DOSSIER

FiBL

Techniken der Pflanzenzüchtung

Eine Einschätzung für den ökologischen Landbau

Nr. 2 2012 2. Auflage

unterstützt von: Stiftung Mercator Schweiz

MAHLE STIFTUNG GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG

Inhalt

EINFÜHRUNG 4

WOZU EINE ÖKOLOGISCHE PFLANZENZÜCHTUNG? 5
Sortenanforderungsprofil für den ökologischen Landbau 5
Konzentration auf dem Saatgutmarkt 6

GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN 8
Sortenschutz 8
Patente 9

GENTECHNISCH VERÄNDERTE ORGANISMEN 10

STRATEGIEN FÜR EINE OPTIMALE SORTENWAHL 10

TECHNIKEN FÜR DIE ZÜCHTUNG UND VERMEHRUNG VON PFLANZEN 12

ERZEUGUNG VON GENETISCHER VARIATION 14
Techniken auf der Ebene der Pflanze 14
Gezielte Kreuzungen innerhalb einer Art 14
Interspezifische Kreuzungen 15
Brückenkreuzung 16
Mutationsinduktion / induzierte Mutation 16
Tilling 17
Polyploidisierung 18
Cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS) 18

Techniken auf der Ebene der Zelle oder des Gewebes 19
Ovarien- und Embryokultur 19
Doppelhaploide Pflanzen (DH) 20
Protoplastenfusion 21
Cytoplastenfusion 22

Techniken auf der Ebene der DNA 22
Gentransfer zur Erzeugung von transgenen Sorten 22
Cisgenetik 23
Plastidentransformation 24
Gezielte Mutationsauslösung durch Zinkfinger-Nukleasen 24
Gezielte Mutationsauslösung durch Oligonukleotide 25
Gene Silencing – RNA Interferenz (RNAi) 26
Reverse Breeding 27
Transformation via Minichromosomen 27
Synthetische Biologie 28

SELEKTION 29
Techniken auf der Ebene der Pflanze 29
Phänotypische Selektion im Feld 29
Shuttle Breeding 29
Wechsel des Saatzeitpunkts 30
Ährenbeetmethode 30
Testkreuzungen 31

Phänotypische Selektion unter kontrollierten Bedingungen 31
Analytische/technologische Selektion 32
Organoleptische Selektion 32
Bildschaffende Methoden zur Selektion 33

Selektionstechniken auf der Ebene der Zelle oder des Gewebes 33
in vitro-Selektion 33

Techniken auf Ebene der DNA und exprimierten Genprodukten 34
Markergestützte Selektion (MAS) 34
Proteomics/Metabolomics 35

VERMEHRUNG 36
Techniken auf der Ebene der Pflanze 36
Generative Vermehrung 36
Vegetative Vermehrung 37
Apomixis 37

Techniken auf der Ebene der Zelle oder des Gewebes 38
in vitro-Vermehrung/Zell- und Gewebekulturen 38
Meristemkultur 38
Nodienkultur 38
Kalluskultur 39

Unterschiedliche Sortentypen 39
Klonsorten 39
Liniensorten (Inzuchtlinien) 40
Evolutionsramsche (Composite Cross Populations) 40
Populationssorten 41
Polycross-Sorten (Mehrkomponenten-Sorten) 41
Hybriden 42
Plus-Hybriden mit Xenieneffekt 43

KRITERIEN FÜR DIE BEURTEILUNG VON ZÜCHTUNGSTECHNIKEN 44
Grundlagenpapier zur ökologischen Pflanzenzüchtung 44

LITERATURLISTE 47

IMPRESSUM 48

Der Anbau ökologischer Lebensmittel ist auf geeignete Sorten und Anbaumethoden angewiesen. Die Etablierung einer auf die spezifischen Zuchtziele des Ökolandbaus fokussierten Züchtung ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Steigerung der Effizienz und der Ertragsstabilität der ökologischen Nahrungsmittelproduktion. Aber auch die Zunahme gentechnisch veränderter Sorten, die zunehmende Konzentration auf dem Saatgutmarkt und die eingeschränkte Nutzung genetischer Ressourcen durch die Patentierung von Lebewesen verlangen nach alternativen Ansätzen in der Pflanzenzüchtung.

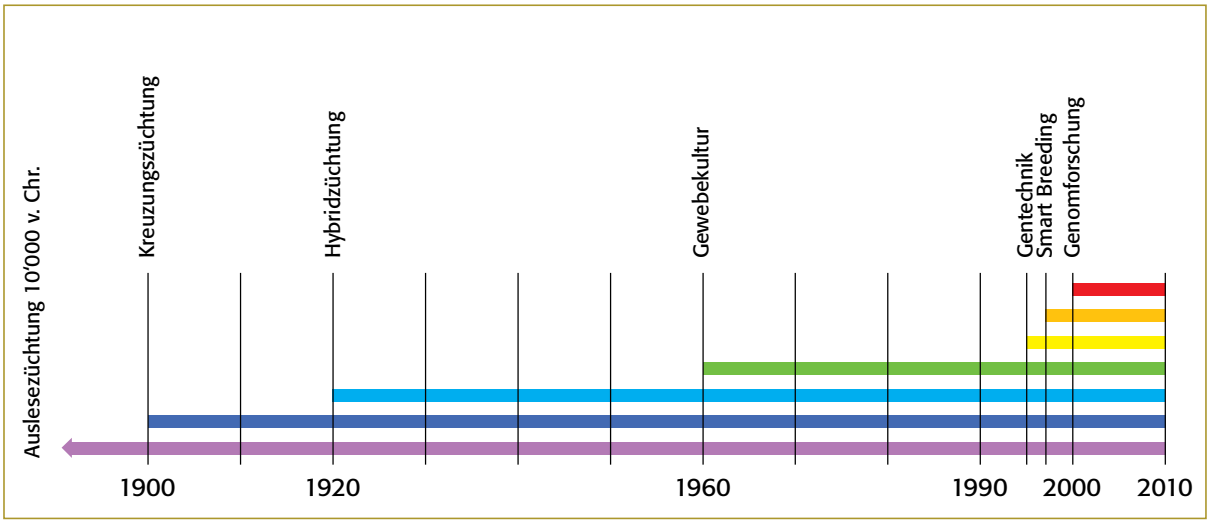
Das Dossier beschreibt traditionelle, neuere sowie kurz vor der Praxisreife stehende Methoden und Techniken der Pflanzenzüchtung und liefert Beurteilungen zu deren Eignung für den ökologischen Landbau. Ergänzt wird der Methodenüberblick durch das im Rahmen eines Experten-Workshops entstandene Grundlagenpapier zur ökologischen Pflanzenzüchtung und den zur Beurteilung von Züchtungsmethoden für den ökologischen Landbau erarbeiteten Kriterien.

Das Dossier will Entscheidungsträgerinnen und -trägern aus der ökologischen Landwirtschaft die für eine sachliche und transparente Beurteilung der Züchtungsmethoden erforderlichen Angaben und Kriterien liefern.

Einführung

Der Ökolandbau betrachtet die Züchtung neuer Sorten gemäß seinen Prinzipien ganzheitlich; das heißt, nicht nur die gezüchtete Sorte, sondern auch der Prozess der Sortenentwicklung sollte den Grundsätzen des Ökolandbaus entsprechen. Wichtige Kriterien wie die Wahrung der Integrität der Pflanzen, die Erhöhung der genetischen Diversität, die Einhaltung der Kreuzungsbarrieren sowie die Interaktionen der Pflanze mit dem lebendigen Boden und dem Klima sind zu berücksichtigen. Daraus folgt, dass der Einsatz der Züchtungstechniken, die zur Erzeugung genetischer Variation für Selektion und Vermehrung üblicherweise eingesetzt werden, auf ihre Kompatibilität mit dem Ökolandbau beurteilt werden müssen. Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) schließt der Ökolandbau aus, da hier isolierte DNA gegebenenfalls auch über Artgrenzen hinweg ausgetauscht wird, wie es natürlicherweise nicht möglich wäre. Aber auch andere Methoden, die nicht deklarationspflichtig sind, wie z.B. Protoplastenfusion, in vitro-Vermehrung, Mutationsauslösung oder Hybridzüchtung werden teilweise kritisch beurteilt.

Meilensteine in der Pflanzenzüchtung



Quelle: modifiziert nach www.die-pflanzenzuechter.de/innovationen.html

Die Diskussion über die Kompatibilität moderner Züchtungstechniken mit dem Ökolandbau läuft im Ökosektor seit einigen Jahren im Rahmen von nationalen und internationalen Workshops und Tagungen (Wyss et al., 2001; Arncken, 2002; Wilbois, 2002; Arncken und Thommen, 2002; Arncken und Dierauer, 2005; Lammerts van Bueren und Wilbois, 2003; Lammerts et al., 2007; Billmann et al., 2008; Oehen und Thommen, 2009). Bislang ist man aber zu keiner umfassenden Einschätzung der Züchtungstechniken gekommen. Dies hängt damit zusammen, dass es sich um eine sehr komplexe Materie handelt, die durch die Gentechnik-Diskussionen emotional stark aufgeladen ist. Währenddessen kommen aus Forschung und Entwicklung ständig neue Techniken hinzu (Stichwort: «smart breeding»), die raschen Eingang in die konventionelle Pflanzenzüchtung finden und neue Fragen aufwerfen.

Aufgrund der Komplexität wird diesen neuen Techniken von Konsumenten und Interessenvertretern des Ökolandbaus meist mit großer Skepsis begegnet. Werden jedoch moderne Züchtungsmethoden a priori abgelehnt, besteht die Gefahr, dass der Ökolandbau sich vom Zuchtfortschritt zu sehr abkoppelt und in Zukunft nicht mehr mit den wachsenden Herausforderungen einer produktiven und nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion mithalten kann (BMVEL 2002). Daher war es wichtig, eine Übersicht über die gängigen und noch im Entwicklungsstadium befindlichen Züchtungsmethoden zu gewinnen und parallel dazu Kriterien zu definieren, die eine sachliche und transparente Beurteilung der einzelnen Züchtungsmethoden unter Berücksichtigung der Prinzipien des Ökolandbaus gewährleisten. Aufgabe einer angepassten ökologischen Pflanzenzüchtung muss es sein, verbesserte Sorten für den Ökolandbau zu entwickeln, ohne die ethischen und ökologischen Grundsätze des Ökolandbaus zu verletzen.

Die Verwendung von gentechnisch veränderten Sorten ist für die ökologische Landwirtschaft verboten (EG-Verordnung Nr. 834/2007). Dieselbe Verordnung verlangt, dass nur ökologisch/biologisch erzeugtes Saatgut und Vermehrungsmaterial verwendet wird. Zu diesem Zweck muss die Mutterpflanze bei Saatgut, bzw. die Elternpflanze bei vegetativem Vermehrungsmaterial, mindestens während einer Generation oder bei mehrjährigen Kulturen für die Dauer von zwei Wachstumsperioden nach den Vorschriften dieser Verordnung erzeugt worden sein.

Wozu eine ökologische Pflanzenzüchtung?

Sortenanforderungsprofil für den ökologischen Landbau

Für eine effiziente und nachhaltige Produktion von Lebensmitteln unter ökologischen Bedingungen sollten sowohl Sorten als auch Anbaumethoden für den Standort optimiert werden. Da die momentan verfügbaren Sorten überwiegend aus Züchtungsprogrammen für den konventionellen Anbau hervorgegangen sind (Lammerts van Bueren et al., 2011), ist das genetische Potenzial für den Ökolandbau bei weitem nicht ausgeschöpft. Für den Ökolandbau relevante Eigenschaften, wie z.B. Resistenz gegen samenbürtige Krankheiten, Unkrautunterdrückungsvermögen oder Nährstoffeffizienz, werden bei der Selektion von Pflanzen aus chemisch-synthetisch gebeizten Samen, unter Herbizideinsatz und bei hohem Düngungsniveau nicht berücksichtigt. Eine Züchtung mit Fokussierung auf die spezifischen Zuchtziele und Anbaumethoden des Ökolandbaus ist daher für die Steigerung der Effizienz und der Ertragsstabilität in der ökologischen Nahrungsmittelproduktion dringend notwendig.

Der ökologische Landbau steht für eine hohe genetische Diversität auf der Betriebsebene. Um den sehr heterogenen Bedingungen im ökologischen Landbau hinsichtlich der natürlichen Standortsbedingungen, des Viehbesatzes, der Fruchtfolge und schlussendlich der Vermarktungsmöglichkeiten gerecht zu werden, ist es notwendig, eine breite **Vielfalt an Kulturpflanzen** anzubauen. Hierfür sollte eine Vielzahl an regional **angepassten Sorten** zur Verfügung stehen.

Diese Sorten müssen unter den gegebenen Bedingungen mit geringem Einsatz an externen Betriebsmitteln ausreichend hohe und vor allem **stabile Erträge** liefern und hinsichtlich technischer aber auch **ernährungsphysiologischer Qualität** sehr gut sein. Der ökologische Landbau unterscheidet sich vom konventionellen Landbau unter anderem durch die Art und Menge der Düngung und der Unkraut- und Schädlingskontrolle. So wird im ökologischen Landbau ein möglichst geschlossener Nährstoffkreislauf angestrebt, in dem hofeigene organische pflanzliche und tierische Dünger eingesetzt werden anstelle von schnelllöslichen mineralischen Düngern. Durch den Anbau von Leguminosen und Gründüngungen zur biologischen Stickstoff-Fixierung und den Anbau von nährstoffeffizienten Sorten können natürliche Ressourcen optimal genutzt werden. Die Unkrautbekämpfung erfolgt durch optimierte Fruchtfolgen, mechanische Verfahren und frohwüchsige, konkurrenzfähige und meist längere Sorten anstelle der Anwendung von Herbiziden. Krankheits- und Schädlingskontrolle erfolgt prioritär durch die gezielte Förderung von Räubern/Parasitoiden/Symbionten (funktionelle Biodiversität) und den Anbau resistenter Sorten anstelle des Einsatzes von Pestiziden.

Neben einer Vielzahl an Eigenschaften, die auch im konventionellen Landbau eine wichtige Rolle spielen, müssen Sorten für den ökologischen Landbau zusätzliche Merkmale besitzen. Dazu gehören:

- Resistenzen gegen boden- und samenbürtige Krankheiten (werden in konventionellen Züchtungsprogrammen nicht mehr berücksichtigt, da effiziente chemisch-synthetische Beizmittel zur Verfügung stehen)
- Rasche Jugendentwicklung
- Hohes Unkrautunterdrückungsvermögen bzw. hohe Unkrauttoleranz
- Gute Standfestigkeit bei höherer Wuchshöhe
- Erhöhte Nährstoffeffizienz durch ausgeprägtes Wurzelsystem und die Förderung von Symbiosen mit Bodenorganismen
- Qualitätsmerkmale

Die Ziele der ökologischen Pflanzenzüchtung sollten für jede einzelne Kultur individuell definiert werden. Auch die Bedürfnisse der Landwirte, der Züchter, des Handels und der Konsumenten sollten mit einbezogen werden.

Sojablüte.

Sorten für den ökologischen Landbau

Sortenentwicklung	Sortenprüfung	Sortenvermehrung
Konventionelle Züchtung (Kat. I)	Konventionelle Prüfung	Ökologisch vermehrtes Saatgut
Konventionelle Züchtung (Kat. I)	Öko-Prüfung	Ökologisch vermehrtes Saatgut
Züchtung für den Ökolandbau (Kat. II)	Öko-Prüfung	Ökologisch vermehrtes Saatgut
Ökologische Pflanzenzüchtung (Kat. III)	Öko-Prüfung	Ökologisch vermehrtes Saatgut

Konzentration auf dem Saatgutmarkt

Die Pflanzenzüchtung wird von kommerziellen Züchtungsunternehmen dominiert, die ihre Züchtungsaktivitäten durch Sortenlizenzen refinanzieren müssen. Staatliche Züchtungsförderung beschränkt sich meist auf die Entwicklung von Vorstufenmaterial, das anschließend von privaten Züchtern zur Sorte weiterentwickelt und angemeldet wird. Die Züchtungsanstrengungen konzentrieren sich auf **wenige Pflanzenarten,** die entsprechend umsatzstark sind (z.B. Mais, Raps, Reis, Soja) und eine Amortisierung der Züchtungskosten erlauben. Dadurch vergrößert sich die Ertragsschere und der Deckungsbeitrag für kleinere Kulturarten fällt immer stärker hinter dem der Hauptkulturen zurück (z.B. die für den ökologischen Landbau unersetzlichen Leguminosen). Dies führt zu immer einfacheren Fruchtfolgen und dem Verlust von Know-how im Anbau, wie es gegenwärtig am Beispiel der Ackerbohne beobachtet werden kann.

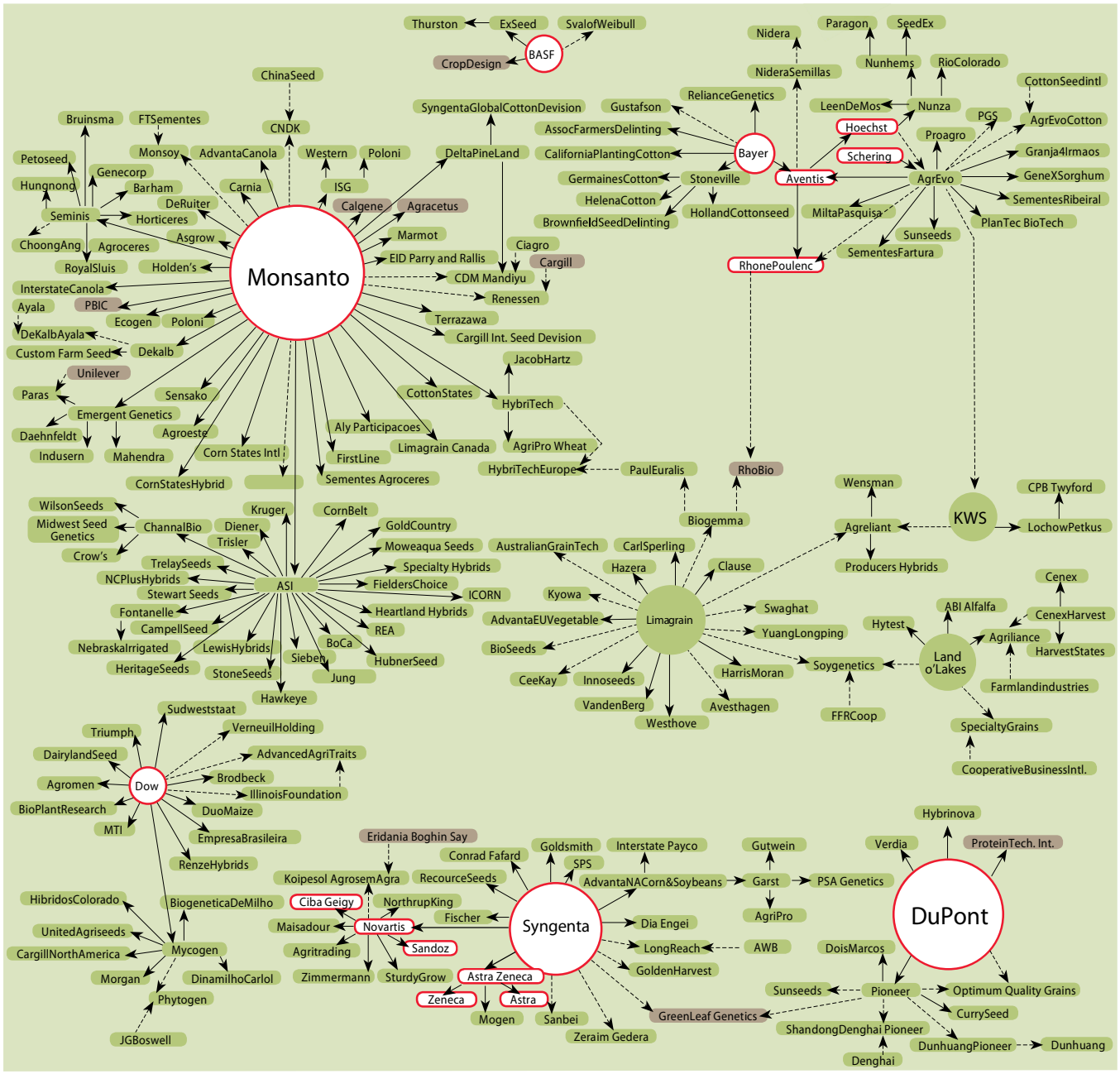
Die **kommerzielle Saatgutindustrie** hat in den vergangenen 40 Jahren eine ausserordentliche Konsolidierung durchlaufen. Die Entwicklung weg von kleinen Familienbetrieben hin zu großen multinationalen Konzernen begann mit der Züchtung von Hybriden. Große Unternehmen der Agrarchemie, die hauptsächlich in der biotechnologischen Forschung aktiv waren, begannen in den 1980er Jahren Züchtungs- und Saatgutfirmen aufzukaufen. In den 1990er Jahren wurden dann durch Aufkäufe und Zusammenschlüsse von Wettbewerbern große, weltweit agierende multinationale Konzerne aufgebaut. Durch den Zusammenschluss von Agrarchemie, Pharmazie und Saatgut sollten mit der gemeinsamen Nutzung einer Technologieplattform bedeutende Synergieeffekte möglich werden. Gentechnologische Verfahren waren gerade entwickelt worden, aber noch war der Kapitaleinsatz sehr hoch. Es bot sich daher an, das methodische Wissen sowohl für die Entwicklung von Pflanzenschutzmitteln und pharmazeutischen Wirkstoffen als auch für neue Eigenschaften bei Kulturpflanzen einzusetzen. Neue Eigenschaften wurden patentiert und die damit ausgestatteten Pflanzen von einer weiteren Nutzung durch andere Züchter, aber auch von der erneuten Aussaat des Erntegutes (Nachbau) ausgeschlossen. Zeitgleich wurde die Idee entwickelt, Saatgut und Pflanzenschutzmittel als Gesamtpaket zu verkaufen, um Kunden zu binden (Harl, 2000).

Heute wird der Verkauf von Saatgut global von ein paar wenigen Firmen beherrscht. Die drei größten Unternehmen Monsanto, DuPont und Syngenta kontrollieren 53 % des globalen proprietären Saatgutmarktes (ETCgroup, 2011). Mittlerweile gibt es eine starke Konzentration in Bezug auf den Besitz von Sortenrechten für die wichtigsten Kulturen (Weizen, Mais, Soja, Kartoffel, Weidelgras und Ölraps), vor allem in den entwickelten Ländern. Weltweit teilen sich die Top-10 Unternehmen die Sortenschutzzertifikate von etwas mehr als 40 % bei Weizen und bis zu 70 % bei Ölraps und Mais. Aufgrund dieser Entwicklung kam es zu einem deutlichen Verlust an Sorten. Hinzu kommt, dass die marktführenden Saatgutunternehmen verstärkt mit gentechnologischen Methoden arbeiten. Die Machtkonzentration, Strukturen und Techniken widersprechen den grundsätzlichen Prinzipien der Nachhaltigkeit des Ökologischen Landbaus.

Verengung der Vielfalt in der Pflanzenzüchtung

Quelle: modifiziert nach Haußmann und Parzies (2009)

Struktur der Saatgutindustrie im Jahr 2008



Grafik aus AGROPOLY, Erklärung von Bern, April 2011, modifiziert nach Howard (2009), www.mdpi.com/journal/sustainability

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Sortenschutz

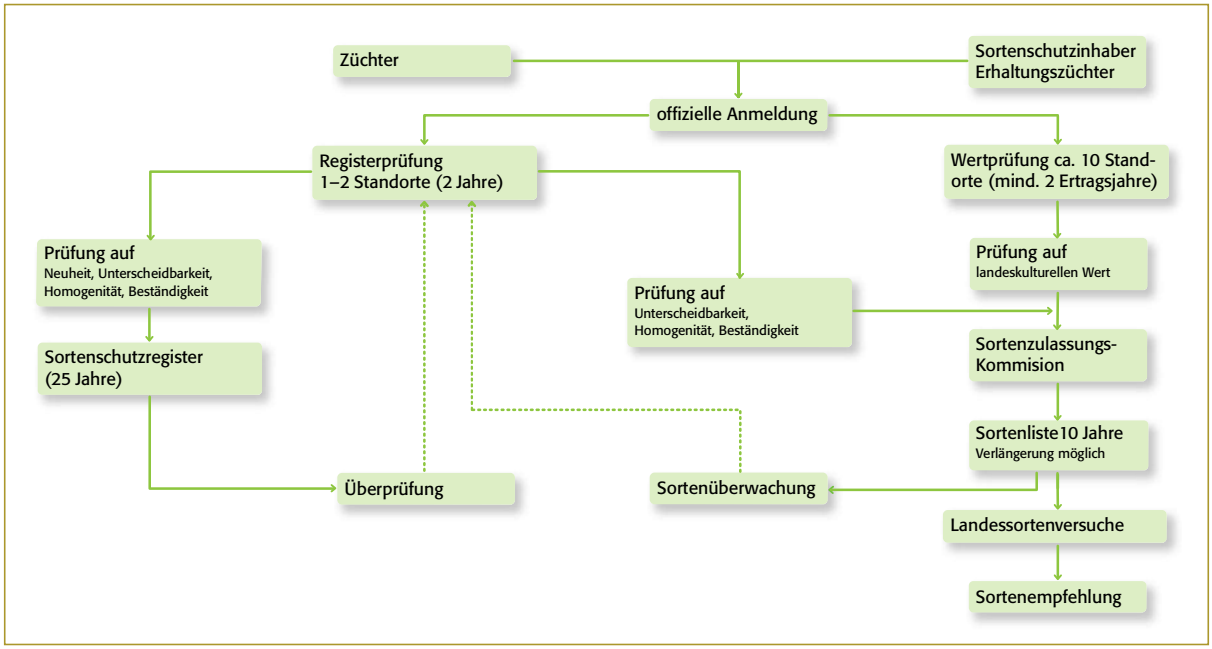
Der derzeitige gesetzliche Rahmen für Pflanzenzüchtung, Saatgutvermehrung und Verteilung besteht aus einer Vielzahl nationaler und internationaler Richtlinien, Konventionen, Direktiven und Regulierungen. Ein entscheidender Schritt auf dem Weg zu einem Schutzrecht für Pflanzenzüchtung war das Internationale Übereinkommen zum Schutze von Pflanzenzüchtungen (UPOV) vom 02.12.1961 (www.upov.int/upovlex/de/upov_convention.html). Hierin wurden international einheitliche Regeln für den Schutz von Pflanzensorten aufgestellt. Das UPOV-Übereinkommen sieht eine Form des Schutzes des geistigen Eigentums sui generis vor, die eigens für den Prozess der Pflanzenzüchtung angepasst und entwickelt wurde, und dem Züchter das Recht zur ausschließlichen Nutzung der Sorte zuerkennt. Der Züchter kann von allen, die in seinem Auftrag Saatgut dieser Sorte vermehren, Lizenzgebühren verlangen, damit er seine Züchtungsanstrengungen amortisieren kann. Die Zustimmung des Züchters wird hingegen nicht benötigt, wenn andere Züchter diese Sorte zur Weiterzüchtung verwenden möchten (Züchtervorbehalt) oder wenn der Landwirt sein eigenes Saatgut vermehren will (Landwirteprivileg). Je nach Land und Vermehrungsfläche werden dafür sogenannte Nachbaugebühren erhoben. Diese Ausnahmeregelungen sind zentraler Bestandteil des UPOV-Übereinkommens (Le Buanec, 2006) und unterscheiden sich ganz wesentlich von den Patenten.

