ermöglicht es, die 200 bis 350 meistversprechenden und stabilsten C-Stämme für die Leistungsprüfung (Ertragsversuche) auszuwählen (Abb. 16). Ein C-Stamm mit viel versprechenden Eigenschaften, aber einer zu hohen Instabilität, wird erneut während einem bis zwei Jahren im Zuchtgarten als C-Stamm angebaut. Mit der Aufnahme eines C-Stammes in die Leistungsprüfung übernimmt DSP die Verantwortung für die Bereitstellung des Saatgutes, für

¹ **Homozygot:** Individuum, dessen Zellen zwei identische allele Gene einer Eigenschaft besitzen.

² **Heterozygot:** Individuum, dessen allele Gene einer Eigenschaft verschieden sind (ein Gen stammt vom Vater, das andere von der Mutter).

◁ Abb. 12. Parzellen mit F2-Pflanzen. Jede Parzelle enthält Nachkommen aus einer Kreuzung.

Abb. 13. Ähren von F2-Pflanzen. Jede Pflanze der Parzelle ist anders, wie es zum Beispiel die Ährenform zeigt.

die kommerzielle Entwicklung der Linien und vor allem für die Erhaltungszüchtung. Nach drei- bis vierjährigen Vorversuchen in einem Netz mit vier bis fünf Standorten werden die besten Linien (weniger als 10 pro Jahr) für die offiziellen Versuche angemeldet. Gleichzeitig werden sie in Frankreich den Prüfungen auf Unterscheidbarkeit, Homogenität und Stabilität (DHS) unterzogen.

Jedes Jahr gilt es, die grösstmögliche Anzahl agronomischer Eigenschaften (Pflanzenlänge, Frühreife, Bestockung, Pflanzen- und Ährentypus, Standfestigkeit, Überwinterung, Aussehen des Korns usw.) zu sammeln, das Resistenzniveau gegenüber Krankheiten zu bewerten und die qualitativen Eigenschaften zu messen. Dabei geht es darum, unerwünschte Linien so früh und so wenig willkürlich wie möglich zu beseitigen, so lange sie noch teilweise heterozygot und demzufolge genetisch wenig stabil sind (Abb. 17). Um die Resistenz zu testen, wird der gesamte Zuchtgarten ab der Generation F1 gemäss den von Michel (2001) beschriebenen Techniken unter starken Befallsdruck der Hauptkrankheiten gesetzt: Septoria (*Stagonospora nodorum*), Braun- und Gelbrost sowie Mehltau. Danach wird die Krankheitsresistenz der Linien parallel zu den Ertragsversuchen noch einmal umfassend analysiert. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Krankheiten werden die Linien separat mit Fusarium und der zweiten Septoria-Krankheit (*Septoria tritici*) künstlich infiziert. Die Beobachtungen, die während des gesamten Züchtungsablaufs vorgenommen werden, ermöglichen es, Linien mit einem stabilen und hohen Resistenzniveau zu erkennen. Die Beobachtung der Backqualität ist schwieriger.



Abb. 14. A-Stämme. Jede «Ähren-Reihe» ist aus einer anderen Pflanze derselben Population hervorgegangen.



Abb. 15. B-Stämme. Die vier «Ähren-Reihen» einer Parzelle sehen ähnlich aus. Sie sind aus vier Ähren eines einzigen A-Stammes hervorgegangen. ▷



Abb. 16. Ertragsversuch. Jede Linie oder Sorte wird auf zwei oder drei Parzellen mit je einer Fläche von 7 m² gesät, die auf dem Feld zufällig angeordnet sind.

