

## Dossier zur Beschreibung und Beurteilung von Züchtungsmethoden für den ökologischen Landbau



**Monika Messmer**

Frick, den 28.09.2011

*Projekt:*

***Chancen und Potenziale verschiedener  
Züchtungsmethoden für den Ökolandbau***

*unterstützt und gefördert von der Stiftung Mercator Schweiz*

# Inhaltsverzeichnis

Seite

## 1. Erzeugung von genetischer Variation

### 1.1 Änderung der Geninformation via Mutation

- Spontane Mutationen 1
- Induzierte Mutationen 2
- Biologische Mutationsauslösung: Transposons 3
- Physikalische Mutationsauslösung 4
- Chemische Mutationsauslösung 6
- Tilling 7
- Gezielte Mutationsauslösung mittels Meganukleasen 9
- gezielte Mutation mittels Zinkfinger-Nukleasen (ZNF) 10
- gezielte Mutationsauslösung mittels Oligonukleotiden 12

### 1.2 Neukombination der Gene via Gentransfer

- Gentransfer mit zufälliger Integration ins Genom mit Beispielen 13
- Gentransfer mit zielgenauer Integration ins Genom 17
- Cisgenetik 18
- Indirekter Gentransfer via Agrobakterium 20
- Direkter Gentransfer via Partikelbeschuss 21
- Direkter Gentransfer via Endocytose 22
- Direkter Gentransfer via Mikroinjektion 23
- Plastidentransformation 24
- Transformation via Minichromosomen 25
- Synthetische Biologie 27

### 1.3 Änderung der Genexpression via epigenetischer Effekte

- Gene Silencing (RNA Interferenz (RNAi)) 28

### 1.4 Neukombination von Kern und Cytoplasmagene via Zellfusion

- Protoplastenfusion 30
- Cytoplastenfusion 32

### 1.5 Neukombination der Gene via Genommutation

- Polyploidisierung 34
- Erzeugung von Doppelthaploiden (DH-Linien) 35
- Reverse Breeding (Umkehrzüchtung) 38

### 1.6 Neukombination der Gene via Bestäubungslenkung

- Isolierung der Blüten 40
- Physische Kastration 41
- Chemische Kastration 42
- Selbstinkompatibilität 43
- Kerngenetische Sterilität 44
- Cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS) 45
- Gezielte Kreuzungen innerhalb einer Art 47
- Interspezifische Kreuzungen 49
- Pfropfen 51

	Seite
<b>2. Selektion</b>	
• Phänotypische Selektion im Feld	52
• Phänotypische Selektion unter kontrollierten Bedingungen	54
• in vitro Selektion	55
• Analytische/technologische Selektion	56
• Bildschaffende Methoden zur Selektion	57
• Organoleptische Selektion	58
• Marker-gestützte Selektion (MAS)	59
• Proteomics/Metabolomics	61
<b>3. Vermehrung</b>	
• Generative Vermehrung	63
• Stratifikation	65
• Vernalisation	66
• Vegetative Vermehrung	67
• Thermobehandlung	68
• in vitro Vermehrung (vegetative Vermehrung)	69
• Apomixis	71
<b>4. Sortentyp</b>	
• Klonsorten	72
• Liniensorten (Inzuchtlinien)	73
• Evolutionsramsche (composite cross populations)	74
• Popuationsorten	75
• Polycross-Sorten (Mehrkomponenten-Sorten)	76
• Hybriden	77
• Plus-Hybriden mit Xenieneffekt	79
<b>Glossar</b>	80

**Das Projekt wurde unterstützt und gefördert von der Stiftung Mercator Schweiz:**

**2009-0286: Moderne Züchtungsmethoden: Eine Chance für den ökologischen Landbau?**

Die Stiftung Mercator Schweiz setzt sich für den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen ein und dafür, dass mit ihnen bewusster und schonender umgegangen wird. Die Methoden und Produkte des Ökolandbaus dienen diesen Zielen.

Damit der Ökolandbau langfristig eine wirkungsvolle Alternative für die boden- und ressourcenschonende Nahrungsmittelproduktion ist, muss die Verfügbarkeit von Öko-Saatgut vergrößert werden. Durch den Einbezug moderner Züchtungsmethoden könnte die Entwicklung von Öko-Saatgut schneller und wirksamer erfolgen. Moderne Züchtungsmethoden können aber nur insoweit für den ökologischen Landbau genutzt werden, als ihre Eignung dafür sorgfältig geprüft und von den Landwirten wie auch von den Konsumenten akzeptiert wird. Deshalb ist eine umfassende Bewertung von neuen Züchtungsmethoden für den Ökolandbau von grosser Bedeutung.