Damit ein Sortenschutz erteilt werden kann, muss eine Sorte unterscheidbar, hinreichend homogen, beständig (genetisch stabil) und neu sein und einen Sortennamen besitzen (Miedaner, 2010). Die ersten drei Kriterien werden in sogenannten Registerprüfungen (DHS: Prüfung für Unterscheidbarkeit, Homogenität und Stabilität) geprüft. Diese Registerprüfungen konzentrieren sich vor allem auf morphologische Merkmale, die nicht notwendigerweise agronomisch relevant sein müssen.

Die nationalen Saatgutverkehrsgesetze regeln darüber hinaus, ob eine Sorte für die Vermarktung zugelassen wird. Diese Sortenzulassung hängt bei landwirtschaftlichen Kulturen vom sogenannten «landeskulturellen Wert» ab, den die Sorte im Vergleich zu bereits zugelassenen Sorten erzielen muss. Die Merkmale, die zur Bestimmung des landeskulturellen Wertes berücksichtigt werden, werden für jede Kulturart durch die nationalen oder europäischen Sortenämter geregelt. Bis jetzt wird diese Evaluation in den meisten Ländern unter konventionellen Bedingungen durchgeführt und ist stark auf die Ertragsleistung fokussiert. Dieses System ist insofern effizient, als dass es Sorten gut schützt und dadurch bewirkt, dass neue Sorten entwickelt werden. Jedoch deckt es nur bedingt die Bedürfnisse des ökologischen Landbaus ab, da es auf Sorten ausgerichtet ist, die eine möglichst breite geographische Verbreitung und einen großen Markt bedienen sollen (Borgen, 2009; Lammerts van Bueren et al., 1999; Rajaram and van Ginkel, 2001).

Eine zu geringe Homogenität der Sorte kann dazu führen, dass die Sorte weder geschützt noch vermarktet werden kann. Daher laufen zurzeit zahlreiche Bemühungen das Sortenzulassungsverfahren zu ändern, damit auch solche genetisch heterogenen aber dafür anpassungsfähigere Sorten auf den Markt kommen können. In der Schweiz ist es seit dem 1. Juli 2010 möglich, dass solche Sorten über sogenannte «Nischensorten» ohne Registerprüfung zugelassen werden können.

Abläufe für die Sortenzulassung und den Sortenschutz



Quelle: modifiziert nach www.saatgut-austria.at

Während in der älteren UPOV-Vereinbarung von 1978 der Züchtervorbehalt und das Landwirteprivileg klar verankert waren, wurden in dem neuen UPOV-Abkommen von 1991 das Recht anderer Züchter, geschützte Sorten für Forschungszwecke zu benutzen, begrenzt und die Privilegien der Landwirte eingeschränkt. Landwirte dürfen die geschützten Sorten zwar noch für ihre eigenen Zwecke vermehren, sie dürfen aber keine Samen unter einander austauschen oder verkaufen. Vor der Einführung von UPOV 91 mussten Pflanzenzüchter wählen, ob sie ihre Sorten durch das Züchterrecht, oder durch ein Patent schützen wollen. UPOV 91 hat es ermöglicht, dass eine Pflanzensorte sowohl durch das Züchterrecht als auch durch ein Patent geschützt werden kann. Außerdem wurde der Sortenschutz auf alle Pflanzengattungen und -arten ausgedehnt und das Züchterrecht nur einem Besitzer einer geschützten Sorte zugesprochen. Kritiker der geänderten Regelungen befürchten, dass dadurch besonders Kleinproduzenten benachteiligt werden. Sie können ihre Landsorten nicht mehr legal vermarkten und durch on-farm-Selektion an ihre eigenen Bedürfnisse anpassen. Dies könnte allgemein zu einer genetischen Verarmung und Einschränkung der Kulturpflanzenvielfalt führen.

Patente

Neben dem Sortenschutz (Plant Breeders' Rights) existieren in den USA Nutzungspatente und Pflanzenpatente. In der EU hingegen ist die Patentierung von Pflanzen und Saatgut derzeit noch höchst umstritten. Während sich in Europa die Patentierung zu Beginn auf gentechnisch veränderte Organismen beschränkte, sorgten in letzter Zeit verschiedenste Patentanträge auf nicht gentechnisch veränderte Brokkoli, Melonen und Tomaten für Aufsehen.

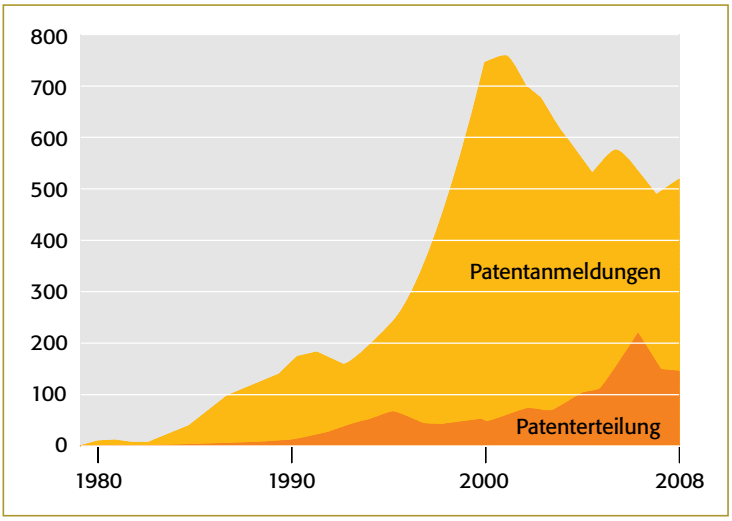
Gemäß Art. 4 Abs. 1(a) der EU-Bio-Patentrichtlinie 98/44/EG sind Pflanzensorten und Tierrassen von der Patentierbarkeit ausgeschlossen. Eine Sorte ist dabei durch ihr gesamtes Genom geprägt und wird durch die Merkmalsausprägungen definiert, die sich aus einem bestimmten Genotyp oder einer Kombination von Genotypen ergeben. Hingegen sind Pflanzen oder Tiere unterhalb und oberhalb der Ebene einer Sorte oder Rasse patentierbar. Darüber hinaus sind Verfahren patentierbar, die sich auf mehr als eine Sorte oder Rasse beziehen.

Ausgeschlossen von der Patentierung sind nach Art. 4 der Biopatentrichtlinie «im Wesentlichen biologische Verfahren zur Züchtung von Pflanzen oder Tieren». Gleiches gilt nach Art. 53 des Europäischen Patentübereinkommens (EPÜ): «Europäische Patente werden nicht erteilt für ... Pflanzensorten oder Tierrassen sowie im Wesentlichen biologische Verfahren zur Züchtung von Pflanzen oder Tieren. Dies gilt nicht für mikrobiologische Verfahren und die mithilfe dieser Verfahren gewonnenen Erzeugnisse.»

Im April 2011 hat das Europäische Patentamt (EPA) jedoch ein Patent auf Melonen erteilt, die über Resistenzen gegenüber bestimmten Viren verfügen (EP1962578). Diese ursprünglich bei einer indischen Melonensorte auftretende Resistenz kann dabei sowohl durch rein konventionelle Zucht als auch durch genetische Veränderung auf andere Melonensorten übertragen werden. Dabei wird ein Erzeugnisanspruch erhoben, der teilweise durch ein Verfahren beschrieben wird. So werden in einigen Ansprüchen der «Brokkoli-» und «Tomaten»-Patente die Pflanzen als Erzeugnisse durch das zugrunde liegende Züchtungsverfahren (im Falle des Brokkoli ein sogenanntes Smart Breeding-Verfahren) definiert. Die momentane Praxis des EPA geht offenbar von einer Patentierbarkeit von Pflanzen aus, auch wenn diese auf konventioneller Züchtung beruhen. So hat das EPA keine grundsätzlichen Einwände gegenüber der Patentierung einer kernarmen Tomate, die wesentlich durch die Verwendung eines herkömmlichen Züchtungsverfahrens beschrieben wird (EP1026942) (www.bmelv.de > suchen nach «Biopatente-Product-by-Process»). Inzwischen sind bereits mehrere 100 Patente auf Pflanzen erteilt worden (www.no-patents-on-seeds.org/de).

Mit der Anwendung des Patentrechts auf die Pflanzenzüchtung kommt es zu sehr weitreichenden Einschränkungen der Nutzung der genetischen Diversität, zur Aushebelung des Züchtervorbehalts und zur Verhinderung jeglichen Nachbaus. Zudem umfassen die Patente oft alle Stufen der Wertschöpfungskette – vom Acker bis zum Lebensmittel – und erhöhen so die Abhängigkeit der Produzenten. Im Ökolandbau, aber auch in weiten Teilen der Konsumentenschaft, werden daher Patente auf Lebewesen und Lebensmittel abgelehnt.

Anzahl Patentanträge auf gezüchtete Pflanzen und vom Europäischen Patentamt erteilte Patente



Quelle: modifiziert nach Then und Tippe (2009), www.no-patents-on-seeds.org

Gentechnisch veränderte Organismen

Gemäß der Internationalen Vereinigung biologischer Landbaubewegungen (IFOAM) und der EG-ÖKO-BASISVERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007 sind bisher nur solche Sorten im ökologischen Landbau zugelassen, die nicht gentechnisch verändert sind. Die nach der EU-Richtlinie 2001/18/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES oder nach dem Schweizer Gentechnikgesetz gentechnisch veränderten Pflanzen unterliegen der gesetzlichen Kennzeichnungspflicht.

Bisher besteht jedoch das Problem, dass sich die gesetzlichen Definitionen von den Definitionen der IFOAM unterscheiden. Während Pflanzen, die aus Zellfusionen entstanden sind, nach Schweizer Recht nicht zu den gentechnisch veränderten Organismen (GVO) zählen, sind sie nach europäischem Recht nur dann als GVO einzustufen, wenn die an der Fusion beteiligten Pflanzen sich nicht mittels herkömmlichen Züchtungstechniken kreuzen lassen. Gemäß IFOAM sind Zellfusionen jedoch der Gentechnik zuzurechnen und daraus abgeleitete Sorten im Ökolandbau nicht einsetzbar. Die Sorten aus Zellfusionen, wie z.B. viele Hybriden von Blumenkohl, Brokkoli und anderen Gemüsearten, sind jedoch nicht kennzeichnungspflichtig, so dass es im ökologischen Anbau zu großen Verunsicherungen gekommen ist.

Das Europäische Konsortium für ökologische Pflanzenzüchtung (ECO-PB) hat große Anstrengungen unternommen, um eine europaweite Lösung zu finden, um diese Sorten aus dem ökologischen Anbau auszuschließen. Mittlerweile haben verschiedene Verbände ein Verbot von Sorten in ihre Richtlinien übernommen, die mithilfe von Zellfusion entwickelt wurden, obwohl das kurzzeitig zu einer starken Einschränkung in der Sortenwahl und zu Engpässen bei Produzenten geführt hat. Die unterschiedlichen Definitionen für gentechnische Veränderungen haben viel Unmut bei den konventionellen Züchtern und Züchtungsforschern ausgelöst. Diese waren sich oft nicht bewusst, dass sie Züchtungstechniken einsetzen, die vom ökologischen Landbau abgelehnt werden.

Strategien für eine optimale Sortenwahl

Die EG-Verordnung Nr. 834/2007 verlangt, dass ausschließlich ökologisch erzeugtes Saatgut und Vermehrungsmaterial im Ökolandbau verwendet wird. Zu diesem Zweck muss die Mutterpflanze bei Saatgut, bzw. die Elternpflanze bei vegetativem Vermehrungsmaterial, mindestens während einer Generation oder bei mehrjährigen Kulturen für die Dauer von zwei Wachstumsperioden nach den Vorschriften dieser Verordnung erzeugt worden sein. Das so vermehrte Saatgut, wird als «Ökosaatgut» oder «Biosaatgut» bezeichnet, sagt aber nichts darüber aus, auf welche Art und Weise diese Sorte gezüchtet wurde, oder ob es für den ökologischen Landbau geeignet ist (siehe unten). Als Ausnahmeregelung sind ungebeizte, nicht ökologisch vermehrte Sorten zugelassen, wenn keine geeigneten Sorten aus ökologischer Vermehrung zur Verfügung stehen. Somit sind momentan alle Sorten, deren Saatgut bzw. Pflanzgut unter ökologischen Bedingungen vermehrt wurden, im ökologischen Landbau zugelassen, sofern sie nicht gentechnisch verändert oder auf Verbandsebene ausgeschlossen sind.

Bei den Sorten können folgende Kategorien unterschieden werden (Wolfe et al., 2008):

I Konventionelle Züchtungsprogramme

In konventionellen Züchtungsprogrammen finden die Selektion und die Vermehrung an konventionell bewirtschafteten Standorten unter Anwendung von chemisch-synthetischen Beizmitteln, Herbiziden etc. sowie einer optimalen Nährstoffversorgung statt. Die Sortenentwicklung orientiert sich an den Bedürfnissen der großen Märkte der konventionellen Produktion.

Unter der Annahme, dass sich Sorten in konventionellen und ökologischen Systemen gleich verhalten, werden die besten Sorten aus diesen Programmen häufig auch im Ökolandbau angebaut.

Beispiele:	
Getreide:	Agroscope Changins-Wädenswil, INRA Frankreich, KWS-Lochow
Obst:	Agroscope Changins-Wädenswil, Institut für Züchtungsforschung Dresden-Pillnitz

II Züchtungsprogramme für den ökologischen Landbau: Produktorientiert

In Züchtungsprogrammen mit einem speziellen Fokus auf den ökologischen Landbau werden die besonderen Zuchtziele des Ökolandbaus in laufendende konventionelle Züchtungsprogramme mit aufgenommen. Methoden der Gentechnik (inkl. Zellfusion) werden nicht verwendet. Typischerweise finden Kreuzungen und frühe Selektion unter konventionellen Anbaubedingungen statt. Die späten Generationen werden unter konventionellen und ökologischen Bedingungen getestet. Die Erhaltungszüchtung und die Produktion von Vorstufen- und Basissaatgut finden unter konventionellen Bedingungen statt. Die Vermehrung für das zertifizierte Saatgut wird anschließend unter ökologischen Bedingungen durchgeführt.

Beispiele:	
Getreide:	Saatzucht Donau
Gemüse:	Bejo, Vitalis
Mais:	KWS Saat AG

III Ökologische Pflanzenzüchtungsprogramme: Prozessorientiert

Ökologische Pflanzenzüchtungsprogramme sind ausschließlich auf die spezifischen Anforderungen im Ökolandbau ausgerichtet. Alle Züchtungsschritte von der Kreuzung, Selektion über die Vermehrung und die Erhaltung der Sorten werden unter ökologischen Bedingungen durchgeführt. Die angewendeten Züchtungstechniken stehen im Einklang mit den Grundgedanken des ökologischen Landbaus. Auf diese Weise gezüchtete Sorten werden als «Ökosorten» bezeichnet und können gegebenenfalls ausgelobt werden (z.B. www.bioverita.ch).

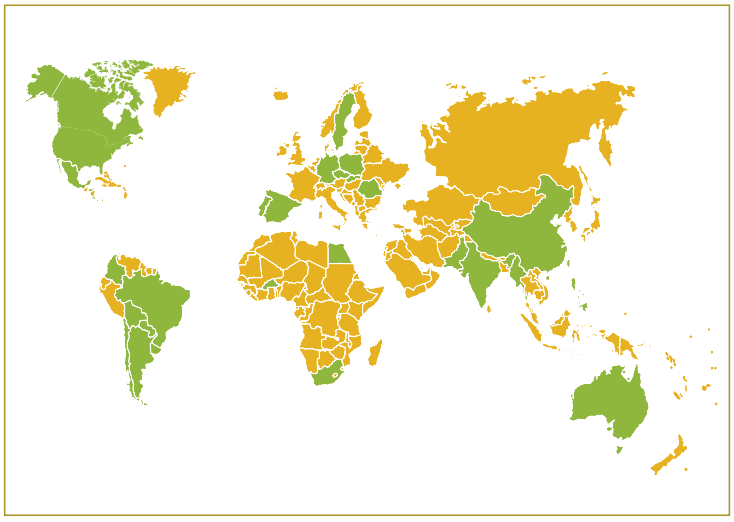
Beispiele:	
Getreide:	Getreidezüchtung Peter Kunz e.V., Getreidezüchtungsforschung Darzau, Keyserlick-Institut; Dottenfelderhof e.V., Elm Farm
Gemüse:	Sativa Rheinau AG, Kultursaat e.V., Verein Saat: Gut
Obst:	PomaCulta

Während für die meisten Verbände die Züchtung eine untergeordnete Rolle spielte, und bisher die Vermehrung von Saatgut nach ökologischen Grundsätzen im Vordergrund stand, hat sich die biologisch-dynamische Landwirtschaft schon sehr früh mit Züchtungsfragen beschäftigt. So wurden vor Jahrzehnten eigene Züchtungsprojekte initiiert, die heute ihre Früchte tragen (Assoziation biologisch-dynamischer Pflanzenzüchter e.V.; www.abdp.org). Warum nicht mehr Züchtungsinitiativen entstehen, liegt zum einen an der relativ geringen ökologisch bewirtschafteten Anbaufläche und zum anderen an den hohen Kosten für die Entwicklung und Zulassung neuer Sorten.

Im Rahmen einer Tagung des europäischen Konsortiums für ökologische Pflanzenzüchtung (http://www.eco-pb.org/fileadmin/ecopb/documents/proceedings_070227.pdf) wurden verschiedenste **Strategie- und Finanzierungsmodelle** für eine erfolgreiche Etablierung ökologischer Züchtungsprogramme diskutiert (ECO-PB, 2007). Betrachtet man die aktuell erfolgreichen Modelle, dann werden zukünftige Finanzierungsmodelle aus einem Mix aus öffentlichen Geldern, privaten Geldgebern (Stiftungen), projektorientierter Forschungsfinanzierung und Partnerschaften zwischen ökologischen Züchtern und Unternehmen bestehen.

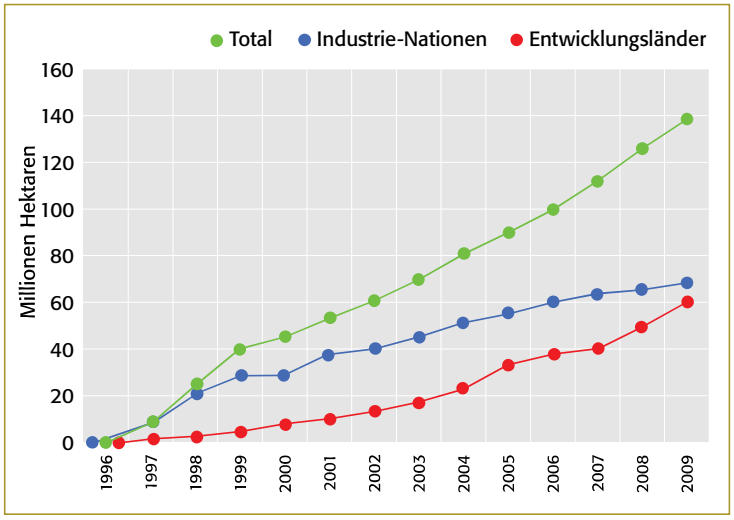
Je nach Beurteilungskriterien und Einschätzung der Züchtungstechniken, die zur Erzeugung der vorhandenen und künftig angebotenen Sorten angewendet werden, kann die Arten- und Sortenvielfalt im ökologischen Landbau zusätzlich eingeschränkt werden, und es kann eine zunehmende Abkoppelung vom konventionellen Genpool stattfinden. Um dies zu verhindern, müssen rechtzeitig Weichen gestellt werden. Dies bedeutet, dass einerseits weitere ökologische Züchtungsprojekte initiiert und langfristig finanziert werden sollten und andererseits Kooperationen und Synergien mit konventionellen Züchtungsorganisationen gesucht werden sollten. Dafür ist es wichtig, dass der ökologische Landbau möglichst geschlossen auftritt, seine Anliegen nach Außen kommuniziert und ein offener Dialog zwischen Züchtern, Forschern, Landwirten, Handel und Konsumenten stattfindet.

Länder mit Anbau von gentechnisch veränderten Sorten (grün) bis 2010



Quelle: Clive James, ISAAA 2011, www.isaaa.org

Globale Anbaufläche von gentechnisch veränderten Sorten



Quelle: Clive James, ISAAA 2011, www.isaaa.org

Techniken für die Züchtung und Vermehrung von Pflanzen

Wie wird gezüchtet und vermehrt?
Als Pflanzenzüchtung lassen sich alle Aktivitäten zur Verbesserung der genetischen Eigenschaften einer Kulturpflanze beschreiben. Die Kunst der Pflanzenzüchtung besteht darin, in einer Kulturart neue positive Merkmalsausprägungen zu finden, die erblich sind, und diese mit anderen Merkmalen zu kombinieren. Dabei gilt es für die große Anzahl an Zielmerkmalen den jeweils besten Kompromiss zu finden.

Züchtungsschritte und deren Einfluss auf die genetische Vielfalt

Dazu müssen Elternpflanzen, häufig andere Sorten, Genbankakzessionen oder verwandte Wildarten gesammelt werden, welche die bestimmten Merkmale in sich tragen. Um Pflanzen mit der gewünschten Kombination von Eigenschaften zu erhalten, werden die Elternpflanzen gekreuzt. Das Resultat einer solchen Kreuzung ist eine große Anzahl an Samen mit unterschiedlicher genetischer Ausstattung (spaltende Population). Innerhalb der nächsten Generationen müssen nun die Pflanzen mit den am besten kombinierten Eigenschaften selektiert werden. Um diese Auswahl einfacher zu gestalten, stehen Pflanzenzüchtern unterschiedliche Techniken zu Verfügung, aus denen, je nach Kultur und Fortpflanzungsart (Selbstbestäuber, Fremdbestäuber oder Pflanzen mit vegetativer Vermehrung) und gewünschten Merkmalen, die passenden Techniken ausgewählt werden. Dabei muss sichergestellt werden, dass sich die Merkmalsausprägungen stabil auf die Nachkommen übertragen. Dazu braucht es oft 6 bis 10 Generationen.

In offiziellen Sortenprüfungen werden die Eigenschaften neuer Sorten ermittelt und mit parallel angebauten Standardsorten verglichen. Wenn die Sorte sich von allen bestehenden Sorten unterscheidet, zudem in ihren Eigenschaften homogen und über die Zeit stabil ist, neu ist und einen Namen hat, kann sie einen Sortenschutz erhalten. Für die Sortenzulassung gemäß Saatgutverkehrsgesetz müssen die meisten ackerbaulich genutzten Sorten zusätzlich einen landeskulturellen Wert haben, d.h. einen Vorteil in einer oder mehreren Eigenschaften gegenüber bereits zugelassenen Sorten aufweisen.

Generelle Unterscheidung der Züchtungstechniken
Pflanzenzüchtung wird durch folgende drei Bereiche charakterisiert:

- **Erzeugung von genetischer Variation** durch Sammlung genetischer Ressourcen, Mutation und Neukombination der Gene
- **Selektion** und Einengung der genetischen Variation auf die besten Genotypen mit den gewünschten Merkmalskombinationen
- Erhaltung und **Vermehrung** der besten Sorten

Bei jedem der drei Schritte können verschiedene Techniken auf die verschiedenen Ebenen der Pflanze angewendet werden:

- auf die **Ebene der Pflanze**, d.h. der Einzelpflanze, der Nachkommenschaft, der Population,
- auf die **Ebene der Gewebe**, der Pflanzenteile, der Organe, der Zellkulturen,
- auf die **Ebene Zelle**, d.h. der isolierten Einzelzelle, der Protoplasten, der Pollen, der Eizelle,
- auf die **Ebene der DNA**, d.h. der Kern-DNA, der extrachromosomalen DNA.