Die ersten Untersuchungen (Eiweissgehalt, Kornhärte, Zéleny-Test) werden zurzeit ab den B-Stämmen durchgeführt. Allerdings müssen die Resultate mit Vorsicht beurteilt werden. Zum einen wird die Backqualität nur auf indirekte Art geschätzt und zum anderen sind die Umweltbedingungen in der Schweiz sehr verschieden, was die Zuverlässigkeit der Resultate in Anbetracht der Tatsache, dass jede «Ähren-Linie» einmalig ist, beeinträchtigt. Wir sind aber überzeugt, dass die auf Stufe der Ertragsversuche eingesetzten Qualitäts- und Backtests ausreichen, um die Qualität des Zuchtmaterials präzise einschätzen zu können. Indem seit langem dasselbe qualitative Ziel hartnäckig verfolgt wurde, konnten zahlreiche positive Eigenschaften in den Linien des Programms kumuliert werden. Aus diesen Linien wird die Mehrheit der Kreuzungspartner für neue Sorten ausgewählt. Der Einbezug der Elektrophorese der Glutenproteine wird die Effizienz der Züchtung bezüglich Qualität noch erhöhen.

Perspektiven und Schlussfolgerungen

Die raschen Fortschritte der molekularbiologischen Forschung sind im Begriff,

die Pflanzenzüchtung vollständig zu verändern. Die Kenntnis des sehr grossen Weizengenoms (es enthält rund 40-mal mehr DNA als das Reis- und 6-mal mehr als das Maisgenom) wird immer besser. Die genetischen Karten sind detaillierter, die Anzahl der interessanten molekularen Marker nimmt zu und junge Forschungsgebiete, wie zum Beispiel die Proteomik, die sich umfassender mit der Gen-Expression beschäftigt, ergänzen den genetischen Zugang und beginnen spannende Resultate zu liefern. Obwohl bereits Instrumente auf der Basis molekularer Marker entwickelt werden konnten, sind die Auswirkungen auf die praktische Züchtung bisher weniger gross als erwartet.

Die Marker (vgl. Kasten) verhelfen zu einer besseren Wahl der Eltern und zu einer rascheren Selektion der Nachkommen, die viele positive Eigenschaften aufweisen. Da die vorhandenen Mittel immer beschränkt sind, ist eine Anwendungsstrategie für die Marker unerlässlich, unabhängig davon, ob es sich um molekulare Marker (z.B. Marker, der mit dem Resistenzgen *Lr 24* gegen Braunrost gekoppelt ist) (Schachermayr *et al.*, 1995), enzymatische Marker (z.B. Endopeptidase *Epd 1b*, die mit der Resistenz gegen Halmbruch gekoppelt ist) oder

▽ Abb. 17. Um eine neue Sorte zu finden, werden Tausende von Linien beobachtet und benotet.



Proteinmarker (z.B. Allele von hochmolekularen Glutelinen, die mit der Teigqualität gekoppelt sind) handelt. Der beschränkte Einsatz von Marker-unterstützter Züchtung ist in vielen Fällen darauf zurückzuführen, dass keine interessanten Marker vorhanden sind oder dass sie zu spezifisch auf eine besondere Population ausgerichtet sind. Hauptgrund für den beschränkten Einsatz sind jedoch die im Vergleich zu den herkömmlichen Methoden hohen Kosten für Ausrüstung und qualifiziertes Personal (Rajaram und van Ginkel, 2001), obwohl diese Kosten ständig sinken. Die Ausrüstungen dürften für eine private Züchtung nur dann rentabel sein, wenn sie auch für gewinnbringendere Arten wie Mais, Zuckerrüben und Raps verwendet werden können.

Zu den bereits hohen Kosten eines traditionellen Zuchtprogramms kommen noch die Kosten der Biotechnologie hinzu. Die Einnahmen aus den Weizensorten vermögen jedoch nur knapp die laufenden Zuchtprogramme zu finanzieren, insbesondere in Ländern, in welchen das Saatgut nur wenig erneuert wird. So werden jährlich Zuchtprogramme verkauft, sie verschwinden oder werden fusioniert. Das Risiko einer Konzentration der Zuchtprogramme auf einige wenige grosse Gruppen und auf nur wenige Arten - die wichtigsten, die gewinnbringendsten und die günstigsten für die Biotechnologie - besteht tatsächlich.