Die Stiftung Mercator Schweiz fördert die Studie „Chancen und Potenziale verschiedener Züchtungsmethoden für den Ökolandbau“ des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL). Das Projekt hat die Bewertung moderner Züchtungstechniken wie bspw. in vitro Vermehrung oder Markertechnologie zum Ziel und schätzt deren Eignung für den ökologischen Landbau ein. Ziel ist es, Grundlagen für eine sachliche Diskussion und Entscheidungsfindung für den Ökolandbau zu schaffen.



<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Spontane Mutationen</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Mutationen; Zufällig im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	<p>Natürlich auftretende Mutationen sind die Grundvoraussetzung für die Evolution und Weiterentwicklung von Pflanzenarten. Sie entstehen durch Fehlpaarungen oder falsches Ablesen bei der Verdopplung der DNA bzw. durch Ausbleiben der Reparaturfunktion. Meistens handelt es sich dabei um sogenannte Punktmutationen, d.h. einzelne Basenpaare in der DNA Sequenz wurden ersetzt. Geschehen diese Mutationen in einer Genregion, die für die Merkmalsausprägung wichtig ist, können neue Merkmalsvarianten auftreten. Statistisch betrachtet, haben die meisten Mutationen negative Auswirkungen für die Pflanze, können aber unter bestimmten Umweltbedingungen oder für bestimmte Zielvorgaben des Menschen von Vorteil sein. Durch die Mutation kann die Genfunktion auch komplett verloren gehen, wodurch z.B. einzelne Stoffwechselabläufe gestört und bestimmte Inhaltsstoffe nicht mehr gebildet werden.</p>	
<b>Modifikationen:</b>	Unter Stressbedingungen kann sich die Mutationsrate erhöhen.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Die Evolution der Arten beruht auf spontanen Mutationen und der erhöhten Fortpflanzungsrate (Selektion) der am besten angepassten Pflanzen (Evolutionstheorie).	
<b>Hauptanwendungen:</b>	<p>Natürlich auftretende Mutationen haben sich Landwirte und Züchter schon seit Jahrtausenden zunutze gemacht, um die heutigen Kulturpflanzen zu entwickeln. Beispielsweise wurde die Entwicklung der Süßlupine als Futterpflanze erst möglich, als eine Mutante gefunden wurde, die keine Bitterstoffe produziert. Rapsöl war ursprünglich für den menschlichen Verzehr ungeeignet, bis eine Mutante entdeckt wurde, die keine Erucaensäure produziert.</p>	
<b>Beispiele:</b>	Süßlupine; 00-Raps	
<b>Chancen:</b>	Spontan auftretende Mutationen macht sich der Züchter zunutze, indem er eine grosse Anzahl von Zuchtmaterial, alten Landsorten und Genbankkassationen ganz gezielt auf die gewünschten Merkmale hin untersucht und diese dann in sein Zuchtmaterial einkreuzt.	
<b>Nachteile:</b>	Die Mutationsraten sind sehr niedrig und daher ist es sehr unwahrscheinlich, dass sich eine gute Sorte durch spontane Mutationen in dem gewünschten Zielmerkmal verbessert, ohne gleichzeitig sich in anderen Merkmalen zu verschlechtern.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Änderung der DNA Sequenz durch natürlich auftretene Reproduktionsfehler
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> kein Eingriff