Die Techniken können auch nach der Umwelt unterschieden werden, in der sie angewendet werden:

- Feldversuche in Interaktion mit Boden und Klima (z.B. unter ökologischen Anbaubedingungen)
- Gefäßversuche in künstlichem Substrat unter standardisierten Bedingungen (z.B. Hor-sol-Anbau im Gewächshaus)
- In vitro-Versuche auf künstlichem Nährmedium unter sterilen Bedingungen (z.B. Meristemkultur, Blattkulturen)
- Zellsuspensionen (z.B. Protoplastenkulturen)

Auf den folgenden Seiten werden die wichtigsten Züchtungs- und Vermehrungstechniken näher erläutert, deren Anwendung aufgezeigt und kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus angesprochen.

Schritte in der Züchtung am Beispiel von Tomaten – vereinfachte Darstellung

1

Die Blüte einer selektierten Tomatenpflanze wird kastriert …

2

… während der Pollen einer anderen selektierten Tomatenpflanze gesammelt wird.

3

Für die Befruchtung wird der Pollen auf den Griffel übertragen. Diese Kreuzung erzeugt Variabilität in der Nachkommenschaft.

4

Die Nachkommen werden nach bestimmten Kriterien selektiert, zum Beispiel nach Krankheitsresistenz, Geschmack oder Ertrag.

5

Nach einer langen Testperiode wird die neue Sorte vermehrt …

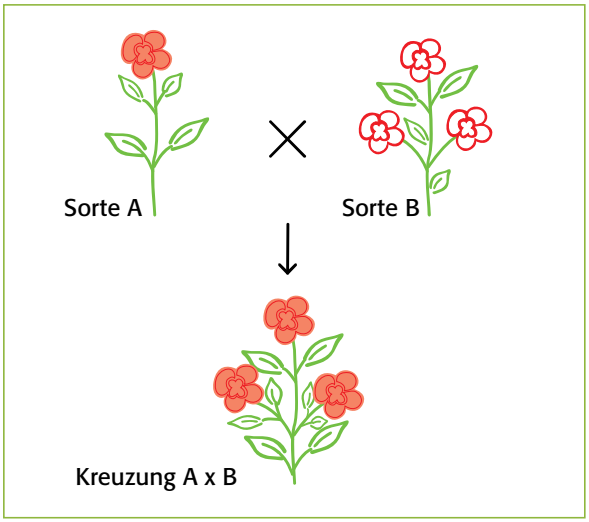
6

… um marktfähiges Saatgut zu erhalten.

Erzeugung von genetischer Variation

Techniken auf der Ebene der Pflanze

Gezielte Kreuzungen innerhalb einer Art



Verfahren:
Um die Bestäubung von Pflanzen zu steuern und gezielte Kreuzungen herzustellen, werden die Knospen der Mutterpflanzen kastriert, isoliert und zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte mit bestäubungsfähigem Pollen der gewünschten Vaterpflanze bestäubt. Dies geschieht entweder mit einem Bestäubungspinsel oder indem der vorher gesammelte Pollen über der kastrierten weiblichen Blüte ausgeschüttet wird und dadurch auf die Narbe gelangt. Bei dieser Technik ist eine Synchronisation der Blüten sehr wichtig, da die Narbe meist nur kurze Zeit empfängnisbereit ist und der Pollen nur eine kurze Zeit lebensfähig ist. Um diese Synchronisation zu erreichen, wird oftmals mit Staffelaussaaten gearbeitet, oder der Pollen wird getrocknet und eingefroren.

Werden Kreuzungen mit unselektiertem Material oder Landsorten erzeugt, kommt es häufig zu nicht adaptierten Nachkommen und es müssen Rückkreuzungen durchgeführt werden. Die Nachkommen werden dabei mehrere Male mit dem Zuchtmaterial gekreuzt. Somit entstehen Sorten, die dem Ausgangsmaterial sehr ähnlich sind, aber zusätzlich die eingekreuzten Eigenschaften haben.

Anwendung:
Gezielte Kreuzungen sind gängige Praxis in der Pflanzenzüchtung, um die genetische Diversität durch Neukombination der Gene zu erhöhen und Eigenschaften von Vater und Mutter zu kombinieren.

Durch gezielte Kreuzungen entstehen unendlich viele neue Genkombinationen, die zu einer verbesserten Anpassung der Pflanze an die Umwelt und die Ansprüche des Menschen führen können.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

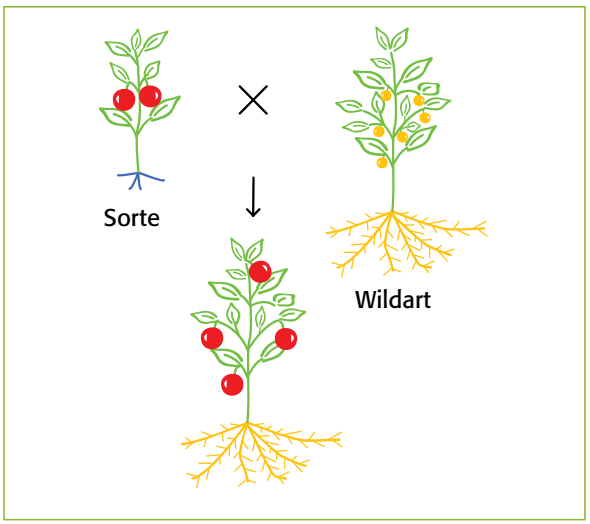
Beispiel: Kreuzung von Weizen

Vorbereitung einer Blüte (Kastration) …

… Bestäubung von Hand …

… und Schutz der Ähren vor fremden Pollen mit kleinen Tüten nach der Bestäubung.

Interspezifische Kreuzungen



Verfahren:
Reicht die genetische Variation innerhalb einer Kulturart nicht aus, um züchterische Verbesserungen zu erzielen, können Kreuzungen zwischen zwei verschiedenen Arten zu Verbesserungen führen.

Verwandte Kulturpflanzen oder Wildarten lassen sich mit mehr oder weniger großem Aufwand miteinander kreuzen. Während sehr nah verwandte Arten (z.B. Weizen und Dinkel) sich ohne Probleme kreuzen lassen, kommt es bei Kreuzungen mit weiter entfernten Arten oft zu schlecht ausgebildetem Endosperm und damit zu einer schlechten Nährstoffversorgung des Embryos. Um die Erfolgsrate an keimfähigen Embryos zu erhöhen, können verschiedene in vitro-Methoden eingesetzt werden (siehe unten).

Unterscheiden sich die Arten in ihrer Chromosomenzahl, müssen meistens mehrere Rückkreuzungen mit der Kulturart durchgeführt werden, bis es gelingt, fertile und genetisch stabile Nachkommen zu erzeugen. Dabei werden oft mehrere Chromosomen eliminiert. Bei interspezifischen Kreuzungen können sich die Genome teilweise spontan addieren, so dass allopolyploide Arten entstehen (z.B. Weizen, Raps).

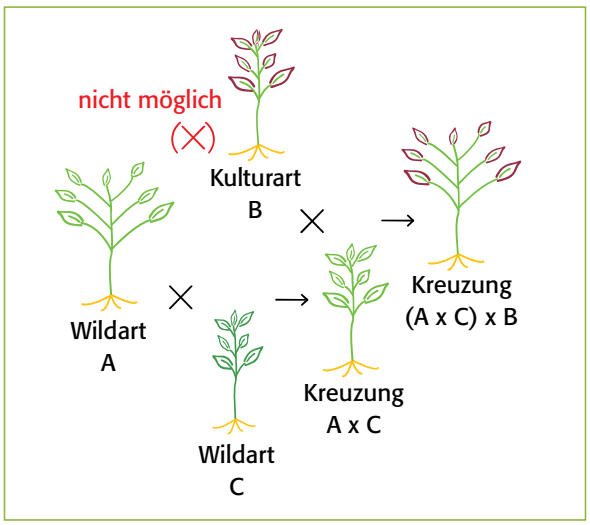
Bei der Pollen-Mentortechnik werden Pollen der gewünschten Vaterpflanze mit durch Strahlung sterilisiertem, aber noch keimfähigen Pollen der Art der Mutterpflanze gemischt. Der Pollenschlauch dieser Mentorpollen leitet den intakten Pollenkern der gewünschten Vaterpflanze zu den Samenanlagen, die dann befruchtet werden.

Bei der Griffeltechnik wird der Griffel der Mutter teilweise abgeschnitten, damit der Pollenschlauch des Vaterpollens nur noch ein kurzes Stück überwinden muss, um die Eizelle zu befruchten.

Anwendung:
Interspezifische Kreuzungen sind gängige Praxis. Durch interspezifische Kreuzungen vergrössert sich der Genpool, der den Züchtern zur Verfügung steht. Viele Resistenzgene sind aus Wildarten in unsere Kulturarten eingekreuzt worden, z.B. die Einkreuzung von Schorfresistenzgenen aus dem Wildapfel in den Tafelapfel oder Braunrostresistenzen aus Wildgräsern in Weizen. Durch interspezifische Kreuzungen sind neue Kulturarten, wie z.B. Raps,Triticale, Jostabeeren und viele Zierpflanzen entstanden.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Die Kreuzungsbarrieren sind keine klar definierten Grenzen zwischen Arten, sondern nehmen mit zunehmender Differenzierung der Arten zu, d.h. die Chance einer erfolgreichen Befruchtung und kompleten Samenbildung nimmt entsprechend ab.
- Durch technische Hilfsmittel, wie z.B. In vitro-Befruchtung von Eizelle und Pollenkorn oder durch In vitro-Anzucht des Embryos kurz nach der Befruchtung können die Kreuzungsbarrieren weiter hinausgeschoben werden.

Brückenkreuzung

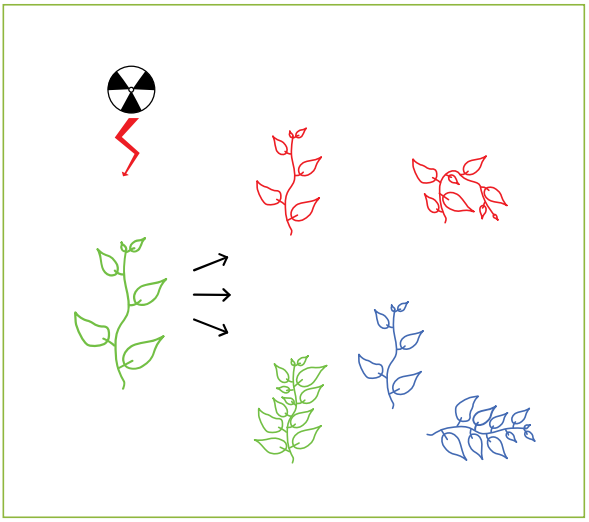


Verfahren:
Um Kreuzungsbarrieren zwischen zwei nicht kompatiblen Pflanzenarten, z.B. Wildart A und Kulturart B zu überwinden, kann die Einkreuzung erwünschter Eigenschafen aus der Wildart über eine dritte Pflanzenart C erfolgen, die mit beiden Pflanzenarten kompatibel ist. Dabei wird die Wildart A zuerst mit der Pflanzenart C gekreuzt. Anschließend werden die Nachkommen mit den gewünschten Eigenschaften selektiert und mit der vorgesehenen Kulturart B gekreuzt.

Anwendung:
Durch Brückenkreuzung können nicht kompatible Pflanzenarten miteinander gekreuzt werden, z.B. bei Kohlarten. Diese Methode kann angewendet werden, wenn die gewünschten Merkmale einfach zu selektieren sind. Brückenkreuzungen durchzuführen ist sehr zeitaufwändig. Nachdem das gewünschte Merkmal eingekreuzt wurde, müssen mit vielen Rückkreuzungen die unerwünscht eingekreuzten Merkmale wieder eliminiert werden.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Mutationsinduktion / induzierte Mutation



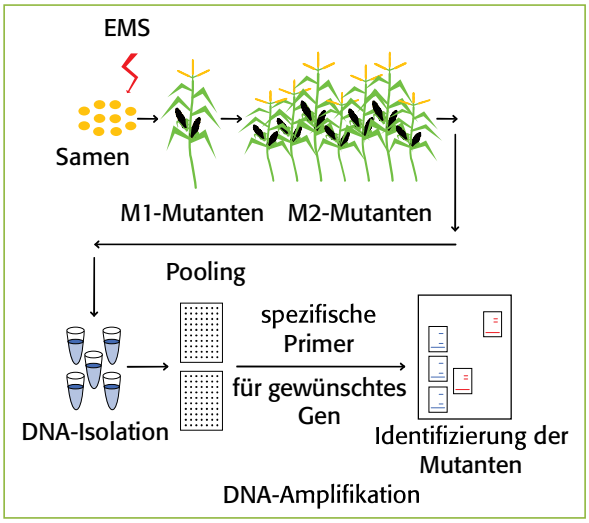
Verfahren:
Neue Merkmale bei Pflanzen ergeben sich oft durch Mutationen, d.h. Veränderungen der DNA. Mutationen können während der Zellteilung spontan auftreten (z.B. durch Fehlpaarungen bei der DNA-Replikation) oder durch physikalische Reize (z.B. UV-Strahlung, Kälte- oder Hitzeschock, Röntgen- oder Neutronenstrahlung) oder chemische Substanzen (z.B. Ethylmethansulfonat (EMS)) künstlich hervorgerufen werden.

Bei der Mutationsinduktion werden entweder einzelne Pflanzenteile (Samen, Pollen, Knospen oder Knollen) oder ganze Pflanzen den entsprechenden Einflüssen ausgesetzt, um die Mutationsrate zu erhöhen. Während bei der chemischen Mutationsauslösung vor allem Punktmutationen (Änderung einzelner DNA-Basen) auftreten, entstehen bei der ionisierenden Bestrahlung meist Chromosomenbrüche. Diese begünstigen sogenannte Chromosomenmutationen, wie den Verlust (Deletion), den falschen Einbau (Translokation, Inversion) oder die zusätzliche Verdopplung von Chromosomenstücken (Duplikation). Bei der chemischen Behandlung mit Colchicin wird der gesamte Chromosomensatz verdoppelt (Genommutation).

Tritt die Mutation in der Keimbahn (Pollen, Eizelle oder Embryo) auf, wird sie an die Nachkommen vererbt, die darauf geprüft werden müssen, ob die Mutationen stabil sind. Nur ein kleiner Teil der mutierten Pflanzen ist erfolgversprechend für die Weiterzucht, da die meisten Mutationen negative Auswirkungen haben.

Anwendung:
Die Mutationsinduktion wird vor allem dann eingesetzt, wenn nur einzelne Merkmale verbessert werden sollen. Durch die erhöhte Mutationsrate wird die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden dieser neuen Eigenschaften verbessert. In vielen Fällen wurde die Mutationszüchtung eingesetzt, um neue Resistenzen zu generieren. Während in den 60er Jahren zahllose Experimente mit Gammastrahlen (60Cobalt) oder schnellen Neutronen durchgeführt wurden, werden heute vor allem chemische Muta-

Tilling



genzien eingesetzt. Daraus resultierten über 1.800 neue Sorten, wie z.B. mehltauresistente Gerste, Braugerste mit verbesserter Malzqualität, Getreide mit Kurzstrohgenen, veränderte Fettsäuremuster von Raps und etliche Zierpflanzen. Oft wird die Mutationsinduktion mit der In vitro-Selektion für Resistenzen gegen Salz, Schwermetalle oder andere für die Pflanze giftige chemische Verbindungen kombiniert.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- Ionisierende Strahlung und die meist chemisch-synthetisch hergestellten Mutagenzien sind derzeit im Ökolandbau nicht zugelassen und sollten nicht an der Keimbahn der Pflanzen (Eizelle, Pollen oder Embryo) angewendet werden.
- Herbeigeführte Chromosomenbrüche verletzen die Integrität des Genoms.

Verfahren:

Tilling (Targeted induced local lesions in genomes) ist eine Weiterentwicklung der klassischen Mutagenese. Beim Tilling wird die Mutationsauslösung (meist mittels Ethylmethansulfonat (EMS)) mit einem neuen Screening-Verfahren kombiniert, mit dessen Hilfe Punktmutationen in einem bestimmten Genabschnitt gezielt identifiziert werden können. Die Methode ermöglicht das Testen einer sehr großen Anzahl potenzieller Mutanten im Hochdurchsatzverfahren. Mutationen können allerdings nur in solchen DNA-Teilen entdeckt werden, die bereits sequenziert worden sind.

Durch die Behandlung mit mutationsauslösenden Chemikalien wird nicht nur die gewünschte Punktmutation ausgelöst, sondern auch Mutationen im gesamten Restgenom. Deshalb müssen die erwünschten Merkmalsmutanten anschließend mittels Rückkreuzung in stabile Sorten überführt werden.

Eine Variante des Tillings ist das Eco-tilling. Dabei wird auf die Mutationsauslösung mittels Chemikalien verzichtet. Statt dessen werden die gewünschten Mutationen in einer großen Kollektion von Zuchtmaterial und Genbankakzessionen gesucht.

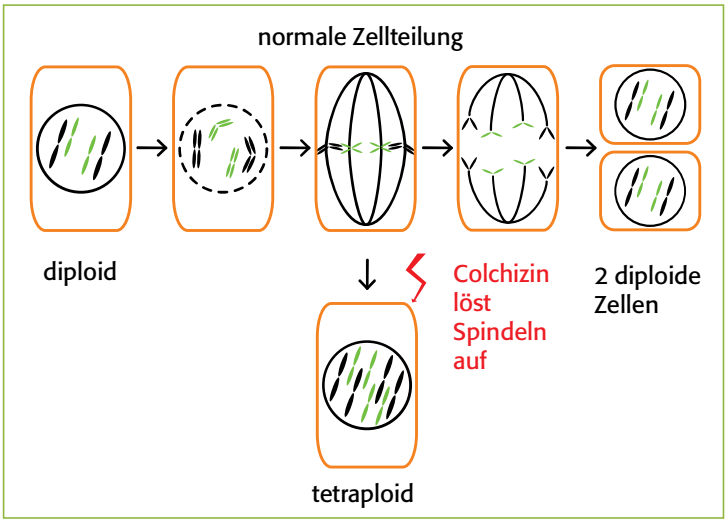
Anwendung:

Durch die zunehmende Kenntnis der Genfunktionen können durch Tilling sehr effizient neue Allele bzw. Merkmalsausprägungen für gewünschte Eigenschaften gefunden werden, die anschließend in das Zuchtmaterial eingekreuzt werden können. Mit Hilfe dieser Technologie wurden z.B. eine Kartoffelsorte gezüchtet, die nur Amylopektin produziert, Tomaten mit verbesserter Salzresistenz, glutenfreie Weizensorten sowie dürretolerante Getreide und Soja.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- Die meisten chemischen Mutagenzien sind derzeit im Ökolandbau nicht zugelassen und sollten nicht an der Keimbahn der Pflanzen (Eizelle, Pollen oder Embryo) angewendet werden.

Polyploidisierung

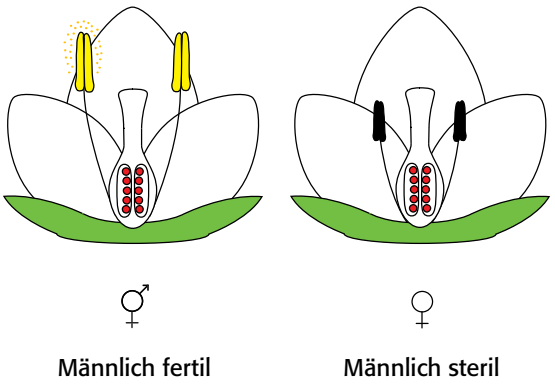


Verfahren:
Bei der Polyploidisierung wird der Chromosomensatz einer Pflanzenart vervielfältigt. Während die meisten Arten diploid sind und je zwei Kopien von jedem Chromosom besitzen, entstehen durch die Verdopplung der Chromosomen z.B. tetraploide Pflanzen mit je vier Kopien. Die Verdopplung der Chromosomen betrifft die Gesamtheit der Gene eines Genoms und wird auch als Genommutation bezeichnet. In der Natur treten verschiedenste Ploidiegrade auf. Man unterscheidet dabei zwischen Autopolyploidie, wenn der verdoppelte Chromosomensatz auf das Genom einer Art zurückgeht (z.B. bei der tetraploiden Kartoffel AAAA), und Allopolyploidie, wenn mehrere verschiedene Genome zur Vervielfältigung beitragen, wie z.B. beim hexaploiden Weizen, der drei verschiedene Genome besitzt (AABBDD). Polyploidie kann spontan auftreten oder mit Chemikalien (z.B. Colchizin) induziert werden. Die so erzeugten autopolyploiden Pflanzen sind in der Regel wüchsiger und robuster und haben größere Früchte als die diploiden Ausgangspflanzen.

Anwendung:
Polyploidisierung wird eingesetzt, um robustere und ertragreichere Pflanzen zu züchten (z.B. autopolyploider Roggen, Rotklee), um die Fertilität von interspezifischen Kreuzungen wiederherzustellen (allopolyploide Triticale, Raps, Baumwolle) und um Doppelhaploide Pflanzen (siehe weiter unten) zu entwickeln. Für die Erzeugung von samenlosen Früchten werden ebenfalls tetraploide Kreuzungspartner benötigt.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Wenn tetraploide Pflanzen auf diploide Pflanzen auskreuzen, entstehen triploide Nachkommen, die steril sind.
- Die am häufigsten verwendeten Mitosehemmstoffe, das synthetisch hergestellte Colchicin und das Herbizid Oryzalin, sind im Ökolandbau nicht zugelassen.

Cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS)



Verfahren:
Bei der cytoplasmatisch männlichen Sterilität (CMS) kommt es aufgrund einer Fehlfunktion der Mitochondrien zur unvollständigen Ausbildung der männlichen Blühorgane. Diese Fehlfunktion kommt zustande, wenn das Zusammenspiel von Kerngenom und mitochondrialer DNA gestört ist.

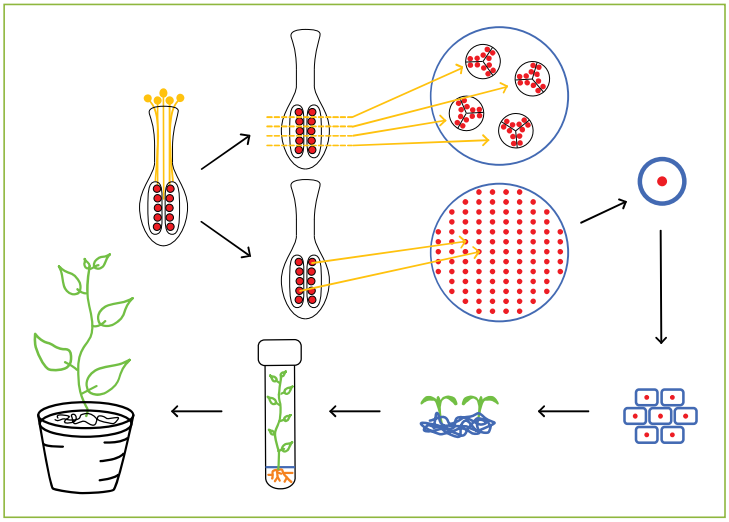
In der Natur wird CMS durch spontane Mutationen in der mitochondrialen DNA ausgelöst. Je nach Mutation werden gar keine Staubbeutel oder nur solche mit degenerierten Pollensäcken gebildet, oder es kommt zur Ausbildung von Pollen, der aber nicht keimfähig und daher steril ist. Da die Mitochondrien fast ausschließlich über die Eizelle an die Nachkommen weiter gegeben werden, spricht man von mütterlicher Vererbung. In den meisten Fällen kann durch Einkreuzen von einzelnen chromosomalen Restorergenen die männliche Fertilität wieder hergestellt werden. Zur Erzeugung einer Hybride wird die Linie A mit einer Pflanze gekreuzt, die die mutierten Mitochondrien besitzt und steril ist. Die auf der Mutterpflanze geernteten Samen entwickeln sich ebenfalls zu männlich sterilen Pflanzen. Durch wiederholte Rückkreuzung kann so die Linie A als männlich sterile Variante (CMS-Linie) erstellt werden. Die sterile Linie A wird dann zusammen mit der fertilen Linie B angebaut. Beide blühen gemeinsam ab. Das Saatgut, das auf der Mutterpflanze geerntet wird, ist das Hybridsaatgut (AxB).

Damit dieses Hybrid-Saatgut im Anbau fertile Nachkommen bildet und Ertrag über die generativen Organe (Samen) produzieren kann, muss die Linie B chromosomal vererbte Restorergene besitzen, die die männliche Fertilität wieder herstellen können. Bei Gemüse wie Blumenkohl ist dies nicht unbedingt notwendig, da dort der Blütenkopf und nicht die Früchte bzw. Samen geerntet werden.

Anwendung:
Die CMS ist in vielen Fällen die Voraussetzung für eine großflächige Produktion von Hybridsaatgut von Raps, Roggen, Mais und vielen Gemüsearten.

Techniken auf der Ebene der Zelle oder des Gewebes

Ovarien- und Embryokultur



Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- Bei Hybridsorten, deren Fertilität nicht durch Restorergene restauriert wurde, können keine Nachkommen produziert werden. Es ist kein Nachbau möglich. Diese Sorten können nur als Mutterpflanze zur Weiterzüchtung verwendet werden. Dabei wird die männliche Sterilität an die Nachkommen weitergegeben.

Verfahren:

Bei interspezifischen Kreuzungen (siehe oben) kommt es oft zu schlecht ausgebildetem Endosperm und damit zu einer schlechten Nährstoffversorgung des Embryos. Um die Erfolgsrate an keimfähigen Embryos zu erhöhen, wird z.B. die Methode der Embryokultur (embryo rescue) eingesetzt. Dabei wird nach der interspezifischen Befruchtung der Embryo aus der Blüte isoliert und zur Keimung auf Nährmedium gebracht. Auf diese Weise kann die Ausbeute an interspezifischen Kreuzungsnachkommenschaften erhöht werden.