Die Getreideindustrie benötigt jedoch präzise Qualitäten, die je nach Verwendung verschieden sind, und auch die Landwirtinnen und Landwirte wünschen Sorten, die den verschiedenen Anbaumethoden angepasst sind. Wir erinnern daran, dass die Arten, insbesondere beim Weizen, bisher nur an eine beschränkte

Sommerweizen

Während weltweit meistens Sommerweizen angebaut wird, spielt dieser Weizentyp in der Schweiz nur eine nebensächliche Rolle. Sie wird vor allem als «Not-Weizen» verwendet, wenn die Bedingungen während des Winters oder bei der Aussaat im Herbst schlecht sind, wie zum Beispiel im Jahre 1956. In diesem Extremjahr musste der Weizen zu 80% neu gesät werden (Oehler *et al.*, 1956) (Abb. 2). Historisch gesehen waren die Sommerweizensorten, die mehr als 10% der Gesamtfläche ausmachten, genügend kälteresistent, um ebenfalls im Herbst gesät werden zu können (Abb. 4, Tab. 2).

Das Züchtungsschema für Sommerweizen zeichnet sich durch das Ausnützen von Wintergenerationen in Chile aus. Dort werden die Generationen F1 und F3 angebaut (ohne Selektion), wodurch die Dauer des Züchtungsprogramms gegenüber dem Winterweizenprogramm um zwei Jahre verkürzt werden kann. Die Anzahl der jährlichen Kombinationen wird auf rund hundert beschränkt. Die Züchtungen der Eidgenössischen Forschungsanstalten finden im Ausland Anklang. So wurden in den letzten acht Jahren 12 Sorten in acht Ländern registriert (Abb. 18).

geographische Zone angepasst sind. So sind die besten Weizen der Beauce (F) nicht die leistungsfähigsten Weizen in Deutschland und Italien. Die Vielfalt der Sorten, der Qualitäten, der Arten und der Züchtungsprogramme muss demzufolge unbedingt erhalten bleiben. Das schweizerische Programm hat viele Sorten für die Schweizer Landwirtschaft hervorgebracht, deren Qualität nun auf anderen Märkten gefragt ist. Indem wir unsere

Züchtungsziele weiterverfolgen und alle möglichen Mittel berücksichtigen, werden wir Sorten züchten können, die immer besser an unser Agrarsystem mit seinen raschen und tief greifenden Veränderungen angepasst sind.



Abb. 18. Besuch von Vertretern und Beratern auf einem 40 ha grossen Feld, auf dem die Schweizer Sorte Greina angebaut ist. Region Tandil, Provinz von Buenos Aires (Argentinien).

Literatur

Statistisches Jahrbuch der Schweiz, 1932 - 1988. Eidgenössisches Statistisches Amt.

Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, 1929 - 2001. SBV, Brugg.

Badoux S., 1979. L'amélioration des plantes à la Station fédérale de recherches agronomiques de Changins. *Revue suisse Agric.* **11**(2), 77-88.

Barsby T., Power J. B., Freeman J., Ingram H. M., Livesey N. L., Risacher T., Davey, M. R., 2001. Kapitel 42. Transformation of Wheat. In: *The World Wheat Book, A History of Wheat Breeding*, Bonjean A., Angus W. J. (éd.), Lavoisier, Editions TEC & DOC, Paris, 1081-1103.

Bartos P., Síp V., Vacké J., Stuchlíková E., Blasková V., Chrpová J., 2000. Erfolge und Perspektiven der Weizenzüchtung auf Krankheitsresistenz. In: Bericht über die 50. Arbeitstagung 1999 der Vereinigung österreichischer Pflanzzüchter, BAL Gumpenstein, 23-25. November 1999, Vereinigung österreichischer Pflanzzüchter (éd.), BAL, Gumpenstein, 111-118.

Brancourt-Hulmel M., Doussinaut G., Lecomte C., Bérard P., Le Buanec B., Trottet M., 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Science* **43**, 37-45.

Brugger H., 1956. Die schweizerische Landwirtschaft in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Verlag Huber & Co Aktiengesellschaft, Frauenfeld, 270 p.