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Induzierte Mutationen</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Mutationen; Zufällig im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Induzierte Mutationen erhöhen die natürliche Mutationsrate. Bei der Mutationszüchtung werden Samen oder Vegetationspunkte Röntgen- oder Neutronenstrahlen, Kälte- und Wärmeschocks oder anderen Mutagenen ausgesetzt, um neue Eigenschaften durch Mutation zu erzielen. Wenn die Mutation in somatischem Gewebe auftritt, sind nur die Pflanzenteile betroffen, die sich aus diesem Gewebe entwickeln und es kommt zur sogenannten Chimärenbildung. Tritt die Mutation in der Keimbahn (Pollen, Eizelle oder Embryo) auf, dann wird sie an die Nachkommen vererbt. Zur Identifizierung von stabilen Mutationen müssen die Nachkommenschaften geprüft werden. Nur ein sehr kleiner Teil der Mutanten ist erfolgsversprechend für die Weiterzucht, da die meisten Mutationen negative Auswirkungen haben und nur ganz wenige Mutanten das gewünschte Merkmal aufweisen. Die so mutierten Pflanzen müssen mit leistungsfähigen Zuchtlinien rückgekreuzt werden, um die neue, positive Eigenschaft in diese zu überführen. Man unterscheidet zwischen chemischer Mutagenese und physikalischer Mutagenese (siehe unten).	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Steigerung der natürlichen Mutationsrate.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Erzeugung neuer Eigenschaften, die im vorhandenen Genpool nicht oder sehr selten vorkommen.	
<b>Beispiele:</b>	Siehe unter biologischer, physikalischer und chemischer Mutationsauslösung	
<b>Chancen:</b>	Durch die erhöhte Mutationsrate wird die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden neuer wertvoller Eigenschaften verbessert und dadurch der Zuchtfortschritt beschleunigt.	
<b>Nachteile:</b>	Die Chancen, dass bei ungerichteten Mutationen neue positive Eigenschaften gefunden werden, sind gering, daher muss eine sehr grosse Anzahl an Nachkommen geprüft werden. Die optimale Methode für die Mutationsauslösung muss für jede Kulturart und jedes Gewebe ermittelt werden, damit nicht zuviele sublethale Nachkommen entstehen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Ionisierende Strahlung und die meist synthetisch hergestellten Mutagenen sind derzeit im Biolandbau nicht zugelassen und sollten nicht an der Keimbahn der Pflanzen (Eizelle, Pollen oder Embryo) angewendet werden. Es sollten nur solche Substanzen eingesetzt werden, die analog zur Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung bewilligt sind.	
<b>Bemerkungen:</b>	Mutationszüchtung unterliegt in Europa keiner gesetzlichen Regulierung oder Kennzeichnungspflicht. In Kanada müssen Sorten aus Mutationszüchtung spezielle Zulassungsverfahren durchlaufen.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Erhöhung der Mutationsrate
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Same/Knospe/Meristem/Zelle