Bei der Ovarienkultur werden ganze oder in Scheiben geschnittene Fruchtknoten mit befruchteten Eizellen auf das Substrat gebracht. Die Samenanlagen schwellen an und werden in einem bestimmten Stadium vom Fruchtknoten entfernt und separat zu keimfähigen Samen kultiviert.

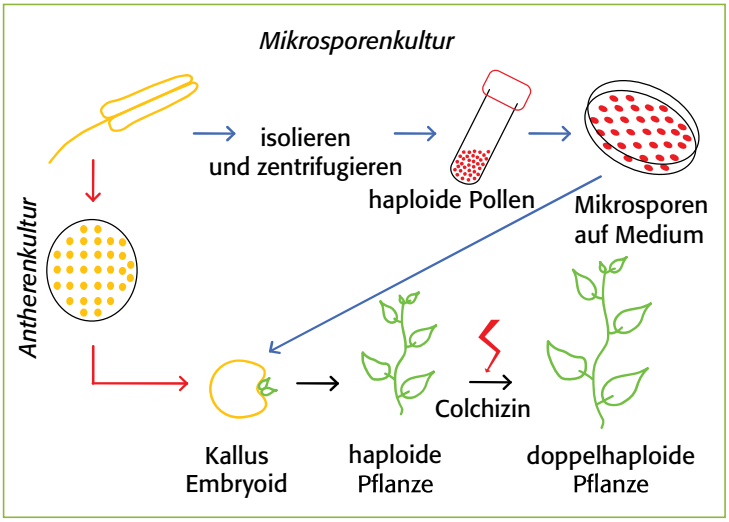
Anwendung:

Ovarien- und Embryokultur sind häufig verwendete Techniken, um Resistenzgene nah verwandter Arten einzukreuzen. Diese Techniken wurden bei Tomaten, Gurken, Paprika, Salat, Weizen, Triticale und vielen anderen Kulturen verwendet.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- Durch die in vitro-Anzucht des Embryos kurz nach der Befruchtung können die Kreuzungsbarrieren weiter hinausgeschoben werden.
- Die Entwicklung des Embryos findet unter künstlichen und sterilen Bedingungen meist auf synthetisch hergestelltem Nährmedium statt.

Doppelhaploide Pflanzen (DH)



Verfahren:
Bei der Erzeugung von Doppelhaploiden (DH-Linien) verfolgt man das Ziel, aus heterozygoten Kreuzungsnachkommenschaften homozygote Inzuchtlinien zu generieren, wie es normalerweise nur über die fortgesetzte Selbstung in 5 bis 6 Generationen möglich ist. Da eine diploide Pflanze je zwei Chromosomomensätze enthält, können für jedes Gen zwei Merkmalsausprägungen (Allele) vorliegen. Halbiert man den Chromosomensatz, ist nur noch ein Allel pro Genort vorhanden. Verdoppelt man anschießend den Chromosomensatz, liegen alle Merkmalsausprägungen in homozygoter, reinerbiger Form vor. Die so erzeugten diploiden Inzuchtlinien können via Selbstung genetisch identisch vermehrt werden oder als Kreuzungspartner für Hybriden verwendet werden.

Haploide Pflanzen können erzeugt werden, wenn es gelingt, aus haploiden Pollen (Mikrosporen) oder haploiden Eizellen ganze Pflanzen zu regenerieren. Bei der Antherenkultur werden unreife Antheren (Staubbeutel) in vitro kultiviert. Durch die Anwendung von Phytohormonen sollen die unreifen Pollen in den Antheren zur Zellteilung angeregt werden. Durch die Zellteilung entstehen entweder undifferenzierte Zellhaufen (Kallus) oder sogenannte Embryoide, aus denen sich haploide Pflanzen regenerieren lassen. Die Mikrosporenkultur ist eine Weiterentwicklung der Antherenkultur. Hier werden anstelle ganzer Antheren nur die unreifen Pollen (Mikrosporen) in Flüssigmedium kultiviert. Bei der Ovarienkultur wird versucht, auf ähnliche Weise haploide Pflanzen aus den enthaltenen haploiden Eizellen zu regenerieren.

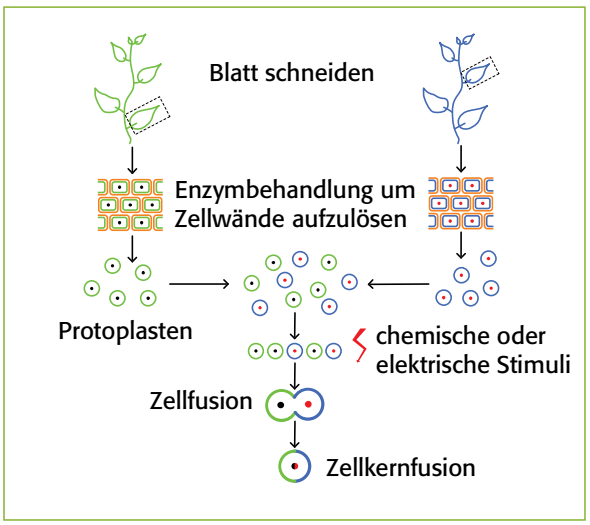
Die haploiden Pflanzen sind lebensfähig, aber wenig wüchsig und steril. Durch Chromosomenverdoppelung kann die Fertilität wieder hergestellt werden. In einigen Fällen geschieht während der in vitro-Phase eine spontane Chromosomenverdopplung, in anderen Fällen wird die Chromosomensatzverdopplung mittels Colchicinbehandlung (siehe Polyploidisierung) induziert. Das Ergebnis sind vollständig homozygote (reinerbige) Inzuchtlinien mit diploidem Chromosomensatz, sogenannte Doppelhaploide oder DH-Linien. Anstelle der in vitro-Kultur kann die Ausbildung haploider Pflanzen auch durch Bestäubung mit sogenannten Induktorlinien ausgelöst werden.

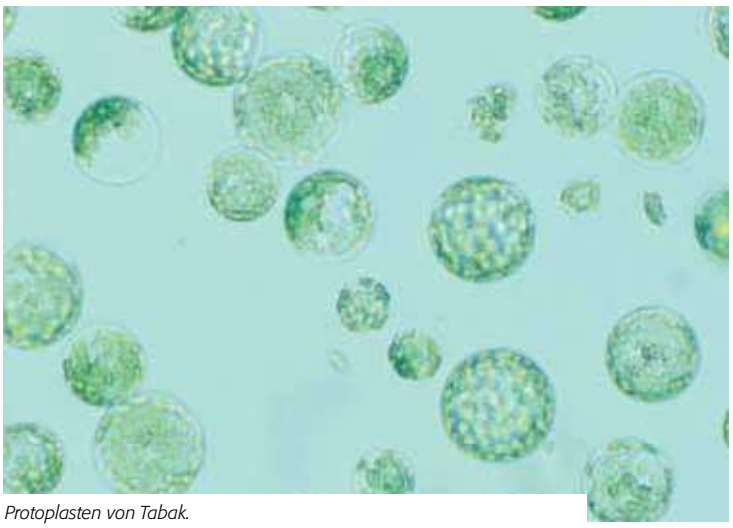
Anwendungen:
DH-Linien werden zur Beschleunigung des Züchtungsprozesses z.B. bei Gerste, Mais und Kartoffeln eingesetzt. Die Erzeugung von homozygoten Inzuchtlinien aus Kreuzungsnachkommen in nur einer Generation ist von großem Vorteil bei Selbstbefruchtern, da man direkt auf homozygotem Niveau selektieren kann und die selektierten Pflanzen direkt alle Sorteneigenschaften aufweisen.

Bei der Hybridzüchtung werden DH-Linien verwendet, um möglichst schnell Experimentalhybriden zu erstellen und auf ihre Kreuzungsleistung im Hinblick auf die spätere Hybridsorte zu selektieren.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Eizellen und Pollen werden durch Phytohormone zu somatischen Zellen umprogrammiert. Es kommt zu keiner Verschmelzung von Eizelle und Pollen und dadurch zu keiner Neukombination von Genen.
- Synthetisch hergestelltes Colchizin ist im Ökolandbau nicht zugelassen.

Protoplastenfusion





Protoplasten von Tabak.

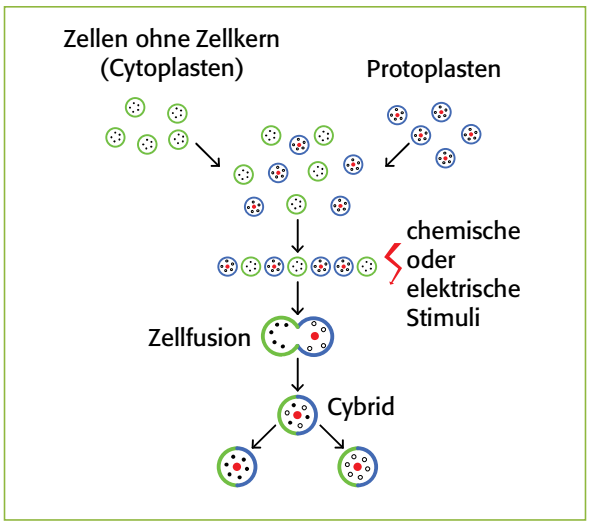
Verfahren:
Protoplasten sind Zellen ohne Zellwand. Sie werden meist aus Blattstücken gewonnen, die mit entsprechenden Enzymen behandelt werden, um die Zellwand aufzulösen und die Protoplasten aus dem Zellverbund herauszulösen. Die so entstandenen Protoplasten liegen frei in einer Suspension vor. Bei der Zellfusion werden somatische Zellen fusioniert. Die Verschmelzung der Protoplasten kann durch Zugabe bestimmter Chemikalien (Polyethylenglycol, PEG) oder durch kurze elektrische Stromstöße (Elektrofusion) bewirkt werden. Zwei Zellen mit dem vollständigen, in der Regel diploiden Chromosomensatz, verschmelzen hierbei ohne vorherige Meiose und Gametenbildung. Bei der Verschmelzung der Protoplasten werden die Cytoplasten inklusive der Mitochondrien- und Plastiden-DNA von beiden Partnern fusioniert. Kommt es gleichzeitig zur Verschmelzung der Zellkerne, spricht man von Protoplastenfusion oder somatischer Hybridisierung.

Im Gegensatz zur gametischen Hybridisierung (bei der Verschmelzung von Eizelle und Pollenkorn) geht der Verschmelzung der Protoplasten keine Reduktion des Chromosomensatzes voraus. Daher ist das Fusionsprodukt in der Regel tetraploid. Bei der Zellfusion werden die Organellen beider Pflanzenzellen (Chloroplasten und Mitochondrien inklusive deren extrachromosomale DNA) kombiniert. Hingegen werden bei konventionellen Kreuzungen in der Regel nur die mütterlichen Chloroplasten und Mitochondrien an die Nachkommen übertragen. Während der Regeneration und Vermehrung der somatischen Hybriden können die Chromosomen und Organellen beider Eltern neu verteilt werden, so dass viele neue Kombinationen entstehen.

Anwendung:
Mit Hilfe der Protoplastenfusion können schnell interspezifische Hybriden erstellt werden, die sonst nur sehr selten auftreten oder über Embryokultur oder Brückenkreuzungen möglich wären. Bei intraspezifischen Protoplastenfusionen können die Erbinformationen zweier Pflanzen gezielt kombiniert werden. Dies ist von besonderem Interesse bei monogen vererbten Eigenschaften, wie z. B. Resistenzgenen, oder wenn kerngenetisch vererbte Merkmale mit extrachromosal vererbten Merkmalen kombiniert werden sollen.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Es können Kreuzungsbarrieren überschritten werden.
- Die Integrität der Zelle wird durch die erzwungene Verschmelzung zweier Protoplasten beeinträchtigt. Bei dieser Zellfusion treffen Zellorganellen von verschiedenen Einzelpflanzen aufeinander, was unter natürlichen Bedingugngen äußerst selten vorkommt. Dadurch kann die übergeordnete Genregulation zwischen Kerngenom und extrachromosomaler DNA beeinträchtigt werden.
- Wenn tetraploide Fusionsprodukte auf diploide Pflanzen auskreuzen, entstehen triploide Nackommen, die steril sind.

Cytoplastenfusion

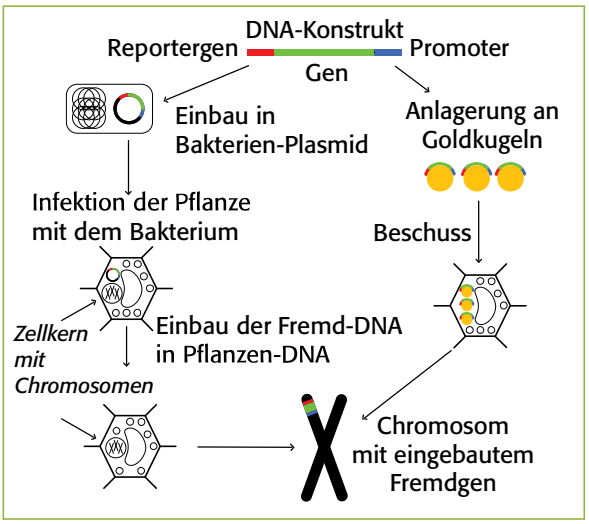


Verfahren:
Bei der Cytoplastenfusion findet wie bei der Protoplastenfusion eine Zellfusion statt. Im Gegensatz zur Protoplastenfusion wird jedoch der Zellkern der Protoplasten von einer Pflanze z.B. mit Röntgenstrahlen zerstört. Die entstandenen Cytoplasten enthalten alle Zellbestandteile wie Mitochondrien oder Chloroplasten, aber keine intakten Chromosomen. Anschließend werden die Cytoplasten ohne funktionsfähigen Zellkern mit vollständigen Protoplasten zu sogenannten Cybriden fusioniert. Man spricht deshalb auch von asymmetrischer Zellfusion. Ziel ist es, die extra-chromosomale Plastiden- und Mitochondrien-DNA von einer Art auf eine andere zu übertragen, ohne die Kerngene zu verändern. Werden z.B. Protoplasten von Brokkoli mit Cytoplasten von Rettich fusioniert, kommt es aufgrund der Wechselwirkung zwischen der mitochondrialen Rettich-DNA und den Kerngenen des Brokkolis zur Ausbildung von männlich sterilen Brokkoli-Pflanzen für die Hybridzüchtung.

Anwendung:
Mit der Cytoplastenfusion ist es möglich, neue Plastiden-DNA mit Kerngenen zu kombinieren. Somit können Merkmale, die von den Plastiden gesteuert werden, gezielt übertragen werden. Die Cytoplastenfusion wird eingesetzt, um cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS) auszulösen (z.B. bei Blumenkohl und Brokkoli) oder einzelne Resistenzen aus verwandten Wildarten in Kulturarten zu integrieren (z.B. bei Kartoffel oder Reis).

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Die Integrität der Zelle wird durch die erzwungene Verschmelzung zweier artfremder Zellen beeinträchtigt. Bei dieser Zellfusion treffen Zellorganellen von verschiedenen Einzelpflanzen aufeinander, was unter natürlichen Bedingugngen äußerst selten vorkommt. Dadurch kann die übergeordnete Genregulation zwischen Kerngenom und extrachromosomaler DNA beeinträchtigt werden.
- Natürliche Kreuzungsbarrieren werden überschritten.

Gentransfer zur Erzeugung von transgenen Sorten



Verfahren:
Ziel des Gentransfers ist die Übertragung einer neuen Eigenschaft, die im Zuchtmaterial nicht vorkommt, in eine Sorte. Wesentliche Voraussetzung dafür sind die Identifizierung und Isolierung der entsprechenden Gene. In einem DNA-Konstrukt wird anschließend die DNA-Sequenz des Zielgens mit einem Promotor gekoppelt, der die Expression des Gens steuert, sowie mit einem Reportergen, das anzeigen soll, ob der Gentransfer erfolgreich war. Als Reportergene wurde zu Beginn häufig eine Herbizid- oder eine Antibiotikaresistenz verwendet: Zellen, die erfolgreich transformiert wurden, exprimieren dieses Gen und können sich in einem Medium mit Herbizid- oder Antibiotikazusatz normal entwickeln, während die nicht transformierten Zellen absterben. Der Gentransfer, d.h. die Aufnahme des Genkonstrukts in den Zellkern und deren Einbau in die DNA der Pflanze, kann mittels direkter oder indirekter Methoden stattfinden. Bei direkten Methoden wird das Genkonstrukt unmittelbar in die Zelle eingeschleust. Bei den indirekten Methoden nutzt man sehr häufig das Prinzip von *Agrobacterium tumefaciens*, um das Genkonstrukt zu übertragen. Beim Gentransfer via Agrobakterium wird das gewünschte Genkonstrukt in die Bakterien-DNA eingebaut und anschließend die Pflanzenzellen mit dem Bakterium infiziert.

Beim Gentransfer via Partikelbeschuss werden winzige Gold- oder Wolframkügelchen mit DNA beschichtet und mittels Druckluft auf eine Zellsuspension oder Pflanzenkalli geschossen, hierbei ist die Erfolgsrate eines stabilen Einbaus von Fremd-DNA allerdings sehr gering.

Beim Gentransfer via Endocytose wird eine Protoplasten-Suspension aus Zellen ohne Zellkern erstellt, in die das gewünschte Genkonstrukt zugegeben wird. Anschließend wird die Zellmembran durch chemische Hilfsmittel, elektrische Reize oder Temperaturschocks kurzfristig durchgängig gemacht, so dass die Fremd-DNA aus der Lösung in den Zellkern gelangen kann. Aus diesen

Protoplasten wird danach die ganze Pflanze regeneriert.

Die Integration des Genkonstrukts geschieht an einer zufälligen Stelle im Genom. Dabei können auch mehrere Kopien eines Genkonstrukts integriert werden. Durch die Integration im Genom kann es zur Ausschaltung eines Gens oder zur veränderten Genexpression von benachbarten Genen, sogenannten Positionseffekten, kommen. Je nach Genkonstrukt sollen die neu transferierten Gene konstitutiv (in jeder Pflanzenzelle) oder organspezifisch bzw. entwicklungsspezifisch exprimiert werden. Dies kann durch Kopplung mit den entsprechenden Promotoren erreicht werden. Trotz erfolgreicher Transformation kann es jedoch vorkommen, dass das Genkonstrukt nicht exprimiert wird. Als mögliche Ursachen dafür wurden RNA-Interferenzen identifiziert (siehe Gene Silencing-RNAi). Daher müssen die transgenen Pflanzen aufwändig auf ihre agromomischen Eigenschaften geprüft werden. Oftmals müssen mehrere Rückkreuzungen mit dem aktuellen Zuchtmaterial erfolgen, bis die transgenen Pflanzen die Marktreife erreichen. Es können einzelne oder mehrere Gene gleichzeitig (Gene stalking) übertragen werden, so dass z.B. eine transgene Maissorte ein Herbizidresistenzgen und mehrere Bt-Gene gegen verschiedene Schädlinge besitzt.

Anwendung:
Durch den Gentransfer können monogen vererbte Merkmale über Artgrenzen hinweg übertragen werden. So wird das Bt-Gen aus dem Bakterium *Bacillus thurengiensis* auf Mais, Baumwolle, Soja etc. übertragen, um die Pflanzen vor Insektenfraß zu schützen.

Der Gentransfer via Agrobakterium funktioniert sehr gut bei zweikeimblättrigen Pflanzen wie Tabak, Raps, Soja und Baumwolle.

Der Gentransfer via Partikelbeschuss wird vor allem bei einkeimblättrigen Getreidearten wie Mais, Weizen und Reis angewendet, die nicht mittels Agrobakterien transformiert werden können (www.transgen.de/datenbank/pflanzen).

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Die Integrität des Pflanzengenoms wird gestört und Kreuzungsbarrieren werden überschritten.
- Es ist ein Auskreuzungspotenzial auf andere Organismen vorhanden, welches ein Problem der Koexistenz in kleinräumigen Strukturen nach sich zieht.
- Die Pflanze wird auf DNA-Bausteine reduziert und fast immer patentiert, was den Nachbau und die Weiterzüchtung unterbindet. Somit wird die Monopolbildung auf dem Saatgutmarkt unterstützt und die biologische Diversität geht verloren.

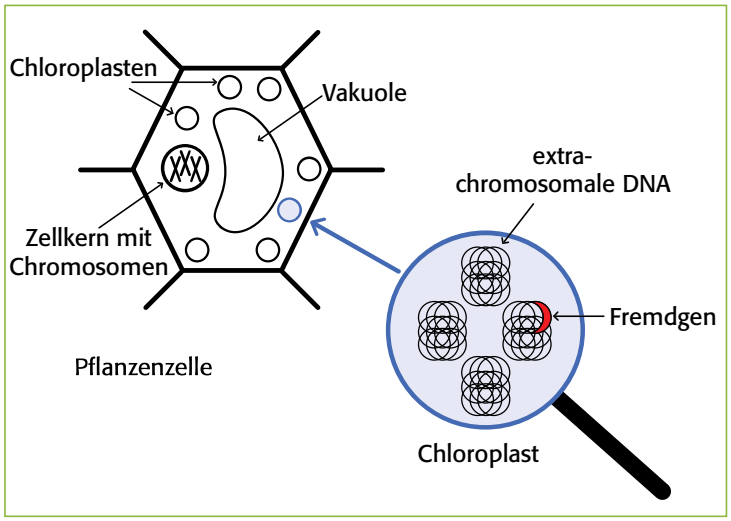
Cisgenetik

Verfahren:
Bei der Cisgenetik werden dieselben Methoden angewendet wie bei der Herstellung transgener Pflanzen (siehe Gentransfer). Der Unterschied besteht jedoch darin, dass das isolierte Gen, sowie dessen Promotor und Reportergen aus derselben Pflanzenart bzw. derselben Gattung stammen und daher keine natürlichen Kreuzungsbarrieren überschritten werden. Bei dem Gentransfer mittels Agrobakterien dürfen auch keine bakterieneigene T-DNA Sequenzen mitübertragen werden.

Anwendung:
Cisgenetik wird hauptsächlich bei vegetativ vermehrten Kulturarten eingesetzt, wenn monogen vererbte Eigenschaften (z.B. Resistenzgene) einer Wildform oder Sorte mit schlechten agronomischen Eigenschaften in die gewünschte Sorte übertragen werden sollen, ohne die übrigen Eigenschaften dieser Sorte zu verändern. Durch den Transfer einzelner Gene kann eine bestehende Sorte in einem einzigen Merkmal verbessert werden, ohne dass durch Kreuzungen die Gene der Kreuzungseltern neu durchmischt werden. Ausserdem kann durch den Transfer verhindert werden, dass ungünstige Gene, die auf dem selben Chromosomenarm liegen (linkage drag), mitvererbt werden. Dies ist v.a. bei vegetativ vermehrten Sorten wie Apfel oder Kartoffel von großem Vorteil.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Auch bei cisgenen Pflanzen wird durch den Gentransfer direkt in die intakte DNA einer Pflanze eingegriffen und die Integrität des Kerngenoms gestört.

Plastidentransformation

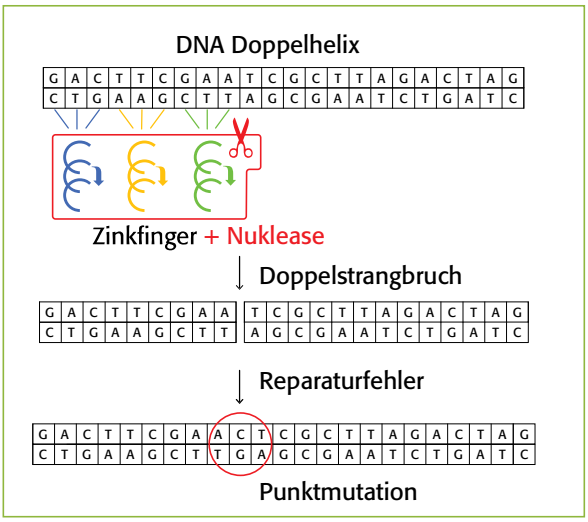


Verfahren:
Bei der Plastidentransformation wird das Genkonstrukt nicht in das Kerngenom (DNA des Zellkerns) integriert, sondern in die extrachromosomale DNA der Plastiden (DNA der Mitochondrien oder Chloroplasten). Die Vorteile des Transfers der Fremd-DNA in Plastiden liegen in der hohen Genexpression durch die hohe Anzahl von Genkopien. Außerdem werden Plastidengene anders gesteuert als chromosomale Gene und es besteht daher nicht die Gefahr des «Gene silencing» durch die RNA-Interferenz. Es können mehrere Gene gleichzeitig übertragen werden. Die Plastiden werden fast ausschließlich mütterlich, d.h. durch die Eizelle vererbt. Daher ist die Gefahr der Auskreuzung durch Pollen wesentlich geringer als bei der Integration der Fremd-DNA in den Zellkern.

Anwendung:
Bisher wurde diese Methode nur bei Tabak erfolgreich angewendet, um Bioplastik herzustellen.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Die Integrität der Kern-DNA bleibt zwar erhalten, aber die extrachomosomale DNA wird verändert und somit die Integrität auf Zellebene verletzt.