Brugger H., 1978. Die schweizerische Landwirtschaft 1850-1914. Verlag Huber, Frauenfeld, 423 p.

Fossati A., Paccaud F.-X., 1986. La sélection du blé en suisse: passé, présent, futur. *Revue suisse Agric.* **18** (2), 73-80.

Fossati A., 1998. De Mont-Calme (1898) à Changins (1998): 100 ans de recherches au service des grandes cultures et des herbages. Amélioration des plantes: réflexions d'un sélectionneur. *Revue suisse Agric.* **30** (6), 251-253.

Fossati D., Ingold, M., 2001. Kapitel 11. Mountain Wheat Pool. In: *The World Wheat Book, A History of Wheat Breeding*, Bonjean A., Angus

W. J. (éd.), Lavoisier, Editions TEC & DOC, Paris, 311-332.

Gallay R., 1956. La sélection de nos blés, voies anciennes et voies nouvelles. In: Ouvrage publié à l'occasion du 75^e anniversaire de la Fédération des sociétés d'agriculture de la Suisse romande, mars 1956, 34-48.

Ingold M., 1998. De Mont-Calme (1898) à Changins (1998): 100 ans de recherches au service des grandes cultures et des herbages. *L'Histoire. Revue suisse Agric.* **30** (6), 243-250.

Kleijer G., 2002. Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. *Revue suisse Agric.* **34** (6), 253-259.

Maluszynski M., Szarejko I., Maluszynska J., 2001. Kapitel 36. Induced Mutations in Wheat. In: *The World Wheat Book, A History of Wheat Breeding*, Bonjean A., Angus W. J. (éd.), Lavoisier, Editions TEC & DOC, Paris, 939-977.

Michel V., 2001. La sélection de variétés de blé et de triticale résistantes aux maladies. *Revue suisse Agric.* **33** (4), 133-140.

Oehler E., Zweifel J., Ingold M., 1956. L'hiver 1955-1956. Ses douloureuses conséquences pour les cultures de Suisse romande. II. Les céréales. *Revue romande d'agriculture, de viticulture et d'arboriculture* **12** (11), 96-100.

Rajaram S., van Ginkel M., 2001. Kapitel 22. Mexico: 50 Years of International Wheat Breeding. In: *The World Wheat Book, A History of Wheat Breeding*. Bonjean A., Angus W. J. (éd.), Lavoisier, Editions TEC & DOC, Paris, 580-608.

Schachermayr G. M., Messmer M. M., Feuillet C., Winzeler H., Winzeler M., Keller B., 1995. Identification of molecular markers linked to the *Agropyron elongatum*-derived leaf rust resistance gene *Lr24* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* **90**, 982-990.

Winzeler H., Winzeler M., Keller B., Saurer W., Weilenmann F., 1994. Wheat and Spelt Breeding at the FAP-Reckenholz. In: EUCARPIA Cereal Section: «Prospectives of cereal breeding in Europe». Abstracts, 4-7 September 1994, Landquart, Switzerland. Brönimann A., Keller B., Winzeler, H. (éd.), FAP, Zurich, 136-137.

Summary

The Swiss wheat breeding program

Selection has played a major role in the impressive yield increase in wheat production. This paper presents the wheat breeding at the Swiss federal research stations, the results obtained during the last century and some prospects.

Key words: wheat breeding, bread quality, yield, quality, disease resistance.

Résumé

Le programme des stations fédérales

La production de blé a suivi une progression impressionnante, en grande partie grâce aux travaux de sélection. Cet article présente la sélection du blé en Suisse par les stations fédérales de recherches agronomiques, les résultats qu'elles ont obtenus au cours du siècle passé, ainsi que quelques perspectives.

Riassunto

Il programma di miglioramento del frumento in Svizzera

La produzione di frumento a seguito un aumento notevole della resa in gran parte grazie ai lavori di miglioramento genetico. Questo articolo presenta la selezione presso le stazioni federali di ricerche agronomiche, i risultati ottenuti durante il secolo scorso e alcune prospettive per il futuro.