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Biologische Mutationsauslösung: Transposons</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Punktmutation; Zufällig im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	<p>Transposons (auch springende Gene genannt) können ihre Position im Genom verändern, indem sie sich aus dem DNA Verbund herauslösen und an anderer Stelle wieder "hineinspringen". Sie verursachen permanentes oder temporäres Ausschalten einzelner Gene. Sie wurden 1949 von Barbara McClintock zuerst im Mais entdeckt, kommen aber auch in vielen anderen Pflanzen vor. Bei den Transposons handelt es sich um kurze DNA Sequenzen, die ein Gen für das Transposase-Enzym besitzen. Das Enzym ist verantwortlich dafür, dass die DNA bei einer bestimmten Erkennungssequenz ausgeschnitten wird und an einer anderen Stelle wieder ins Genom integriert wird. Diese Integration erfolgt zufällig und kann dazu führen, dass eine andere Gensequenz unterbrochen wird und somit ihre Funktion verliert. Wenn sich die Transposons wieder herauslösen, wird in der Regel auch das Gen wieder funktionsfähig. Die Aktivität der Transposons wird durch epigenetische Effekte reguliert und kann durch Umwelteinflüsse, z.B. Stress oder mutagene Substanzen erhöht werden. Transposons spielen eine wesentliche Rolle bei natürlich vorkommenden Mutationen. Transposons können ganz gezielt in Zuchtmatererial eingekreuzt werden, um die Mutationsrate zu erhöhen.</p>	
<b>Modifikationen:</b>	Transposons können über Artgrenzen hinweg via Gentransfer in Zuchtmaterail eingekreuzt werden.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Transposons wurden in vielen Pflanzen gefunden.	
<b>Haupt- anwendungen:</b>	<p>Das gezielte Einkreuzen von Transposons wird genutzt, um die Mutationsrate zu erhöhen (siehe spontane Mutationen).          Transposons sind ausserdem wichtige Hilfsmittel für die Zuordnung von Genfunktionen. Sie erlauben es den Forschern zu untersuchen, welche Funktionen ausfallen, wenn Transposons in bestimmte Gensequenzen integriert werden. In der modernen Biotechnologie werden Transposons zur Eliminierung von "Reportergenen" und zur gezielten Integration von DNA-Konstrukten eingesetzt.</p>	
<b>Beispiele:</b>	Gespränkelt-farbige Maiskörner; Erstellung einer Mutanten-Datenbank durch „transposon tagging“ bei der Pappel	
<b>Chancen:</b>	Das Einkreuzen von Transposons ist v.a. dafür geeignet, einzelne Merkmale auszuschalten.	
<b>Nachteile:</b>	Die Auswirkungen der Transposons sind nicht vorhersagbar und entstandene Mutationen können reversibel sein.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Aktivierte Transposons können in nachfolgenden Generationen andere substanziiell wichtige Gene ausschalten.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Erhöhung der Mutationsrate
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Physikalische Mutationsauslösung</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Chromosomenmutation; Zufällig im Genom</b>
<b>Beschreibung:</b>	Bei der physikalischen Mutagenese werden Pflanzenteile (Samen, Pollen, Knospen oder Knollen) oder ganze Pflanzen ionisierenden Strahlen ausgesetzt, um die Mutationsrate zu erhöhen. Zur ionisierenden Strahlung rechnet man alle Strahlungen, deren kinetische Energie (bei Teilchen) bzw. Quantenenergie (bei Wellen) ausreicht, um Elektronen aus einem Atom oder Molekül herauszulösen. Dies ist z.B. Alpha-, Beta- und Gammastrahlung radioaktiver Stoffe, Röntgenstrahlung und kurzwelligere Ultraviolettstrahlung. Ionisierende Strahlung tritt in geringer Dosis als natürliche Strahlenbelastung auf. Diese besteht unter anderem aus der kosmischen Strahlung und der Strahlung radioaktiver Stoffe, die natürlich in Erdkruste und Atmosphäre vorkommen. Durch ionisierende Strahlungen kommt es v.a. zu Chromosomenbrüchen. Diese begünstigen Chromosomenmutationen wie den Verlust eines Teilstücks (Deletion), den Einbau eines zusätzlichen Stückes (Insertion), die zusätzliche Verdopplung von Chromosomenstücken (Duplikation), das Verschieben eines Teilstücks (Translokation) und das umgekehrte Einbauen eines DNA-Stücks (Inversion). Die erhöhte UV-Strahlung im Gebirge führt ebenfalls zur erhöhten Mutationsraten. Andere physikalische Reize, wie Kälte- und Hitzeschocks können ebenfalls die Mutationsrate erhöhen, allerdings liegen hierzu wenig empirische Daten vor.
<b>Modifikationen:</b>	Die Mutationsrate kann auch durch andere physikalischen Reize, wie z.B. extreme Hitze, Kälte oder Wechseltemperaturen künstlich erhöht werden.
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Steigerung der natürlichen Mutationsrate.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Zahlreiche Pflanzenarten wurden seit 1965 laut Internationaler Atomenergiekommission (IAEA <a href="http://mvgs.iaea.org/">http://mvgs.iaea.org/</a> ) in zahllosen Experimenten mit Gammastrahlen (60Cobalt) oder schnellen Neutronen bestrahlt. Dieser Behandlung wurden praktisch alle Getreidearten inklusive Amaranth und Quinoa, viele Leguminosen und Gemüsearten wie Soja, Erdnuss, Kartoffeln, Tomaten, Yams, aber auch die wichtigsten Obstarten wie Zitrusfrüchte, Äpfel, Pfirsiche und Wein unterzogen. Bis heute wurden mit Hilfe der Mutationszüchtung über 1.800 neue Sorten auf den Markt gebracht. In Italien bedecken Hartweizen-Mutanten (für Nudeln) etwa 70 % der Durum-Anbaufläche. Praktisch alle in Zentraleuropa angebauten Gerstensorten (für Bier) haben in ihrem Erbgut Gene, die so in der Natur nicht vorkommen. Beim Reis kam die Mutationszüchtung auf 200 neue Varietäten, bei den Leguminosen auf 100 neue Sorten. In vielen Fällen wurde die Mutationszüchtung eingesetzt, um neue Resistenzen durch Mutationsauslösung zu generieren.
<b>Beispiele:</b>	Mehltauresistente Gerste; Kurzstrohige Getreidesorten; Verbesserte Malzqualität der Braugerste; Erhöhter Lysingehalt im Weizen; Halbblattlose Erbsen; Ackerbohnen mit terminierter Blüte
<b>Chancen:</b>	Einfache Methode um die Mutationsrate zu erhöhen, die meist an Samen angewendet wird.
<b>Nachteile:</b>	Für jede Kulturart muss die optimale Strahlendosis bestimmt werden. Durch Reorganisation der einzelnen Chromosomenbruchstücke können auch unerwünschte Effekte auftreten. Bei zu hoher Strahlendosis können alle Nachkommen absterben oder starke genetische Defekte aufweisen.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Der Einsatz von ionisierender Strahlung ist im Biolandbau nicht zugelassen. Bei sehr hoher Strahlendosis treten vermehrt Chromosomenbrüche auf, die zu grösseren Reorganisationen ganzer Chromosomenstücke führen und somit die Integrität des Genoms