Gezielte Mutationsauslösung durch Zinkfinger-Nukleasen

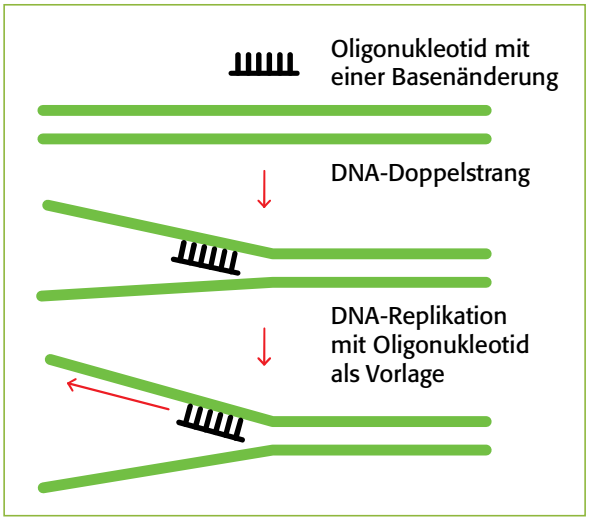


Verfahren:
Zinkfinger-Nukleasen sind synthetisch hergestellte Proteine aus Zinkfinger-Domänen, die sich an ein spezifisches DNA-Triplett anlagern und aus Nukleasen, die die DNA Doppelhelix spalten können. Durch die Kopplung mehrerer Zinkfinger-Domänen kann der DNA-Doppelstrang an einer ganz bestimmten Stelle geschnitten werden. Durch anschließende pflanzeneigene Reparaturmechanismen kann es an dieser Stelle zu Basenaustausch oder Basenverschiebungen (frameshift) kommen und eine Mutation entstehen bzw. die Genfunktion verloren gehen.

Bei dieser Methode wird keine rekombinierte DNA in die Zelle eingebracht, sondern nur die synthetisch hergestellten Zinkfinger-Nukleasen. Dies geschieht meist mittels Transfektion, Elektroporation oder via Agrobakterium. Zinkfinger-Nukleasen können zusätzlich mit kurzen, isolierten DNA-Sequenzen (Oligonukleotide) gekoppelt werden, die nach dem Doppelstrangbruch als Vorlage dienen und so gezielt die Gensequenz verändern kann (= gezielte Mutationsauslösung via Oligonukleatide). Werden Zinkfinger-Nukleasen mit größeren, funktionsfähigen Genkonstrukten (Fremdgenen) gekoppelt, wird dieses Fremdgen an genau der Stelle im Genom eingebaut, wo die Zinkfinger-Domäne an die DNA anlagert. Dadurch sollen die Effizienz des Gentransfers erhöht und gleichzeitig unerwünschte Positionseffekte verhindert werden (= Gentransfer mit zielgerichteter Integration).

Anwendung:
Es gibt bereits erste Anwendungen in der Pflanzenzüchtung. Neben der reinen Mutationsauslösung durch den Reparaturmechanismus, wird den Zinkfinger-Nukleasen vor allem in Kombination mit isolierten Genkonstrukten ein großes Potential für den zielgerichteten Gentransfer zugesprochen. Durch die hohe Sequenzspezifität der Zinkfinger kann davon ausgegangen werden, dass alle Genkopien Mutationen aufweisen. Dies ist vor allem bei polyploiden Arten von großem Vorteil.

Gezielte Mutationsauslösung durch Oligonukleotide



Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- Die Zinkfinger-Nukleasen sind synthetisch hergestellte Proteine, die so in der Natur nicht vorkommen.
- Die Zinkfinger-Nukleasen werden mit technischem Aufwand in den Zellkern der Pflanzenzelle transferiert. Dabei wird die Integrität der Zelle verletzt.

Verfahren:

Bei der ortsspezifischen oder gezielten Mutagenese (engl. site-directed mutagenesis) wird durch den Transfer einer spezifischen DNA-Sequenz eine gezielte Veränderung der DNA in einem bestimmten Genabschnitt ermöglicht. Dazu wird eine kurze, synthetisch hergestellte DNA- oder RNA-Sequenz mit 20 bis 100 Basen, ein sogenanntes Oligonukleotid, in die Zelle eingeschleust (z.B. durch Elektorporation oder Polyethylenglycol (PEG Behandlung von Protoplasten oder Partikelbeschuss). Dieses Oligonukleotid enthält die gewünschte Punktmutation und dient als Vorlage für die zu erzeugende Punktmutation der Pflanze. Die Vorlage wird später in der Zelle abgebaut und ist nicht mehr nachzuweisen.

Durch die kurze DNA-Sequenz und durch den zielgerichteten Einbau sind die Erfolgschancen der Mutation höher, und es sind wesentlich weniger Nebenwirkungen zu erwarten, als bei der konventionellen Mutationsinduktion.

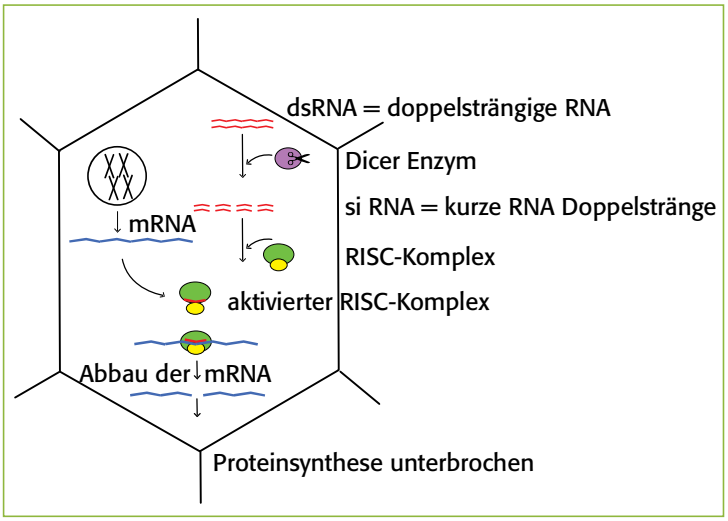
Anwendung:

Die Mutationsauslösung mittels Oligonukleotiden wird genutzt, wenn eine gezielte Veränderung bekannter Gensequenzen zur Verbesserung eines Merkmals gewünscht ist. Die Erfolgschancen sind sehr viel höher als bei einer ungerichteten Mutationsauslösung, da nur das Zielgen betroffen ist. Durch die kurze DNA-Sequenz wird die DNA-Abfolge dieses Gens wunschgemäß geändert. Daher sind wesentlich weniger Nebenwirkungen zu erwarten als bei der konventionellen Mutationsauslösung. Die Erzeugung einer neuen Resistenz in Gerste (mlo-Mutante) gegen ein breites Spektrum von Mehltaurassen ist bereits in der Forschungsphase.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Es werden mittels technischer Eingriffe isolierte DNA-Sequenzen in den Zellkern gebracht und somit die Integrität der Zelle als funktionelle Einheit verletzt.

Gene Silencing – RNA Interferenz (RNAi)



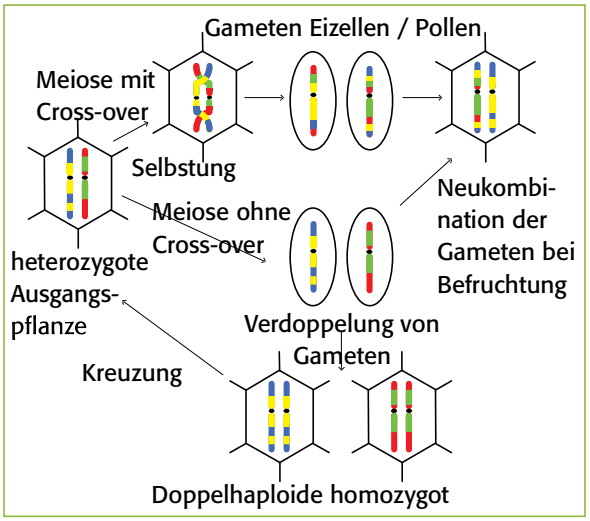
Verfahren:
RNA-Interferenz (RNAi) ist ein natürlicher Mechanismus der Genregulation bei Pflanzen, Tieren und Menschen, der zum Abschalten von Genen in Zellen führt. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung wird RNAi durch kleine, doppelsträngige RNA-Moleküle (dsRNA) ausgelöst, die entweder zur Methylierung des Promotors führen können (Hemmung der Transkription) oder durch Abbau der mRNA die Proteinbildung verhindern (Hemmung der Translation). Dabei bleibt das Gen in seiner DNA-Sequenz unverändert, und nur die Genexpression wird heruntergefahren. Man spricht daher auch von epigenetischen Effekten.

Um eine Genexpression gezielt zu unterdrücken, werden kurze Genkonstrukte mit sense- und entsprechender antisense-DNA oder -RNA in das Genom transferiert (z.B. via Partikelbeschuss oder Elektroporation). Wird dieses Genkonstrukt abgelesen, entstehen mRNA-Stränge, die sich haarnadelförmig zusammenklappen und so doppelsträngige RNA-Moleküle bilden. Diese dsRNA lösen die oben beschriebene RNA-Interferenz aus, unabhängig davon in wievielen Kopien dieses Gen in der Pflanze vorhanden ist. Die DNA/RNA-Konstrukte werden nicht in das Genom eingebaut, und der Effekt der RNAi kann in zukünftigen Generationen abnehmen.

Anwendung:
Für Forschungszwecke werden kurze RNA-Konstrukte direkt in die Zelle transferiert, um herauszufinden, welche Auswirkungen dies auf die Genregulation hat. Die RNAi-Technik kann zur Beeinflussung von Merkmalen eingesetzt werden, bei denen die Synthesewege bekannt sind und durch Ausschalten einzelner Schlüsselenzyme die gewünschte Merkmalsausprägung erreicht werden kann. Der grosse Vorteil der RNAi-Methode ist, dass dieser post-transkriptionale Efffekt dominant vererbt wird, d.h. egal wieviele Kopien eines funktionierenden Gens in der Pflanze vorhanden und abgelesen werden, wird deren Translation in funktionsfähige Proteine völlig unterdrückt.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Es werden mittels technischer Eingriffe isolierte DNA- oder RNA-Sequenzen in den Zellkern gebracht und somit die Integrität der Zelle als funktionelle Einheit verletzt.
- Es wurde beobachtet, dass durch RNAi sowohl die Genexpression heruntergefahren als auch angekurbelt werden kann. Da die RNA-Interferenz in übergeordnete Regelkreise involviert ist, könnte durch neu eingeführte RNAi das Gleichgewicht der Genexpression anderer Merkmale via Rückkopplung beeinträchtigt werden.
- Bisher liegen noch wenig Erfahrungswerte zu möglichen Risiken vor.

Reverse Breeding



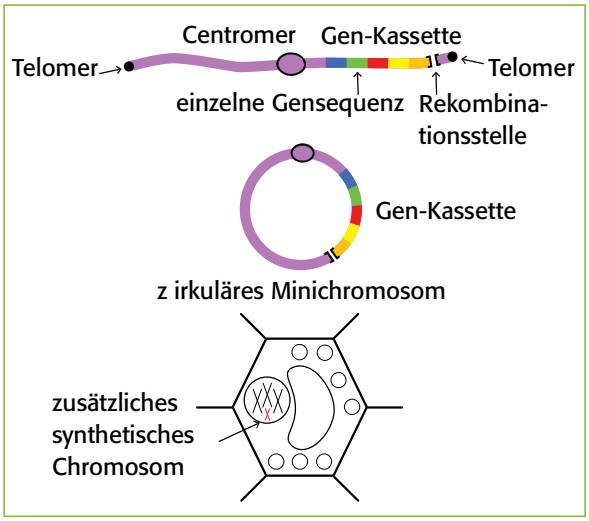
Verfahren:
Bei Reverse Breeding wird der Züchtungsprozess der Hybriderstellung umgedreht. Es wird versucht, eine selektierte Pflanze, die alle positiven Eigenschaften besitzt, aber heterozygot vorliegt, genetisch identisch zu reproduzieren. Normalerweise ist dies nicht möglich, da bei einer Selbstung solcher Pflanzen die Gene in jeder Meiose neu kombiniert werden. So kann eine Hybride zwar geselbstet werden, aber die Nachkommen zeigen aufgrund der Neukombination eine grosse Aufspaltung der Eigenschaften.

Bei Reverse Breeding versucht man durch Unterdrückung der Crossover-Ereignisse diese Rekombination der Gene zu verhindern, um die Hybride in reproduzierbare Erbkomponenten zu zerlegen. Dabei wird die Rekombination mittels RNA-Intereferenz (siehe RNAi) unterdrückt, und mittels Doppelhaploiden-Technik können in einem Schritt homozygote Inzuchtlinien erstellt werden. Diese können beliebig vermehrt werden. Die so erzeugten Inzuchtlinien werden anschließend miteinander gekreuzt, um den ursprünglich heterozygoten Genotyp wieder herzustellen.

Anwendung:
Die Umkehrzüchtung kann bei heterozygoten Fremdbefruchtern, die generativ vermehrt werden sollen, eingesetzt werden. Dies war bislang nur bei vegetativ vermehrten Genotypen möglich.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Es werden mittels technischer Eingriffe isolierte DNA- oder RNA-Sequenzen in den Zellkern gebracht und somit die Integrität der Zelle als funktionelle Einheit verletzt.
- Es wird in die übergeordnete Steuerung der Genexpression eingegriffen, dabei wird die Selbstorganisation der Zelle gestört.
- Die Sorte muss jeweils neu aus den Erbkomponenten erstellt werden. Ein Nachbau ohne Leistungsabfall ist nicht möglich.

Transformation via Minichromosomen



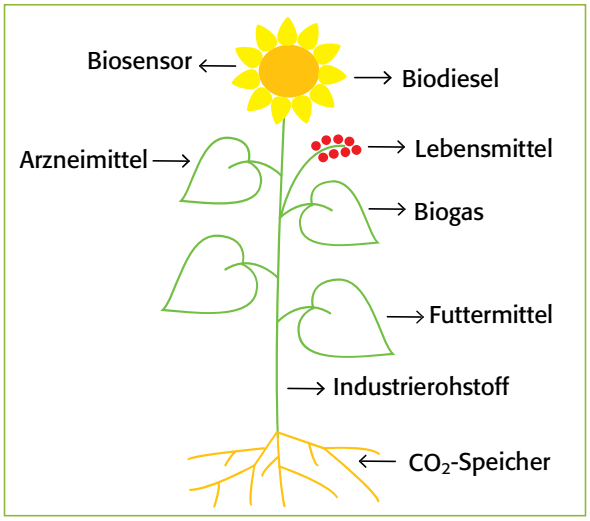
Verfahren:
Um besonders viele neue Gene in das Pflanzengenom einzubauen, kann eine ganze Gruppe von Genkonstrukten mittels künstlicher Minichromosomen in den Zellkern transferiert werden. Diese Minichromosomen können auf zwei verschiedene Methoden hergestellt werden: durch Verkürzung natürlicher Chromosomen oder durch eine Neusynthese aller funktionellen Bestandteile eines Chromosoms. Anschließend werden die gewünschten Gene in die Minichromosomen eingebaut und in den Zellkern eingebracht. Meist werden gleichzeitig Rekombinationsstellen mit transferiert, damit später weitere Genkonstrukte integriert werden können.

Anwendung:
Diese Methode bietet sich an, wenn bereits viele Genkonstrukte vorhanden sind, die in eine Sorte transferiert werden sollen, oder wenn für industrielle oder pharmazeutische Zwecke ganz neue Stoffwechselabläufe induziert werden sollen. Die Minichromosomen werden nicht in die vorhandenen pflanzlichen Chromosomen eingebaut, dadurch treten keine unerwünschten Positionseffekte auf. Die auf den Minichromosomen lokalisierten Fremdgene zeigen eine stabile Expression und Vererbung.

Die Methode wird bisher vor allem zur Steigerung der Biomasseproduktion verwendet.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Die Integrität des pflanzlichen Genoms wird gestört.
- Die Pflanze wird zum reinen Stoffwechselproduzent degradiert.
- Der Übergang zur synthetischen Biologie ist fließend.

Synthetische Biologie



Verfahren:
Mit Hilfe der synthetischen Biologie können neue DNA-Baupläne erstellt werden. Dabei werden Einzelbausteine, wie z.B. Nukleotide, neu zusammengesetzt sowie neue Bausteine, wie Nukleotide und Aminosäuren ohne natürlich Vorlage, komplett synthetisch hergestellt. Die Forschung beschäftigt sich zurzeit vor allem mit der Synthese von Bakterien, die neue Enzyme in großer Menge und Reinheit produzieren können. Dabei wird die ursprüngliche DNA der Bakterienzelle durch das synthetische Genom ersetzt. In der Grundlagenforschung an Pflanzen ist man bereits in der Lage, künstliche Minichromosomen (siehe oben) zu erstellen und neuartige Chloroplasten zu synthetisieren.

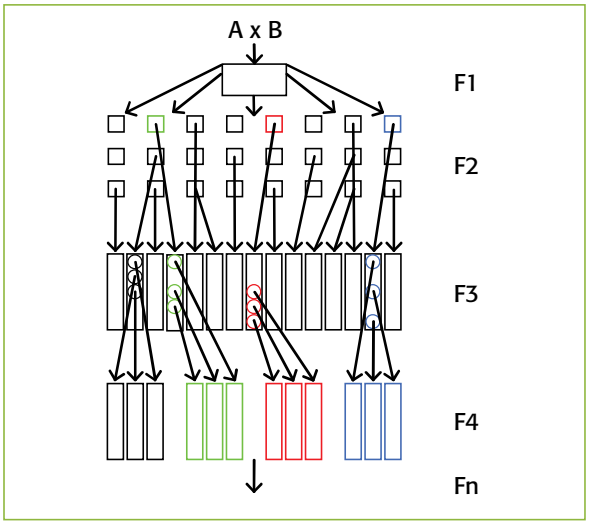
Anwendung:
Erste Anwendungen der synthetischen Biologie werden an einfachen Bakterien erprobt. Im Vergleich zu den Standardmethoden der Gentechnik werden bei der synthetischen Biologie nicht einzelne Genabschnitte neu zusammengesetzt, z.B. ein Bt-Gen aus einem Bakterium in das Maisgenom integriert, sondern es können neue Gene und neue Genome aufgrund von computergestützten DNA-Plänen aus Chemikalien synthetisiert werden. Es können so DNA-Sequenzen synthetisiert werden, für die es in der Natur keine Vorlage gibt, z.B. für das Design neuer Proteine. Es wird beispielsweise versucht, durch synthetisch hergestellte DNA-Baupläne von Bakterien neue Inhaltstoffe in möglichst reiner Form zu gewinnen.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Gentechnisch veränderte Organismen sind im Ökolandbau nicht erlaubt.
- Die Methode weckt ethische Bedenken gegenüber Allmachtsphantasien und der Reduktion der Lebewesen auf die Summe von Einzelbausteinen. Die synthetische Biologie stellt einen starken Eingriff in die Schöpfung dar.

Selektion

Techniken auf der Ebene der Pflanze

Phänotypische Selektion im Feld



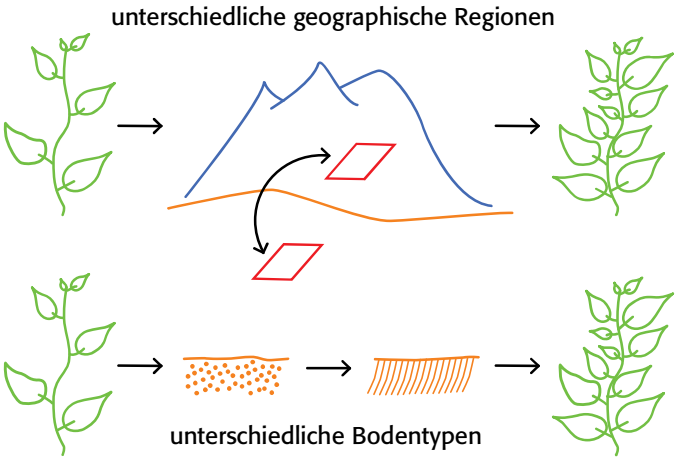
Verfahren:
Züchterischer Fortschritt wird erreicht, indem jeweils die leistungsstärksten Einzelpflanzen oder Nachkommenschaften selektiert werden. Dazu werden Einzelpflanzen oder deren Nachkommenschaften im Feld angebaut und anhand der zuvor definierten Zuchtziele beurteilt.

Die phänotypische Selektion an Einzelpflanzen unterliegt großen Schätzfehlern, da die genotypischen Effekte von Umwelteffekten überlagert werden. In späteren Generationen sind die Nachkommen hinreichend homogen, so dass die phänotypische Selektion auf wiederholte, mehrortige Prüfung im Parzellenmaßstab abgestützt werden kann. Daher ist die phänotypsiche Selektion in frühen Generationen weniger effizient als die Selektion in späteren Generationen. Je weiter ein Zuchtstamm fortgeschritten ist, desto mehr Informationen liegen dem Züchter für seine Selektionsentscheidungen vor. Da die Ansprüche an eine möglichst optimale Sorte sehr hoch sind, ist es unwahrscheinlich, eine Pflanze zu finden, die alle günstigen Eigenschaften in sich vereint. Vielmehr ist es die Kunst des Züchters, aus der vorhandenen Variation den besten Kompromiss zu finden.

Anwendung:
Die phänotypische Selektion ist unabdingbar für alle Zuchtprogramme.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Aus Sicht des Ökolandbaus ist die Interaktion einer Pflanze mit dem Boden und den klimatischen Bedingungen eine Grundvoraussetzung für die standortgerechte Weiterentwicklung von Kulturpflanzen.
- Alle Selektionsschritte sollten unter ökologischen Anbaubedingungen stattfinden.

Shuttle Breeding

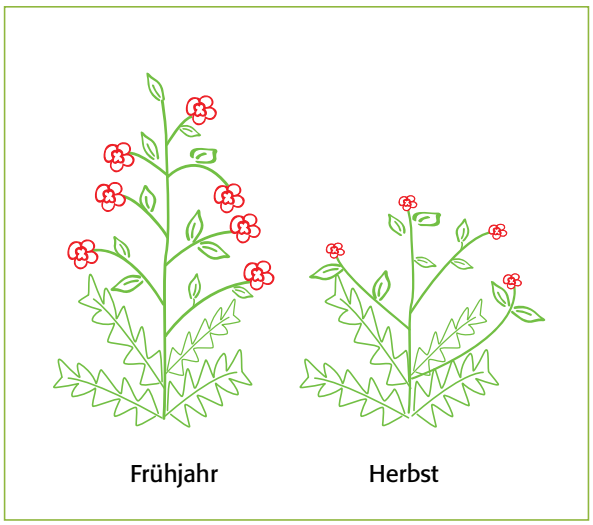


Verfahren:
Mit dem Wechsel der Umgebung während des Selektionsprozesses wird versucht, die Anpassungsfähigkeit von Sorten zu erhöhen, indem das Zuchtmaterial abwechselnd an zwei oder mehreren sehr verschiedenen Standorten geprüft wird. So findet die Selektion der ersten spaltenden Nachkommenschaft z.B. an einem Trockenstandort statt. Die nächste Generation der ausgelesenen Pflanzen wird danach an einem feuchten Standort selektiert. Die dritte Generation wird wieder unter Trockenstress selektiert.

Anwendung:
Neben der Anpassung an abiotische Stressfaktoren wie Hitze, Frost, Trockenheit, Staunässe, Versalzung, Versauerung, etc. wird dieses Verfahren auch genutzt, um die Widerstandsfähigkeit gegen diverse Schädlinge und Krankheiten zu verbessern. Shuttle Breeding wird vor allem in den frühen Generationen eingesetzt. In den späteren Generationen ist genügend Saatgut vorhanden, um gleichzeitig an verschiedenen Orten Prüfungen durchzuführen. Je mehr die Selektionsstandorte der späteren Anbauregion entsprechen, desto größer ist der Selektionserfolg.

Durch Prüfung an mehreren Standorten mit sehr unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen, Krankheits- und Schädlingsdruck werden Sorten gezüchtet, die sich an verschiedenste Umweltbedingungen anpassen können (ertragsstabile überregionale Sorten). Durch Selektion unter regional eingegrenzten Bedingungen auf ökologisch bewirtschafteten Flächen erhöht sich die Chance Sorten zu selektieren, die optimal an diesen Standort und die Bewirtschaftungsweise angepasst sind, aber für andere Anbaubedingungen weniger gut geeignet sind (Lokalsorten).

Wechsel des Saatzeitpunkts

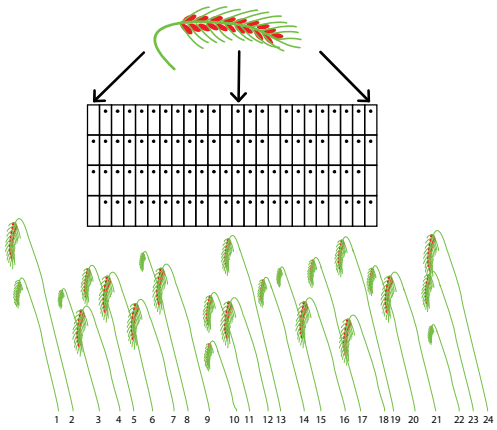


Verfahren:
Der Wechsel des Saatzeitpunktes (frühes oder spätes Frühjahr; früher oder später Herbst) wird üblicherweise vorgenommen, um nach Kriterien wie Tageslängenunempfindlichkeit, geringere Ansprüche für die Blütenbildung oder Ertrags- und Qualitätsstabilität bei unterschiedlich langen Wachstumsperioden zu selektieren.

Anwendung:
Diese Methode wird vor allem bei Getreide angewendet, zum Beispiel um Wechselweizen zu entwickeln.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Ährenbeetmethode

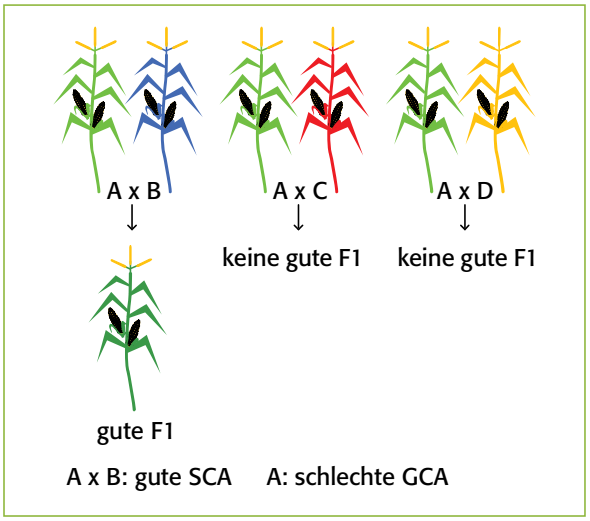


Verfahren:
Im Ährenbeet werden die Körner in derselben Reihenfolge ausgesät, wie sie an der Ähre gewachsen sind. So spiegeln die Position der Pflanzen im Saatbeet (Ährenbeet) die Kornanordnung der ursprünglichen Ähre wieder, die entwicklungsphysiologisch unterschiedlich angelegt wurden.

Anwendung:
Diese Methode wurde von bio-dynamischen Züchtern speziell für Getreide entwickelt, um die Selektionseffizienz zu erhöhen.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Testkreuzungen

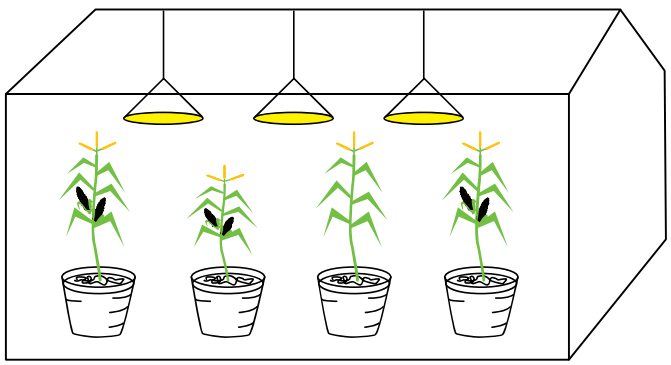


Verfahren:
Für die Züchtung von Hybriden und Polycross-Sorten genügt es nicht, auf gute Eigenleistung zu selektieren, sondern es müssen Eltern mit guter Kombinationseignung identifiziert werden. Dazu werden Testkreuzungen durchgeführt, d.h. es werden vielversprechende Elternpflanzen miteinander gekreuzt und die Nachkommen in der nächsten Saison auf ihre Ertragsleistung im Feld geprüft. Die Messungen werden benutzt, um die generelle Kombinationseignung (GCA) und die spezielle Kombinationseignung (SCA) der Elternpflanzen zu bestimmen.

Anwendung:
Testkreuzungen spielen vor allem bei fremdbefruchtenden Kulturarten wie Mais, Roggen und Futtergräsern eine wichtige Rolle sowie für die Hybridzüchtung.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Siehe unter «Hybriden», Seite 42.

Phänotypische Selektion unter kontrollierten Bedingungen



Verfahren:
Einzelne Merkmale, für die meist nur ein Gen verantwortlich ist, wie z.B. Braunrost-Resistenzen bei Weizen, können bereits im Keimlingsstadium im Gewächshaus oder der Klimakammer beurteilt werden. Der Vorteil hierbei ist, dass die Umgebungsbedingungen kontrolliert werden können und die Prüfungen unabhängig von der Jahreszeit möglich sind.

Bei vielen Merkmalen, die quantitativ vererbt, d.h. von mehreren Genen beeinflusst werden, ist meist nur eine schwache Korrelation zwischen der Merkmalsausprägung unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus und der Ausprägung der adulten Pflanzen im Feld festzustellen. In diesem Fall kann die Prüfung unter kontrollierten Bedingungen nur einen ersten Hinweis liefern, der unter Feldbedingungen verifiziert werden muss.

Anwendung:
Die phänotypische Selektion unter kontrollierten Bedingungen wird genutzt, um auf Merkmale zu selektieren, die durch ein oder wenige Gene vererbt werden und bereits im Jugendstadium oder an Einzelpflanzen mit genügend Präzision erfasst werden können. Es ist eine Vorselektion in den Wintermonaten möglich, und z.B. künstliche Infektionen mit Krankheitserregern sind in der Klimakammer einfacher und sicherer durchzuführen als unter Feldbedingungen. In Sicherheitsgewächshäusern ist es sogar möglich, auf Quarantäneorganismen zu selektieren.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Unter kontrollierten Bedingungen findet keine natürliche Selektion oder Interaktion mit der Zielumwelt statt.

Analytische/technologische Selektion

Verfahren:
Viele Qualitätseigenschaften oder technologische Eigenschaften können nicht am Phänotyp erkannt werden. Um diese Merkmale zu erkennen, müssen im Labor verschiedene Tests durchgeführt werden. Daher wird z.B. die Backfähigkeit von Weizen mittels verschiedener Schnelltest geprüft, um Vorhersagen zur Backqualität machen zu können. Bei Brokkoli wird beispielsweise der Gehalt an Glucosinolaten bestimmt, um seine antikanzerogene Wirkung zu verbessern.

Anwendung:
Gezielte Verbesserung von Qualitätseigenschaften entsprechend den Bedürfnissen des Marktes.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Organoleptische Selektion

Verfahren:
Unter organoleptischer Selektion wird die Prüfung eines Nahrungs- oder Genussmittels nach Aussehen, Geruch und Geschmack durch die Sinneswahrnehmung des Menschen verstanden. Hierzu werden Blindtests nach speziellem Versuchsdesign mit den jeweiligen neuen Züchtungen durchgeführt.

Anwendung:
Organoleptische Selektion basierend auf der Verkostung von Ernteprodukten wird vor allem bei Gemüse, Obst und Gewürzpflanzen routinemäßig angewendet. Die Durchführung organoleptischer Tests mit potenziellen Konsumenten ermöglicht eine kundengerechte Selektion.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Bildschaffende Methoden zur Selektion

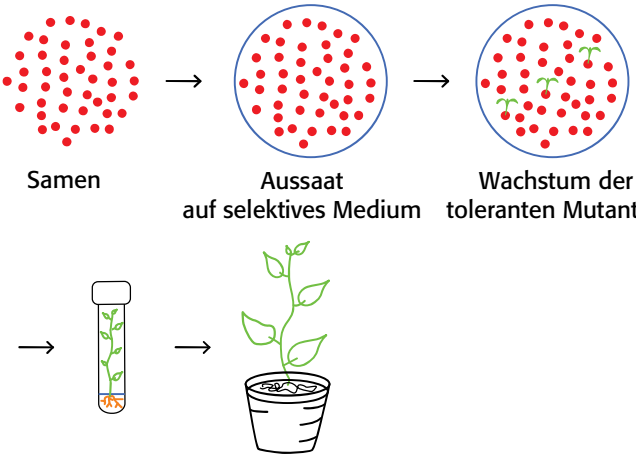
Verfahren:
Unter bildschaffenden Methoden werden verschiedene Methoden wie die Kupferchloridkristallisation (Biokristallisation), die Steigbildmethode und die Rundbildmethode (Chromatest) zusammengefasst. Das Grundprinzip dieser Methoden ist es, die Proben, in diesem Fall Pflanzenmuster, einem System (z.B. wässrigen Lösungen von Metallsalzen) zuzusetzen, in denen ein formbildender Vorgang stattfindet. Das Ergebnis sind dann probenspezifische Strukturen bzw. Farben. Durch den Vergleich der Bilder mit entsprechenden Referenzbildern werden Aussagen über Qualität und Vitalkräfte der Proben abgeleitet.

Anwendung:
Diese Methode wird vor allem in der biodynamischen Züchtung angewendet, um die Vitalkräfte der Lebensmittel zu steigern. Mit ihnen lassen sich z.B. auch konventionell und ökologisch produzierte Lebensmittel unterscheiden.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Selektionstechniken auf der Ebene der Zelle oder des Gewebes

in vitro-Selektion

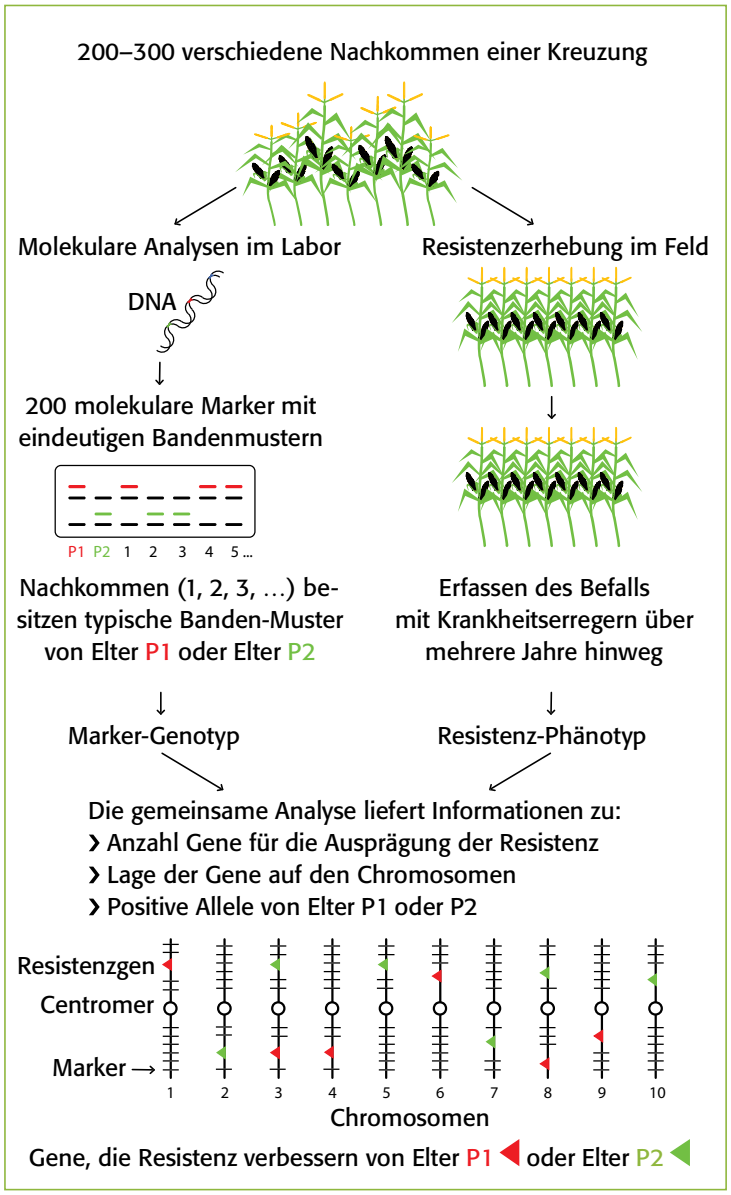


Verfahren:
Bei der in vitro-Selektion werden sterile Pflanzen, Samen, einzelne Pflanzenorgane bis hin zu Einzelzellen (Protoplasten) auf künstlichem Nährmedium kultiviert. Hierbei können die Pflanzen auf Stresstoleranz gegenüber biotischen und abiotischen Einflüssen getestet werden, indem das Nährmedium verändert wird. Dabei findet nicht nur eine Selektion statt, es können durch die in vitro-Kultur und die Stressbedingungen neue Mutationen induziert werden (somaklonale Variation). Für die Selektion von Pilzresistenz werden z.B. Samen oder isolierte Embryonen auf einem Medium mit dem Pathogen oder dem von ihm erzeugten Toxin zum Keimen gebracht. Die in vitro-Selektion wird angewendet, um möglichst viele Genotypen auf ein spezifisches Merkmal hin zu prüfen. Es ist eine Art Vorselektion, mit der sich die Zahl der im Feld zu testenden Genotypen stark reduzieren lässt.

Anwendung:
Die in vitro-Selektion ist eine sehr effiziente und kostengünstige Methode für die Selektion von Merkmalen, die bereits auf Zellebene erkannt werden können. Dazu gehören besonders Toleranzen gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren, die durch Veränderung des Nährmediums simuliert werden können, wie z.B. hohe Salzgehalte zur Selektion von salztoleranten Sorten oder die Zugabe von Pilztoxinen zur Selektion auf Resistenz gegen diese Pilze. Je nach Stärke der Stressinduktion kann auf vollständige Resistenz oder partielle Resistenz selektiert werden.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Die Selektion erfolgt in künstlicher Umwelt, die Anzucht auf künstlichem Nährmedium meist unter Zugabe von synthetischen Phytohormonen.
- Eine Interaktion der Pflanze mit dem Boden und dem Klima ist nicht möglich.

Markergestützte Selektion (MAS)



Verfahren:
Molekulare Marker sind diagnostische Hilfsmittel, die es erlauben, Unterschiede in der DNA-Sequenz sichtbar zu machen. Sie werden nach den Mendelschen Regeln vererbt. Molekulare Marker, die das gesamte Genom abdecken, ermöglichen die Bestimmung von Verwandtschaftsverhältnissen und können für die Wahl möglichst divergenter Kreuzungseltern eingesetzt werden. Damit molekulare Marker für die Selektion von gewünschten Merkmalen eingesetzt werden können, müssen zuerst Koppelungs-analysen durchgeführt werden, um zu erkennen, welche Markerunterschiede mit den entsprechenden phäno-typischen Ausprägungen im Feld korrelieren. Bei einem monogen vererbten (qualitativen) Merkmal genügen zwei benachbarte Marker, bei polygen vererbten (quantitativen) Merkmalen braucht es für jedes beteiligte Gen (quantitative trait locus = QTL) flankierende Marker. Bei der praktischen Durchführung der Markergestützten Selektion (MAS) wird den Kreuzungsnachkommen Blattgewebe entnommen und daraus DNA extrahiert, um Sequenzanalysen durchzuführen. Die Nachkommen, die die gewünschten Bandenmuster aufweisen, werden selektiert; die anderen werden verworfen. Die Marker werden nur zu Diagnosezwecken eingesetzt und verändern die DNA der lebenden Pflanzen nicht.

Anwendung:
Molekulare Markeranalysen stellen ein diagnostisches Verfahren dar und ermöglichen die Selektion auf monogen und polygen bedingte Merkmale auf DNA-Ebene, unabhängig davon, in welcher Umwelt die Nachkommen angezogen werden.

Markergestützte Selektion wird erfolgreich eingesetzt bei Rückkreuzungen oder zur Einkreuzung eines bestimmten Gens in eine bestehende Sorte, sowie zur Pyramidisierung (Stappelung) von verschiedenen monogen vererbten Resistenzgenen, die phänotypisch nicht zu unterscheiden sind, sowie zur Selektion auf quantitative Merkmale (QTL), die phänotypisch schwierig oder nur unzuverlässig erfasst werden können. Mit Hilfe der Markeranalysen kann die genetische Diversität der Kulturpflanze und deren Schaderreger sehr genau erfasst werden. Dies liefert wichtige Informationen für die Auswahl von Kreuzungspartnern, die Auswahl eines Hauptsortiments für Genbanken, die Bestimmung von Pathogenpopulationen und daraus abgeleitete Strategien zur Vermeidung von Resistenzdurchbrüchen.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Bei der Entwicklung und Anwendung von molekularen Markern werden Enzyme eingesetzt, die meist aus gentechnisch veränderten Bakterien hergestellt werden.
- Die Pflanzen werden auf ihre DNA-Sequenz reduziert. Genotyp-Umwelt-Interaktionen und epigenetische Effekte werden vernachlässigt.

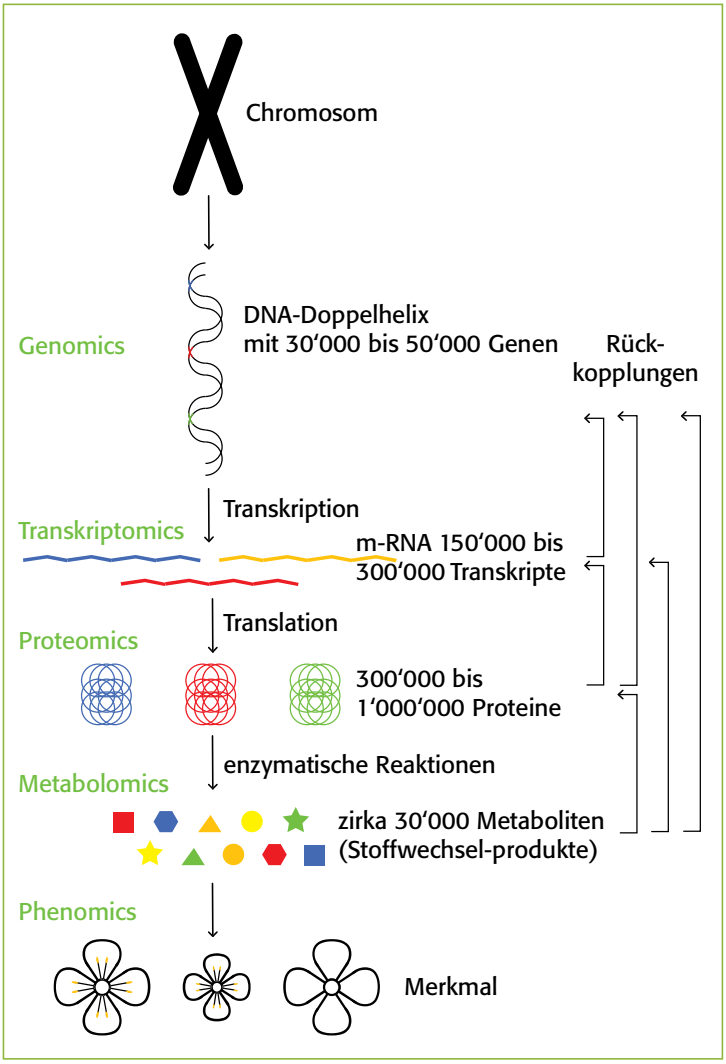
Proteomics/Metabolomics

Verfahren:
Unter Proteomics wird die Erforschung des Proteoms, das heißt der Gesamtheit aller in einer Zelle oder einer Pflanze unter definierten Bedingungen und zu einem definierten Zeitpunkt vorliegenden Proteine verstanden. Im Gegensatz zur DNA-Sequenz, die in allen Zellen und zu allen Zeiten identisch ist, kann sich die qualitative und quantitative Proteinzusammensetzung je nach Umweltbedingungen und Vegetationsstadien verändern.

Analog wird unter Metabolomics (Metabolite Profiling) die quantitative Analyse verschiedenster Stoffwechselprodukte (Metabolite) verstanden. Während bei der DNA-Markeranalyse das Vorhandensein eines Gens bestimmt wird, das für ein Merkmal verantwortlich ist, kann mit Hilfe von Proteomics bestimmt werden, welche Gene auch tatsächlich abgelesen (exprimiert) werden. Durch Unterschiede in der Protein- und Stoffwechselzusammensetzung einer großen Anzahl von Genotypen können die Metaboliten identifiziert werden, die für die Merkmalsausprägung (z.B. die Widerstandsfähigkeit einer Pflanze gegen Hitze) eine entscheidende Rolle spielen. Ist die Funktion der einzelnen Proteine oder Metaboliten bekannt, kann direkt auf Protein- oder Stoffwechselebene auf ein bestimmtes Merkmal selektiert werden.

Anwendung:
Selektion auf der Basis von Metaboliten wird zurzeit vor allem bei Obst, Gemüse, Arzneipflanzen und nachwachsenden Rohstoffen angewendet, um die organoleptische, ernährungsphysiologische und technologische Qualität zu verbessern. Die neuen Technologien ermöglichen eine systematische und präzise Analyse pflanzlicher Strukturen und Funktionen in ihrer Wechselwirkung mit der sich dynamisch ändernden Umwelt. An Modellpflanzen gewonnene Ergebnisse zeigen, dass die Ausprägung von komplexen Merkmalen auf der Basis von molekularbiologischen und biochemischen Analysen mit der Erfassung von hunderten oder tausenden von Messwerten vorhergesagt werden kann. Diese Techniken werden zur Zeit in der Züchtungsforschung implementiert, um die Reaktionen der Pflanze auf Umweltfaktoren besser zu verstehen. Daraus abgeleitet sollen effiziente Selektionsstrategien entwickelt werden.

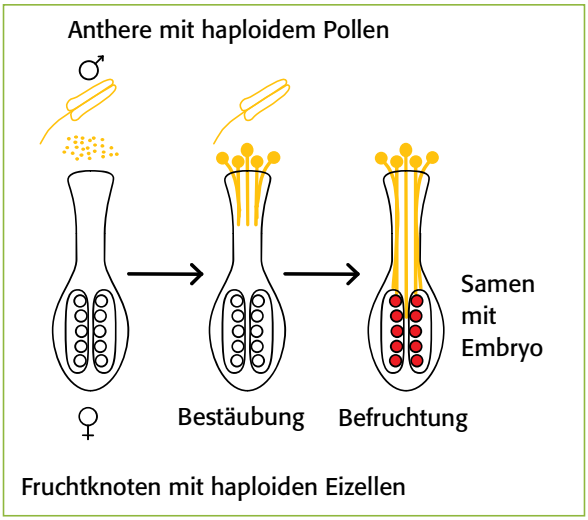
Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Es handelt sich um eine sehr technokratische Methode. Die Funktionen der Pflanze und die Interaktionen mit der Umwelt werden in ihre Einzelbausteine zerlegt und entsprechen einem reduktionistischen Ansatz.

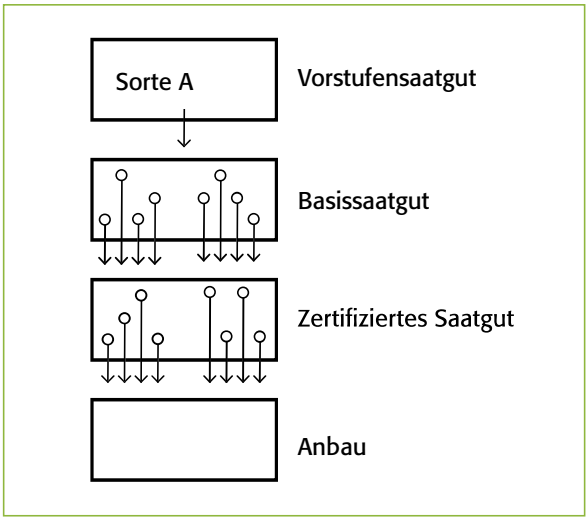


Vermehrung

Techniken auf der Ebene der Pflanze

Generative Vermehrung



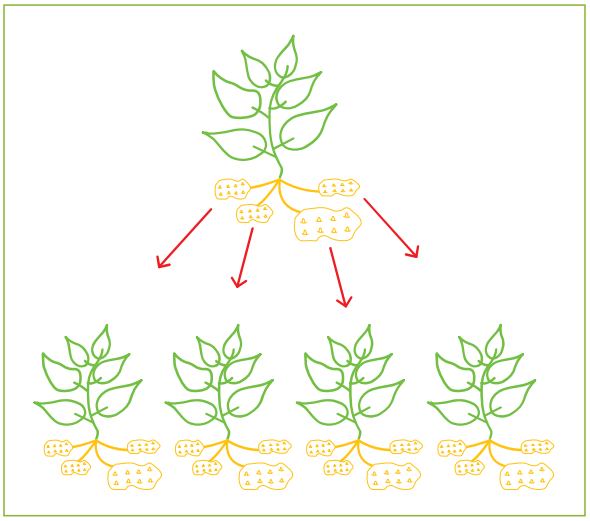


Verfahren:
Werden Pflanzen oder Populationen über Saatgut vermehrt, spricht man von generativer Vermehrung. Die Samennachkommen enthalten durch die Verschmelzung von Eizelle und Pollen jeweils einen Chromosomensatz von der Mutter und einen Chromosomensatz vom Vater. Bei vollständig homozygoten Inzuchtlinien (Liniensorten) sind die Samennachkommen genetisch identisch zur Ausgangspflanze, da Pollen und Eizelle denselben Chromosomensatz besitzen. Bei heterozygoten Pflanzen werden in der Meiose und anschließenden Befruchtung die Gene der Vater- und Mutterpflanze neu kombiniert, so dass die Samennachkommen in ihren Merkmalen aufspalten. Da der Pollen hauptsächlich aus dem Zellkern besteht, werden die Zellorganellen mit ihrer extrachromosomalen DNA v.a. über die Eizelle, d.h. mütterlich vererbt. Die Vermehrung kann im Feld, Gewächshaus oder der Klimakammer erfolgen.

Anwendung:
Die meisten Kulturarten werden über Samen vermehrt.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Vegetative Vermehrung



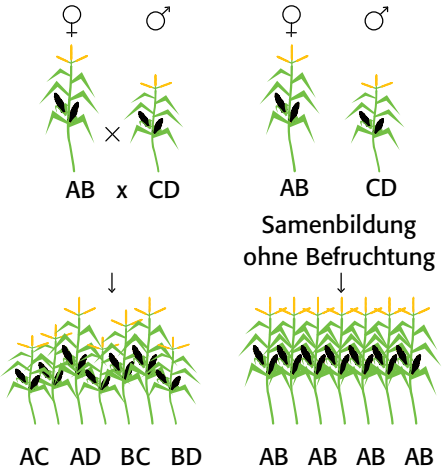
Verfahren:
Bei der vegetativen oder asexuellen Vermehrung werden Pflanzen mittels Steckling, Teilung, Ausläufer, Brutzwiebeln, Knollen, etc. vermehrt. Dabei wird die Omnipotenz der Pflanze genutzt, d.h. ihre Fähigkeit, aus einem Organ oder einer einzigen Zelle wieder zur vollständigen Pflanze zu regenerieren. Der Chromosomensatz bleibt dabei unverändert, die Organellen können sich hingegen entmischen. Die vegetative Vermehrung erlaubt es (neben der Apomixis und der Hybridzüchtung), eine heterozygote Pflanze genetisch stabil zu vermehren.

Die vegetative Vermehrung findet je nach Kulturart im Feld (Kartoffel), im Frühbeet (Obst), im Gewächshaus oder in der Klimakammer statt. Die Techniken der vegetativen Vermehrung sind vielfältig und spezifisch für jede Kulturart. Im Obstbau werden die Stecklinge (Edelreis) sehr oft auf Unterlagen aus Sämlingen gepfropft. Zur Förderung der Bewurzelung von Stecklingen wird oft Bewurzelungshormon eingesetzt. Um die Verschleppung von Bakterien- und Pilzkrankheiten zu vermeiden, werden häufig synthetische Pestizide eingesetzt. Vegetativ vermehrtes Pflanzenmaterial ist im Gegensatz zu Saatgut nur bedingt lagerbar.

Anwendung:
Wird bei vegetativ leicht vermehrbaren Kulturarten eingesetzt, z.B. zur Vermehrung von Klonsorten bei Kartoffel, Apfel, Rebe und vielen Zierpflanzen. Außerdem werden Elternkomponenten für Hybrid- oder Polycross-Sorten teilweise vegetativ vermehrt.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Anwendung von synthetischen Bewurzelungshormonen und Pestiziden bei der vegetativen Vermehrung

Apomixis



Verfahren:
Einige Pflanzen können sich asexuell durch Samen vermehren. Dieses Phänomen wird Apomixis genannt. Während der Samenbildung wird die für die sexuelle Fortpflanzung essentielle Meiose entweder unterdrückt oder umgangen, so dass der Embryo genetisch identisch zur Mutterpflanze ist. Es gibt obligat apomiktische Pflanzen, deren Samen immer apomiktische Embryos enthalten, und es gibt fakultativ apomiktische Pflanzen, die in ihren Samen sowohl sexuelle als auch apomiktische Embryos bilden. Trotz der asexuellen Vermehrung ist meist eine Bestäubung notwendig, damit es überhaupt zur Samenbildung kommt. Viele apomiktische Arten sind polyploid.

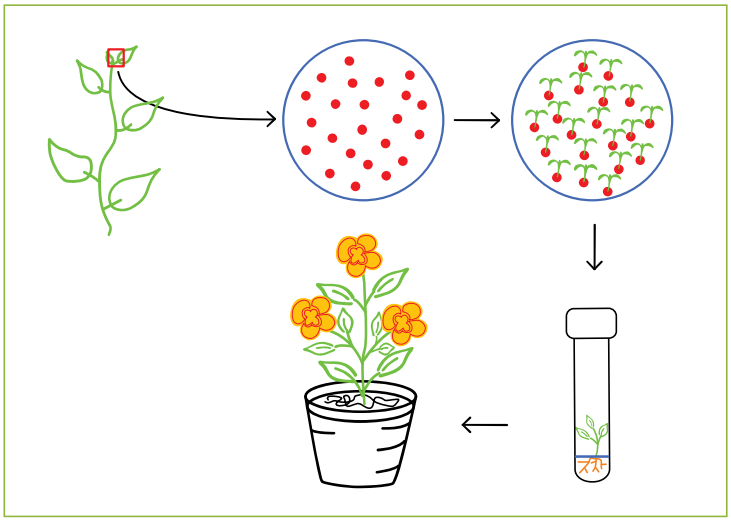
Anwendung:
Apomixis kommt in Kulturpflanzen (z.B. Wiesen-Rispengras) und Wildpflanzen (z.B. Johanniskraut, Löwenzahn) vor und ist von Interesse für Züchter, weil sie die Vorteile der Saatgutvermehrung, wie Gesundheit und Erhaltung der Qualität, und der identischen Fortpflanzung des mütterlichen Genotyps vereinigt. Die großen Vorteile der Apomixis gegenüber der vegetativen Vermehrung sind höhere Vermehrungsraten und geringere Probleme bei der Pflanzengesundheit. Die apomiktische Vermehrung wird als vielversprechende Methode erachtet, um heterozygote Sorten zu vermehren und den Heterosiseffekt der Hybriden zu konservieren.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Apomiktisch vermehrte Pflanzen können nicht zur Weiterzüchtung verwendet werden, da die Samennachkommenschaften genetisch identisch zur Mutterpflanze sind.

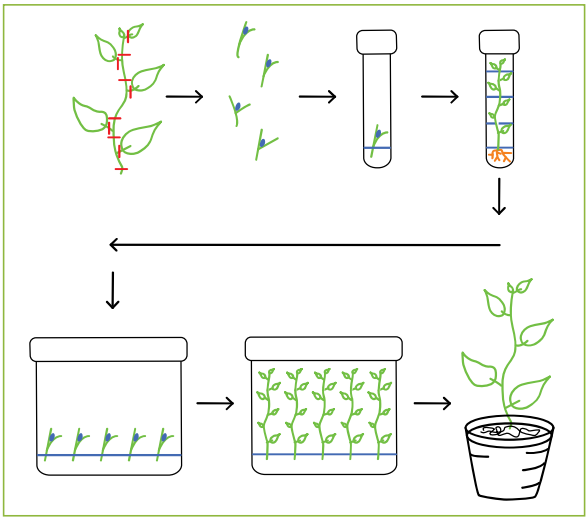
Techniken auf der Ebene der Zelle oder des Gewebes

in vitro-Vermehrung/Zell- und Gewebekulturen

Meristemkultur



Nodienkultur



Verfahren:
Bei der in vitro-Vermehrung werden Pflanzenteile, Gewebeteile oder Einzelzellen steril auf einem Nährmedium angezogen und vegetativ vermehrt. In Abhängigkeit von der Pflanzenart werden verschiedene Teile der Pflanze meistens ein Teil des Stängels mit einer axillaren Knospe, Teile eines Blattes oder einer Zwiebelschuppe in vitro kultiviert. Diese Pflanzenteile wachsen zu Sprossen heran, die wiederum vermehrt werden können. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis genügend Pflanzen vorhanden sind. Wenn die Wurzelbildung fortgeschritten ist, werden die Pflanzen ex vitro abgehärtet und anschließend in Gewächshäusern und/oder im Feld angepflanzt.

Wird zur vegetativen in vitro-Vermehrung das Meristem der Sprossspitze genutzt, wird dies als Meristemkultur bezeichnet. Das Meristem besteht aus noch undifferenzierten Zellen, die zur Teilung fähig sind. Aufgrund der schnellen Zellteilung im Meristem sind diese oft frei von Krankheiten und Viren. Deswegen wird die Meristemkultur häufig genutzt, um virusfreies Pflanzenmaterial zu erzeugen.

Um die Vermehrungsrate zu steigern, können ausser dem Meristem andere Gewebestücke von Blättern, Nodien oder Blütenständen entnommen und auf Nährmedien kultiviert werden. Die bereits ausdifferenzierten Zellen der einzelnen Gewebe werden zunächst dedifferenziert und zur Zellteilung angeregt. Dabei entstehen sogenannte Kalli (undifferenzierte Zellhaufen), die zur Spross- und anschließenden Wurzelbildung angeregt werden können, oder direkt somatische Embryonen ausbilden, die anschließend auskeimen. Diese Sprosse können zur multiplen Sprossbildung angeregt werden und erreichen einen sehr hohen Vermehrungsfaktor.

Im Extremfall kann aus einer einzelnen Zelle eine Pflanze regeneriert werden. Wird z.B. Blattgewebe enzymatisch verdaut, löst sich die Zellwand auf und einzelne Protoplasten (Zellen ohne Zellwand) werden freigesetzt. Diese Protoplasten können auf flüssigem Nährmedium zur ganzen Pflanze regeneriert werden (Protoplastenkultur).

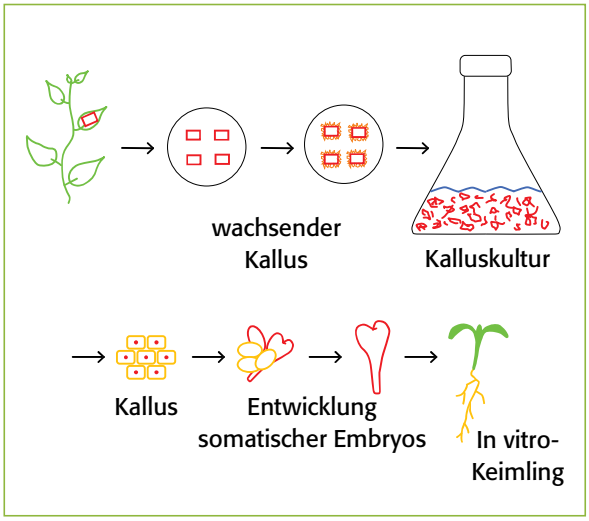
Anwendung:
Die in vitro-Vermehrung wird zur Vermehrung von virusfreiem Pflanzgut (z.B. Kartoffel) sowie zur raschen Vermehrung von Klonsorten und Elternkomponenten von Polycross- und Hybridsorten genutzt. Die in vitro-Vermehrung ermöglicht es, in kürzester Zeit eine Pflanze genetisch identisch zu vermehren. Innerhalb eines Jahres können aus einer Pflanze über 1 Million genetisch identische Nachkommen produziert werden. Durch die sterile Anzucht wird eine Verschleppung von Krankheiten verhindert, die manchmal die vegetative Vermehrung zum Erliegen bringen kann. Die Methode ist sehr platzsparend und effizient und kann teilweise automatisiert werden. Es ist möglich, in vitro-Kulturen bei tiefen Temperaturen für längere Zeit einzulagern, was vermehrt zur Erhaltung und Konservierung von wertvollen genetischen Akzessionen genutzt wird (Cryo-Konservation).

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

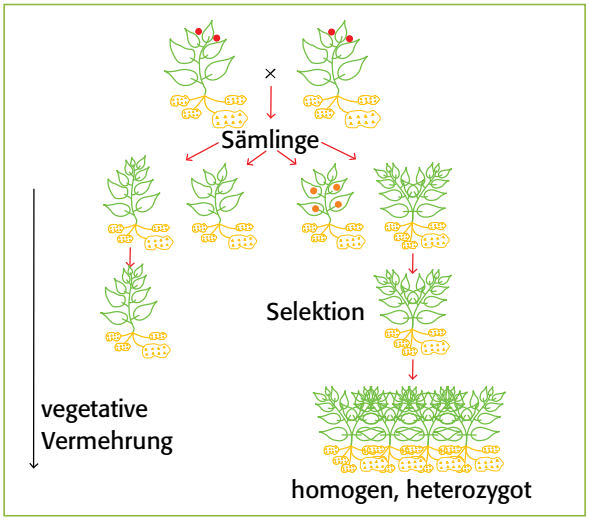
- Die Anzucht erfolgt auf künstlichem Nährmedium und meist unter Zugabe von synthetischen Phytohormonen.

Unterschiedliche Sortentypen

Kalluskultur



Klonsorten



Beschreibung:
Pflanzenarten, die hauptsächlich vegetativ vermehrt werden, besitzen die Besonderheit, dass sie ihre genetische Zusammensetzung unverändert an die vegetativ vermehrten Nachkommen weitergeben können. Von diesen Arten werden in der Regel Klonsorten erstellt. Das Grundschema der Klonzüchtung erfolgt in drei Stufen:

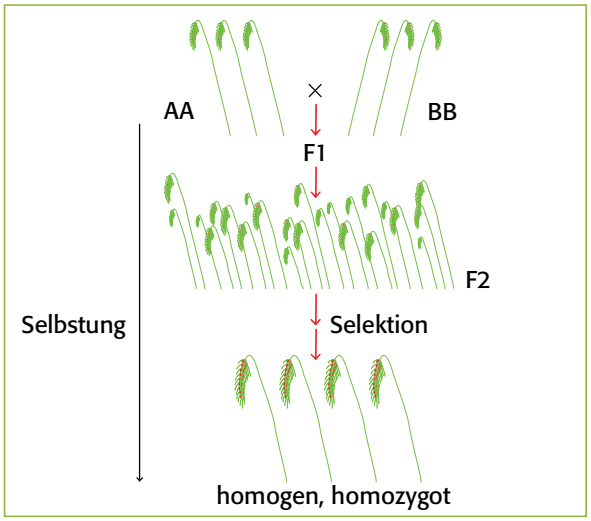
i. Schaffung von genetischer Variabilität durch sexuelle Vermehrung,
ii. Selektion der Kreuzungsnachkommen und
iii. vegetative Vermehrung der besten Einzelpflanze und Sortenanmeldung.

Die Klonsorte besitzt in der Regel einen hohen Heterozygotiegrad und ist aufgrund der vegetativen Vermehrung in sich sehr homogen. Klonsorten können nur vegetativ vermehrt werden. Dabei muss besonders darauf geachtet werden, dass phytosanitäre Probleme (z.B. Befall mit Bakterien, Pilzen oder Viren) unter Kontrolle gehalten werden. Bei Vermehrung via Samen kommt es zu einer großen phänotypischen Aufspaltung.

Anwendung:
Klonsorten können in wenigen (4–5) Jahren gezüchtet werden, da bereits in der ersten Kreuzungsnachkommenschaft Pflanzen selektiert werden können. Einmalig aufgetretene Phänotypen können erhalten und vermehrt werden. Sie können je nach Divergenz der Ausgangseltern die maximale Heterosis nutzen. Klonsorten sind vor allem bei mehrjährigen Kulturen und Kulturarten mit einer hohen vegetativen Vermehrungsrate verbreitet (Kartoffeln, Obst, Rebe, Zierpflanzen).

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Liniensorten (Inzuchtlinien)



Beschreibung:
Bei Pflanzenarten, die sich normalerweise durch Selbstbefruchtung vermehren, werden in der Regel Inzuchtlinien, d.h. Liniensorten, entwickelt. Das Grundschema der Linien- oder Pedigreezüchtung erfolgt in mehreren Schritten:

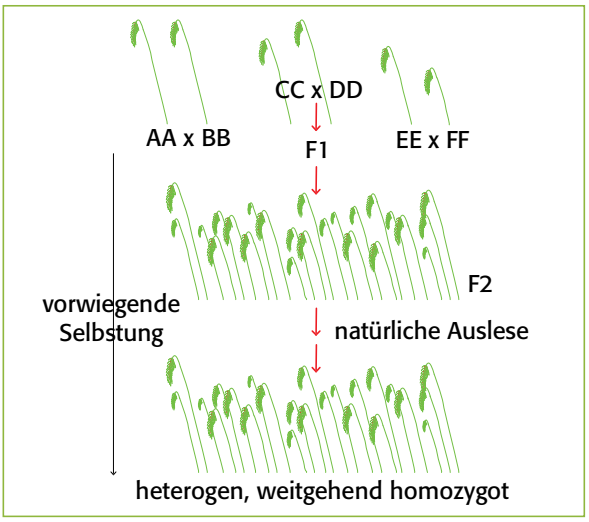
i. Schaffung von genetischer Variabilität durch gezielte Kreuzung zweier Eltern
ii. Vermehrung der homogenen F1-Nachkommenschaft durch fortgesetzte Selbstbefruchtung,
iii. Massenauslese in den spaltenden F2- bis F4-Generationen,
iv. Einzelpflanzenauslese in den F5- bis F8-Generationen,
v. Generative Vermehrung der besten Inzuchtlinien für eine Sortenanmeldung.

Die Liniensorten besitzen einen hohen Homozygotiegrad und sind sehr homogen. Das Erntegut einer Liniensorte ist genetisch identisch zur Ausgangssorte und kann problemlos nachgebaut werden.

Anwendung:
Durch gezielte Kreuzungen der Inzuchtlinien wird eine Fremdbefruchtung erzwungen, die bei Selbstbefruchtern selten vorkommt. Dadurch werden die Elterngene neu kombiniert und es entsteht eine große genetische Diversität, aus der neue Sorten selektiert werden können. Linienzüchtung entspricht der gängigen Praxis bei selbstbefruchtenden Kulturarten wie Weizen, Gerste, Erbsen oder Soja.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
› Liniensorten sind genetisch sehr eng und daher am anfälligsten gegenüber Krankheiten und Schädlingen.

Evolutionsramsche (Composite Cross Populations)



Beschreibung:
Evolutionsramsche werden v.a. bei Selbstbefruchtern genutzt, um eine höhere genetische Diversität innerhalb der Sorten zu erreichen. Dazu werden bei Selbstbefruchtern folgende Schritte durchlaufen:

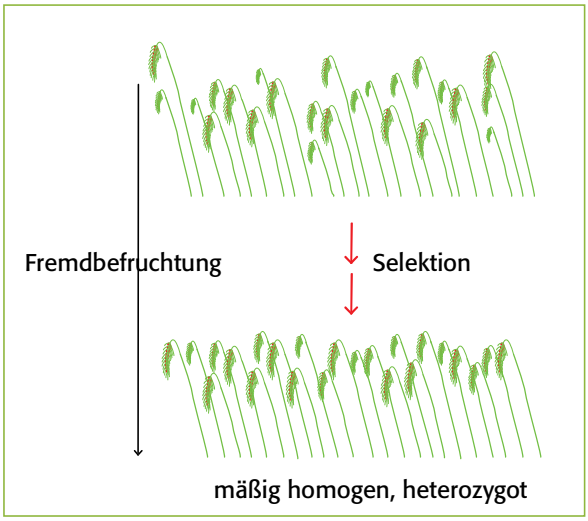
i. Viele Kreuzungen zwischen Elitesorten,
ii. Gemeinsame Vermehrung der spaltenden Nachkommenschaften (als Ramsch) in der Zielumwelt.

Diese Vermehrung findet über mehrere Generationen an dem Standort statt, an dem die Sorte später angebaut werden soll. Dadurch soll erreicht werden, dass sich die am besten angepassten Genotypen schneller vermehren und dadurch eine natürliche Auslese stattfindet. Außerdem soll durch die große Vielfalt an Allelen ein höherer Heterozygotiegrad erreicht werden als dies bei Liniensorten oder Sortenmischungen der Fall ist.

Anwendung:
Evolutionsramsche erlauben eine lokale Selektion und Anpassung der Sorten an die Zielumwelt. Der Selektionsaufwand ist relativ gering. Die Evolutionssorten sind heterozygot und heterogener als Liniensorten und sollten daher flexibler auf Umweltbedingungen reagieren können. Sie können zumindest einen Teil der Heterosis nutzen. Zurzeit werden erste Pilotversuche bei selbstbefruchtenden Arten durchgeführt (Composite Cross Populationen (CCP) bei Winterweizen).

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Populationssorten

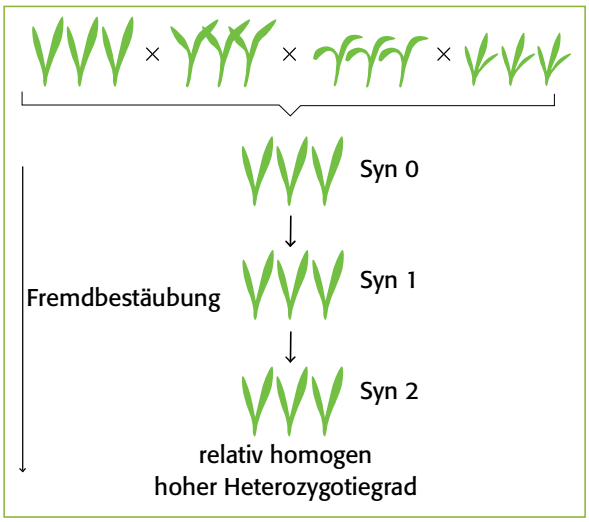


Beschreibung:
Populationssorten werden traditionellerweise bei Pflanzenarten entwickelt, die sich normalerweise durch Fremdbefruchtung vermehren. Die einfachste Selektionsmethode in der Populationszüchtung ist die Massenauslese zur Verbesserung der Ausgangspopulation. Um den Selek-tionserfolg zu erhöhen, können statt einfacher Massenauslese auch Pärchenkreuzungen der besten Einzelpflanzen und rekurrente Selektion durchgeführt werden. Zur Erhaltung der Sorte muss eine relativ aufwändige Erhaltungszüchtung betrieben werden, z.B. müssen die Populationssorten räumlich gut von anderen Populationen getrennt werden, damit sie ihre Sorteneigenschaften behalten. Die Populationssorten besitzen einen mittleren bis hohen Heterozygotiegrad und sind nur mäßig homogen.

Anwendung:
Populationssorten sind die traditionelle Praxis bei fremdbefruchtenden Arten. Sie sind genetisch heterogen und heterozygot (Roggen, Mais). Sie können zirka die Hälfte der maximalen Heterosis ausnutzen. Aufgrund der genetischen Variabilität innerhalb der Sorte sollten sie sich besser an neue Umweltbedingungen anpassen können als Liniensorten oder Hybriden.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Polycross-Sorten (Mehrkomponenten-Sorten)

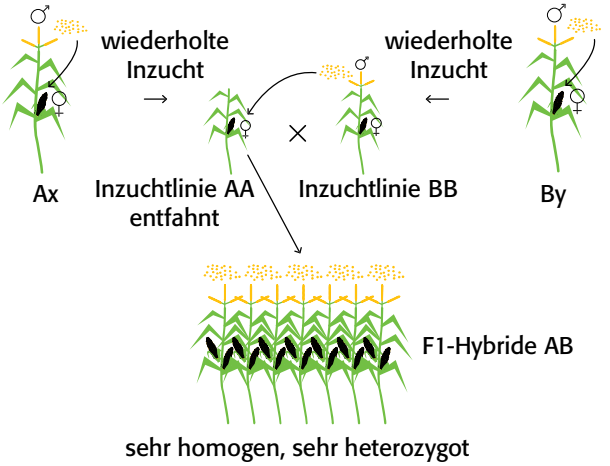


Beschreibung:
Bei Polycross-Sorten wird versucht, die Homogenität einer Populationssorte zu verbessern, ohne den hohen Heterozygotiegrad zu verlieren. Dabei wird eine begrenzte Anzahl (4–20) von Elternkomponenten selektiert, die gezielt gekreuzt werden oder zusammen abblühen. Diese Kreuzungsnachkommen besitzen einen hohen Grad an Heterozygotie, sind aber homogener als Populationssorten. Sie können über einige Generationen durch offenes Abblühen vermehrt werden. Danach muss wieder neues Kreuzungssaatgut aus den Elternkomponenten erstellt werden. Wichtig ist dabei, dass diese Elternkomponenten zuvor auf ihre Kombinationsfähigkeit miteinander geprüft wurden. Polycross-Sorten sind eine Zwischenstufe zwischen den Populationssorten, die durch offenes Abblühen erhalten werden, und den Hybridsorten, die in jeder Generation neu aus den Elternlinien erstellt werden müssen, um ihr maximales Ertragspotenzial zu erhalten.

Anwendung:
Polycross-Sorten sind gängige Praxis in der Futtergräserzüchtung und bei partiellen Fremdbefruchtern (Ackerbohne). Polycross-Sorten nutzen zirka drei viertel der maximalen Heterosis. Sie sind heterozygot, aber homogener als Populationssorten. Im Gegensatz zu Hybriden können sie einige Generationen durch die Landwirte nachgebaut werden, ohne dass das Leistungsniveau stark abfällt.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
Keine

Hybriden



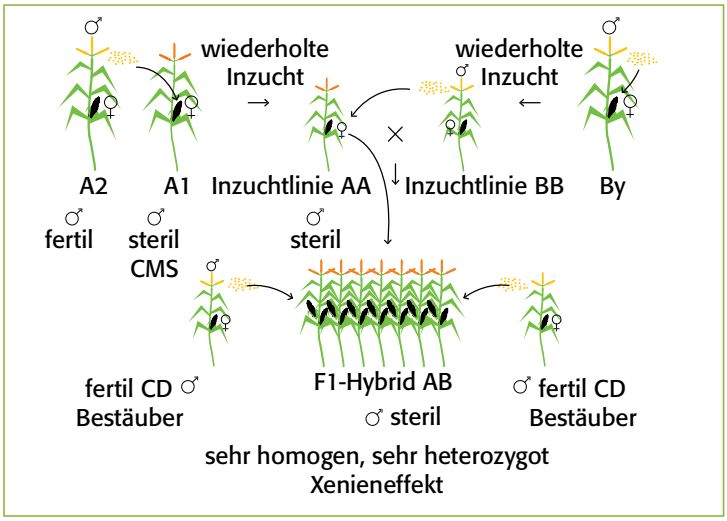
Beschreibung:
Bei der Hybridzüchtung wird versucht, den sogenannten Heterosis-Effekt zu nutzen. Als Heterosis-Effekt wird die Überlegenheit einer Kreuzungshybride gegenüber den Elternlinien bezeichnet. Der Vorteil der Hybride besteht darin, dass sie an möglichst vielen Genorten heterozygot ist, also zwei verschiedene Allele trägt. Dies wirkt sich positiv auf die Leistungsfähigkeit der Pflanzen aus. Damit dieser Effekt voll ausgeschöpft werden kann, werden möglichst unverwandte Inzuchtlinien miteinander gekreuzt. Die so erstellte Hybride hat einen maximalen Heterozygotiegrad und ist darüberhinaus sehr homogen. Der Nachteil ist jedoch, dass bei der Vermehrung dieser Hybriden die Nachkommen stark aufspalten, und nur noch ein Teil der Nachkommen das Leistungsniveau der Hybride erreicht. Daher muss für den Anbau immer wieder neues Hybridsaatgut erstellt werden.

Damit das Hybridsaatgut mit vertretbarem Aufwand produziert werden kann, muss die Mutterlinie entweder männlich steril sein oder einfach kastriert werden können. Am meisten verbreitet ist die Nutzung der cytoplasmatisch männlichen Sterilität (CMS). Dabei wird die Mutterlinie durch wiederholte Rückkreuzung in das CMS-Plasma eingelagert. So entstehen zwei nahezu identische Linien, die sterile Mutterlinie im CMS-Plasma und die entsprechende fertile Linie im normalen Plasma. Die fertile Linie ist notwendig zur Vermehrung der sterilen Mutterlinie und wird als Maintainerlinie bezeichnet. Damit das Hybridsaatgut im Anbau Samen produzieren kann, muss die Hybride, die im CMS-Plasma vorliegt, selbst männlich fertil sein. Deshalb werden Vaterlinien selektiert, die sogenannte Restorergene besitzen. Diese Restorergene werden chromosomal vererbt und können die männliche Fertilität im CMS-Plasma wieder herstellen.

Anwendung:
Die Nutzung von Hybriden ist bei fremdbefruchtenden Arten wie Mais, Roggen, Raps, Sonnenblumen, Möhren, Kohl gängige Praxis wird aber zunehmend auch bei selbstbefruchtenden Kulturarten (Baumwolle, Weizen) angewendet, da Hybridsorten sehr homogen sind und ein sehr hohes Leistungsniveau haben.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:
- Hybriden können nicht ohne Leistungsabfall nachgebaut werden. Dies schränkt die Autonomie des Landwirts ein und fördert Abhängigkeit von Saatzuchtunternehmen.
- CMS-Hybriden ohne Restorergene zur Wiederherstellung der männlichen Fertilität können nicht für die Weiterzüchtung von fertilen Sorten verwendet werden (z.B. Blumenkohl oder Brokkoli). Dadurch wird der Züchtervorbehalt ausgehebelt und der züchterische Fortschritt eingeschränkt.

Plus-Hybriden mit Xenieneffekt



Beschreibung:
Bei dem Plus-Hybrid-System wird eine cytoplasmatisch männlich sterile (CMS) Hybride (80 %) von einer genetisch nicht verwandten, männlich fertilen Hybride (20 %) bestäubt, um weitere Ertragssteigerungen zu erzielen. Zusätzlich zum Heterosis-Effekt profitieren die CMS-Hybriden vom direkten Einfluss der männlichen Sterilität (benötigen keine Energie für Pollenproduktion) und dem Xenieneffekt. Der Xenieneffekt tritt auf, wenn eine Eizelle von Pollen bestäubt wird, der nicht mit dem mütterlichen Narbengewebe übereinstimmt, und bewirkt die Bildung größerer Samen.

Anwendung:
Plus-Hybriden mit Xenieneffekte werden v.a. bei Mais angewendet, nachdem die Saatgutproduktion zunehmend auf CMS-Hybriden umgestellt wurde. Xenieneffekte ermöglichen durch Erhöhung des Korngewichts zusätzliche Ertragssteigerungen. Die Beimischung von 20 % unverwandten fertilen Hybriden erhöht die genetische Diversität im Feld.

Kritische Punkte aus Sicht des Ökolandbaus:

- CMS-Hybriden ohne Restorergene sind männlich steril und daher in ihrer Fortpflanzungsfähigkeit eingeschränkt. CMS-Hybriden können nicht als Pollenspender für die Weiterzüchtung verwendet werden, sondern nur als Saatgutmutter und vererben dabei die männliche Sterilität mit dem Cytoplasma an die Kreuzungsnachkommen weiter. Dadurch wird der Züchtervorbehalt ausgehebelt und der züchterische Fortschritt eingeschränkt.

Eigenschaften der Sortentypen im Überblick

	Klonsorten	Liniensorten	Evolutions-ramsche	Populations-sorten	Polycross-Sorten	Hybriden	Plus-Hybriden
Vermehrungsart	vegetativ	generativ	generativ	generativ	vegetativ/ generativ	generativ	generativ
Hetero-zygotiegrad	mittel bis hoch	<5 %	gering	hoch	sehr hoch	vollständig heterozygot	vollständig heterozygot
Homogenität	sehr hoch	hoch	gering	gering	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Möglichkeit zur züchterischen Weiterentwick-lung	ja	ja	ja	ja	ja	ja, außer bei CMS ohne Restorergene	nur wenn Restorergen vorhanden ist
Nachbaufähigkeit	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein

Kriterien für die Beurteilung von Züchtungstechniken

Am 2. März 2011 fand in Frankfurt ein Experten-Workshop mit 30 Vertretern aus Züchtung, Forschung, von Anbauverbänden und ECO-PB statt mit dem Ziel, Kriterien für die Beurteilung von Züchtungstechniken für den Ökolandbau zu identifizieren und zu priorisieren.

Der Austausch führte zum Konsens, dass in der ökologischen Pflanzenzüchtung nicht nur die Integrität des Genoms, sondern auch die Integrität der Zelle – als der kleinsten Lebenseinheit, aus der eine Pflanze heranwachsen kann – gewahrt werden soll. Die Respektierung der Zelle als unteilbare Einheit umfasst das Zusammenspiel aller Zellbestandteile wie chromosomale und extrachromosomale DNA, Organellen, Zellplasma, Zellmembran sowie deren übergeordnete Regulationsmechanismen, die für die Funktion einer lebenden Zelle als funktionelle Einheit von Bedeutung sind. Diese übergeordneten regulatorischen Prozesse (Epigenetik) bestimmen, warum aus einer undifferenzierten Zelle mit demselben Genom einmal eine Blütenzelle, eine Blattzelle oder eine Wurzelzelle wird. Daher gilt es im Sinne des ökologischen Landbaus, die Zelle als unteilbare Einheit zu respektieren und vor technisch-materiellen Eingriffen zu schützen.

Basierend auf dem Workshop und den anschließenden Diskussionen wurde ein konsensfähiges Grundlagenpapier zur ökologischen Pflanzenzüchtung verfasst, das von den Experten und Interessensvertretern des Ökosektors mitgetragen wird. Dieses Grundlagenpapier soll einerseits die Züchtung für den ökologischen Landbau stärken, Sicherheit für Züchter und Anbauer schaffen und andererseits die Öffentlichkeit für die Bedeutung von Saatgut und Züchtung für eine nachhaltige Lebensmittelproduktion sensibilisieren. Darüber hinaus soll das Grundlagenpapier Transparenz schaffen und die Wertvorstellungen einer ökologischen Pflanzenzüchtung vermitteln, sowie als Grundlage für die Entwicklung von Züchtungsrichtlinien durch Öko-Anbauverbände dienen.

Grundlagenpapier zur ökologischen Pflanzenzüchtung
(basierend auf den Ergebnissen eines Experten-Workshops vom 2. März 2011 in Frankfurt am Main)

Die ökologische Pflanzenzüchtung ist eingebettet in das allgemeine Leitbild des ökologischen Landbaus. Gemäß der Internationalen Vereinigung biologischer Landbaubewegungen (IFOAM) tragen die Akteure im ökologischen Landbau Sorge zur Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit, fördern die genetische Vielfalt der Pflanzen, Tiere und anderer Lebewesen des Agrarökosystems, schonen natürliche Ressourcen und streben ein stabiles ökologisches Gleichgewicht an. Sie übernehmen soziale Verantwortung und setzen sich für Gerechtigkeit und Chancengleichheit ein. Im ökologischen Landbau gilt eine besondere Verantwortung für den Schutz der Umwelt und die Wahrung der Lebensgrundlagen der heutigen und zukünftigen Generationen (www.ifoam.org).

Die Kulturpflanzen bilden die Grundlage unserer Ernährung. Ihre züchterische Bearbeitung ist seit Tausenden von Jahren untrennbar mit unserer Kultur verbunden. Der Zugang der Landwirte zu Saat- und Pflanzgut einer großen Palette von standortangepassten Kulturarten und Sorten ist daher von überragender Bedeutung für unsere Zukunft. Genetische Diversität innerhalb und zwischen den Arten ermöglicht, dass sich Pflanzen an veränderte Umweltbedingungen anpassen und wir unsere Kulturpflanzen gemäß unseren Bedürfnissen züchterisch verbessern können.

In der Züchtung ist der Würde der Kreatur Rechnung zu tragen. Pflanzen besitzen wie alle Lebewesen einen Eigenwert, unabhängig von menschlichen Interessen. Die ökologische Pflanzenzüchtung respektiert die genetische Integrität einer Pflanze, deren Kreuzungsbarrieren und Regulationsprinzipien und verpflichtet sich, die Fortpflanzungsfähigkeit, die Eigenständigkeit und die Evolutionsfähigkeit der Kulturpflanzen zu wahren. Das bedeutet, dass bei der Auswahl der Sorten für den ökologischen Landbau nicht nur die Anbaueignung einer Sorte, sondern ebenso ihre züchterische Entwicklungsgeschichte zu berücksichtigen ist. Dies ist angesichts der Vielzahl an Züchtungsmethoden und Techniken, die heute eingesetzt werden, um Sorten für die Zukunft zu entwickeln, keine leichte Aufgabe.

Um Züchtungsmethoden und -techniken und daraus entwickelte Sorten in einem transparenten Prozess beurteilen zu können – und um entsprechende gesellschaftspolitische Signale zu setzen – wurden Kriterien definiert und in einer Rangfolge geordnet.

Ziele in der ökologischen Pflanzenzüchtung

- Die Zuchtziele sind abgestimmt auf die jeweilige Kulturart und die Bedürfnisse der gesamten Wertschöpfungskette (Produzenten, Verarbeiter und Konsumenten) des ökologischen Sektors. Die Zuchtziele sind ausgerichtet auf eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und berücksichtigen gleichzeitig das dynamische Gleichgewicht des gesamten Agroökosystems.
- Die ökologische Pflanzenzüchtung dient der nachhaltigen Ernährungssicherung, der Ernährungssouveränität, der Versorgungssicherheit pflanzlicher Produkte (z.B. Fasern, Heilmittel, Holz) und dem Gesamtwohl der Gesellschaft.
- Sie erhält und vermehrt die genetische Diversität unserer Kulturpflanzen und trägt so zur Förderung der Agrobiodiversität bei.
- Sie leistet einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung und Anpassung unserer Kulturpflanzen an zukünftige Anbaubedingungen (z.B. Klimawandel).

Ethische Kriterien

1. Respektierung des Genoms als unteilbare Einheit und Verzicht auf technisch-materielle Eingriffe in das Genom der Pflanze (z.B. durch die Übertragung von isolierter DNA, RNA, Proteine).
2. Respektierung der Zelle als unteilbare funktionelle Einheit und Verzicht auf technisch-materielle Eingriffe in eine isolierte Zelle auf künstlichem Medium (z.B. durch Abbau der Zellwand, Zerstörung des Zellkerns bei Cytoplastenfusionen).
3. Die Fähigkeit einer Sorte, sich auf artspezifische Weise fortzupflanzen, ist zu erhalten. Dies schließt den Verzicht auf Technologien ein, die die Keimfähigkeit bei samenvermehrten Kulturarten einschränken (z.B. Terminatortechnologie).
4. Eine Sorte muss für die Weiterzüchtung durch andere Züchter verwendet werden können. Das bedeutet einerseits, dass der Züchtervorbehalt juristisch gewährt und auf Patentierung verzichtet wird, und andererseits, dass die Kreuzbarkeit technisch nicht eingeschränkt wird (z.B. durch Nutzung von männlicher Sterilität ohne Restaurationsmöglichkeit).
5. Die Nutzung der genetischen Diversität erfolgt innerhalb der pflanzentypischen Kreuzungsbarrieren durch Verschmelzung von Eizelle und Pollen. Auf forcierte Hybridisierung von somatischen Zellen (z.B. durch Zellfusionen) wird verzichtet.
6. In Ergänzung zu den häufig verwendeten Hybriden sollen nachbaufähige Sorten gezüchtet werden, um den Landwirten die Wahlmöglichkeit zu geben, ihr eigenes Saatgut zu produzieren (Landwirteprivileg).
7. Die Prinzipien des ökologischen Landbaus (Gesundheit, Ökologie, Gerechtigkeit und Sorgfalt) gelten als Leitlinien für das züchterische Handeln.

Züchtungsstrategische Kriterien

8. Die Selektionsumwelten entsprechen der ökologischen Anbauweise, um den Wechselwirkungen der Pflanze mit ihrer Umwelt Rechnung zu tragen, den Selektionserfolg für diese Zielumwelten zu beschleunigen und von möglichen epigenetischen Effekten zu profitieren. Das bedeutet, dass die Pflanzenselektion unter ökologischen Anbaubedingungen durchgeführt wird.
9. Die phänotypische Selektion im Feld kann durch zusätzliche Selektionsmethoden ergänzt werden (z.B. Analyse von Inhaltsstoffen oder molekularen Markern für diagnostische Zwecke).

Sozioökonomische Kriterien

10. Der Austausch von genetischen Ressourcen wird gefördert. Auf jegliche Patentierung von Lebewesen, deren Metaboliten oder Gensequenzen wird verzichtet.
11. Der Züchtungsprozess, das Ausgangsmaterial (z.B. die verwendeten Kreuzungseltern, Ausgangspopulationen) und die eingesetzten Techniken werden offengelegt, um es den Produzenten und den Konsumenten zu erlauben, eine Sortenwahl gemäß ihren Wertevorstellungen zu treffen (z.B. klare Deklaration von Sorten aus Mutationszüchtung).
12. Partizipative Züchtungsprogramme unter Einbezug aller Beteiligten (Produzenten, Verarbeiter, Handel und Konsumenten) sind zu fördern.
13. Es wird eine Vielzahl von eigenständigen Zuchtprogrammen mit verschiedenen Kulturarten zur Erhöhung der Agrobiodiversität angestrebt.

Sortenwahl im ökologischen Landbau

Alle Sorten, deren Saatgut bzw. Pflanzgut unter ökologischen Bedingungen vermehrt wurde, sind momentan im ökologischen Landbau zugelassen, sofern sie nicht als gentechnisch veränderte Sorten deklariert sind (EG-ÖKO-BASISVERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007). Als Ausnahmeregelung sind ungebeizte, nicht ökologisch vermehrte Sorten zugelassen, wenn keine geeigneten Sorten aus ökologischer Vermehrung zur Verfügung stehen. Bei den Sorten können folgende Kategorien unterschieden werden:

Kat. I. Sorten aus konventioneller Pflanzenzüchtung mit Eignung für den ökologischen Landbau mit Ausnahme von gentechnisch veränderten Sorten (konventionelle Züchtung, ökologisch vermehrt ggf. ungebeizt, konventionell vermehrt),

Kat. II. Sorten aus Pflanzenzüchtungsprogrammen mit spezieller Ausrichtung der Zuchtziele oder Prüfumwelten für den ökologischen Landbau und Biosaatgutvermehrung (produktorientierte Züchtung für den ökologischen Landbau, ökologisch vermehrt) und

Kat. III. Sorten aus ökologischen Züchtungsprogrammen, die unter ökologischen Anbaubedingungen unter besonderer Berücksichtigung der oben erwähnten Kriterien gezüchtet werden (prozessorientierte ökologische Pflanzenzüchtung, ökologisch gezüchtet und vermehrt).

Entsprechend dem erzielten Minimalkonsens sind bei der Sortenwahl für den ökologischen Landbau solche Sorten auszuschließen, die mit Hilfe von Techniken gezüchtet wurden, die die Integrität des Genoms (z.B. transgene Pflanzen) oder die Integrität der Zelle (z.B. Cytoplastenfusion) verletzten. Damit Sorten aus Kategorie I und II im ökologischen Anbau in Zukunft Akzeptanz finden, sind die oben genannten Kriterien (insbesondere Kriterien 1–5) zu berücksichtigen. Die genannten Kriterien sind daher auch als Orientierungshilfe für Zuchtprogramme für den ökolgischen Landbau zu verstehen.

Momentan stehen dem ökologischen Landbau hauptsächlich Sorten aus konventioneller Pflanzenzüchtung zur Verfügung. Dieses Spektrum muss jedoch dringend ergänzt bzw. ersetzt werden, da bei einigen Kulturarten zunehmend gentechnische Methoden eingesetzt werden (Verletzung des 1. Kriteriums) wie z.B. bei Baumwolle, Soja, Mais oder ausschließlich mit männlich sterilen Hybriden basierend auf Cytoplastenfusion (Verletzung des 2. Kriteriums) weitergezüchtet wird, wie z.B. bei Brokkoli und Blumenkohl. Hier kommt es heute schon zu einer massiven Einschränkung bei der Sortenwahl für den ökologischen Landbau. Darüber hinaus führt die starke Monopolisierung auf dem Saatgutmarkt, die Konzentration der Züchtungsanstrengungen auf wenige Hauptkulturarten und die Dominanz von konventionell vermehrtem Saatgut zu einer weiteren Einengung des Sortenspektrums für den ökologischen Landbau. Saat- und Pflanzgut sind eine unserer wichtigsten Ressourcen. Daher ist es wichtig, dass Sorten der Kategorien II und III aktiv gefördert werden.

Dieses Grundlagenpapier wurde von Monika Messmer und Klaus-Peter Wilbois unter Mitwirkung der Workshop-Teilnehmer verfasst und am 28.10.2011 mit Mehrheitskonsens verabschiedet. Das Papier soll Transparenz schaffen für die Beurteilungskriterien von Züchtungstechniken und ist gedacht als Grundlage für weiterführende Diskussionen innerhalb der Verbände, aber auch für verbandsübergreifende Diskussionen auf nationaler und internationaler Ebene.

Das Projekt wurde unterstützt und gefördert von der Stiftung Mercator Schweiz.

Literaturliste

Arncken C., (2002). Züchtungsmethodik bei Getreide. In: Bundessortenamt (Hrsg.): Workshop Züchtung für den Ökolandbau am 10. und 11. Juni 2002 in Hannover. Kurzfassung der Vorträge und Stellungnahmen sowie Zusammenfassung der Ergebnisse. Bearbeitet von Dr. Joseph Steinberger. S. 26–28.

Arncken C., Thommen A. (2002). Biologische Pflanzenzüchtung – Beitrag zur Diskussion der Züchtungsstrategien im Ökolandbau [Organic plant breeding – Discussion paper on breeding strategies for organic farming]. Bericht über die 53. Tagung 2002 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, BAL Gumpenstein, 26.–28. Nov. 2002.

Arncken C., Dierauer, H. (2005). Hybridsorten im Bio-Getreide? Perspektiven und Akzeptanz der Hybridzüchtung für den Bio-Anbau [Hybrid species for organic cereals? Perspectives and acceptance of hybrid breeding for organic farming]. Schlussbericht, Juni 2005, Coop Naturaplan-Fonds Biosaatgutprojekt Modul 1.4, Anbautechnik Einjährige Kulturen, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-5070 Frick.

Billmann B., Arncken C., Koller M., Oehen B., Thommen A. (2008). Impacts of banning protoplast fusion on the range of varieties available for organic arable cropping and vegetable production – Auswirkungen des Verbots der Protoplastenfusion auf das Sortenspektrum im ökologischen Acker- und Gemüsebau. FiBL-Report, Research Institute of Organic Agriculture, FiBL, CH-Frick.

BMVEL (2002). Basisreader der Moderation zum Diskurs Grüne Gentechnik des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft – BMVEL. Eds. N. Heine, M. Heyer and T. Pickardt. p. 128.

Borgen A. (2009). Present and future system organization of organic plant breeding. In: 1st IFOAM Int. Conference on Organic Animal and Plant Breeding. Ed. A Zschoke. pp 253–255. IFOAM, Santa Fe, New Mexico, USA.

ECO-PB (2007). Proceedings of the ECO-PB International Workshop on different models to finance plant breeding. Eds. A Osman, K-J Müller and K-P Wilbois, Frankfurt, Germany.

ETCgroup (2011). Who will control the Green Economy? ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration), Ottawa, CA, 2011. www.etcgroup.org.

Harl, N.E. (2000). The age of contract agriculture: consequences of concentration in input supply. J. Agrib. 18, 115–128.

Haußmann B.I.G., Parzies H.K. (2009). Methodologies for generating variability. Part 1. Use of Genetic Resources in Plant Breeding. Chapter 5, Pages 107–128 in Participatory Plant Breeding (Ceccarelli S., Guimarães E.P., Weltzien E. and Rajendran P.G., eds.). FAO, Rome, Italy. ISBN: 9789251063828.

Howard P. (2009). Visualizing consolidation in the global seed industry: 1996–2008. Sustainability 1: 1266–1287.

IFOAM (2006). International Federation of Organic Agriculture Movement (IFOAM). The IFOAM norms for organic production and processing. Bonn: IFOAM.

Lammerts van Bueren E., Hulscher M., Haring M., Jongerden J., van Mansvelt J.D., den Nijs A.P.M. and Ruivenkamp G.T.P. (1999). Sustainable organic plant breeding; Final report: a vision, choices, consequences and steps. Louis Bolk Institute.

Lammerts van Bueren E.T., Wilbois K.-P. (2003). Organic Seed Production and Plant Breeding – Strategies, Problems and Perspectives. Proceedings of ECO-PB's 1st International Symposium on Organic Seed and Plant Breeding. Berlin, Germany 21–22 November 2002.

Lammerts van Bueren E.T., Wilbois K.-P., Østergård, H. (2007). European perspectives of organic plant breeding and seed production in a genomics era. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, Supplement 89: Organic Agriculture in the Tropics and Subtropics – Current Status and Perspectives.

Lammerts van Bueren E.T., Jones S.S., Tamm L., Murphy K.M., Myers J.R., Leifert C. and Messmer M.M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 580: 193–205.

Miedaner T. (2010). Grundlagen der Pflanzenzüchtung, DLG-Verlags-GmbH, ISBN 978-3-7690-0752-7

Oehen B., Thommen A. (2009). Workshop zu Züchtung und Züchtungstechniken. 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Zürich, 11.–13. Februar 2009.

Rajaram S., van Ginkel M.(2001). Mexico: 50 Years of International Wheat Breeding. In The World Wheat Book – A History of Wheat Breeding Lavoirsier Publishing Inc., Paris Cedex 08.

Scialabba N. (2007). Organic agriculture and food security (ftp://ftp.fao.org/paia/organicag/ofs/OFS-2007-5.pdf). FAO, Rome 3.–5. May 2007.

Srinivasan C.S. (2003). Concentration in ownership of plant variety rights: some implications for developing countries. Food Policy 28: 519–546.

Then Ch., Tippe R. (2009). Saatgut und Lebensmittel – Zunehmende Monopolisierung durch Patente und Marktkonzentration. www.no-patents-on-seeds.org.

Wilbois K-P. (2002). Prinzipien des ökologischen Landbaus und daraus abzuleitende Anforderungen an die Pflanzenzüchtung. Workshop: Züchtung für den Öko-Landbau, Hannover, 10.–11.06. 2002.

Wolfe M., Baresel J., Desclaux D., Goldringer I., Hoad S., Kovacs G., Löschenberger F., Miedaner T., Østergård H., Lammerts van Bueren E. (2008). Developments in breeding cereals for organic agriculture, Euphytica 163, 323–346.

Wyss E., Lammerts van Bueren E., Hulscher M., Haring M. (2001). Plant breeding techniques. An evaluation for organic plant breeding. FiBL Dossier No. 2. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick (ISBN 3-906081-13-3): 24pp.

Weiterführende Literatur

Grundlagen der Pflanzenzüchtung:

Miedaner T. (2010). Grundlagen der Pflanzenzüchtung. DLG-Verlags-GmbH, ISBN 978-3-7690-07527.

Becker H. (2011). Pflanzenzüchtung. 2. Auflage, Eugen Ulmer KG, ISBN 978-3-8001-2940-9.

Lammerts van Bueren, E.T., Myers, J.R. (2012). Organic Crop Breeding. John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-95858-2.

Wilbois K.-P., Wenzel K. (2011) Ökologisch-partizipative Pflanzenzüchtung. www.shop.fibl.org.

Ausführliche Informationen zur Beurteilung von Züchtungstechniken für den ökologischen Landbau finden Sie auf unserer Themen-Homepage www.fibl.org > Themen > Pflanzenzüchtung.

Impressum

Herausgeber:
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Ackerstraße, Postfach,
CH-5070 Frick
Tel. +41 (0)62 8657-272, Fax -273
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Postfach 90 01 63,
D-60441 Frankfurt a. M.
Tel. +49 (0)69 / 713 7699-0, Fax -9
info.deutschland@fibl.org, www.fibl.org

Seidengasse 33–35/13,
A-1070 Wien
Tel. +43 (0)1 9076313, Fax 313-20,
info.oesterreich@fibl.org, www.fibl.org

Autoren:
Monika Messmer, Klaus-Peter Wilbois, Chris Baier, Freya Schäfer, Christine Arncken, Dora Drexler und Isabell Hildermann (alle FiBL)

Bildnachweis:
Gabriela Brändle (Agroscope Reckenholz Tänikon): S. 14; Beat Ernst, Fotograf Basel: S. 32 (1); Uwe Geier (Goetheanum): S. 33; Michel Häring (Universität Amsterdam): S. 21; Monika Messmer: S. 1, 5, 46; Jan Valema (Vitalis Biologische Zaden BV): S. 13; Franco Weibel (FiBL): S. 32 (2); Robert Weller, Bottmingen/CH: S.2/3; 48

Redaktion:
Gilles Weidmann (FiBL)

Gestaltung:
Claudia Kirchgraber (FiBL)

ISBN 978-3-03736-218-1

FiBL-Best.-Nr.: 1200

Preis:
7.00 Euro bzw. CHF 9.00 inkl. MwSt.
(zuzüglich Versandkosten)

Das Dossier ist auch kostenlos abrufbar unter www.shop.fibl.org.

Alle in diesem Dossier enthaltenen Angaben wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und von ihnen sowie den beteiligten Verlagen mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch sind Fehler nicht völlig auszuschließen. Daher erfolgen alle Angaben usw. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie der Autoren oder des Verlags. Beide übernehmen deshalb keinerlei Verantwortung und Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten.

© FiBL

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung der Verlage unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

Gefördert von der Stiftung Mercator Schweiz und der Mahle Stiftung