	beeinträchtigen können.	
<b>Bemerkungen:</b>	Aufgrund zahlreicher Experimente, die seit den letzten 60 Jahren durchgeführt werden, sind unzählige Mutanten in über 170 verschiedenen Pflanzenarten erzeugt worden. Wieviele davon zur Weiterzüchtung verwendet wurden, lässt sich nicht mehr nachvollziehen, da keine Deklarationspflicht vorliegt. Die Zahl der heutigen Sorten, die Mutanten in ihrem Stammbaum aufweisen, dürfte allerdings beträchtlich sein.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Möglich	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Erhöhung der Mutationsrate
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Same/Knospe/Meristem/Zelle



<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Chemische Mutationsauslösung</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Punktmutation; Zufällig im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei der chemischen Mutagenese werden Samen, Wurzeln oder Organteile mit mutagenen Chemikalien behandelt. Eines der häufigsten Substanzen ist Ethylmethansulfonat (EMS), das v.a. Punktmutationen auslöst.	
<b>Modifikationen:</b>	Unter somaklonaler Variation versteht man meist unbeabsichtigte Mutationen, die durch die in vitro Kultur auf künstlichem Nährmedium induziert werden. Somaklonale Variation treten besonders häufig bei undifferenziertem Kallus-Gewebe oder in Zellsuspensionen auf. Eine Weiterentwicklung der klassischen Mutagenese ist die Tilling-Technik (siehe unten). Ebenfalls durch chemische Substanzen können sogenannte Genommutationen ausgelöst werden: z.B. bei der Polyploidisierung (siehe unten) wird das gesamte Genom vervielfältigt.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Steigerung der natürlichen Mutationsrate.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Zur Behandlung vielzelliger Pflanzenorgane (z.B. Samen, Knollen oder Steckling) geeignet. Einsatz v.a. in der Klonzüchtung (z.B. Zierpflanzen) oder bei Inzuchtlinien (z.B. Gerste, Weizen), wenn nur einzelne Merkmale einer Sorte verändert werden sollen.	
<b>Beispiele:</b>	Verzweigte Süßlupinen; Verbessertes Fettsäuremuster von Raps	
<b>Chancen:</b>	Wenn es darum geht, nur ein Merkmal zu verändern bzw. neue Merkmalsausprägungen angestrebt werden, sind chemische Mutagenzien, die Punktmutationen bewirken, oftmals effizienter als physikalische Bestrahlung, da die Chromosomenanordnung unverändert bleibt.	
<b>Nachteile:</b>	Viele Mutanten können phänotypisch erst in ingezüchteten Nachkommen identifiziert werden, so dass grosse Nachkommenzahlen auf die gewünschte genetische Veränderung untersucht werden müssen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Die meisten chemischen Mutagenzien sind derzeit im Biolandbau nicht zugelassen und sollten nicht an der Keimbahn der Pflanzen (Eizelle, Pollen oder Embryo) angewendet werden. Es sollten nur solche Substanzen eingesetzt werden, die analog zur Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung bewilligt sind.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Erhöhung der Mutationsrate
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Same/Knospe/Meristem/Zelle

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs-technik:</b>	<b>Tilling</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Punktmutation; Zufällig im Genom</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>Tilling (=Targeted induced local lesions in genomes) ist eine Weiterentwicklung der klassischen Mutagenese. Dabei 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 TILLING Technologie ermöglicht das Testen von vielen potenziellen Mutanten gleichzeitig im Hochdurchsatzverfahren und verzichtet bewusst auf gentechnische Eingriffe. Es können jedoch nur Mutationen in einem bekannten Stück DNA gefunden werden, das bereits sequenziert wurde. Die Behandlung der Pflanzen mit mutationsauslösenden Chemikalien erzeugen eine grosse Zahl von Punktmutationen im gesamten Genom. Daher müssen nicht nur die gewünschten Merkmale gefunden werden, sondern diese müssen in stabile Sorten überführt werden. In der Regel geschieht dies durch mehrfache Rückkreuzung mit Hochleistungssorten.</p> <p>Eine zusätzliche Anwendung besteht im Finden von sogenannten SNPs (Einzelnukleotid-Veränderungen), die als molekulare Marker für Genlokalisierungen und Verwandtschaftsanalysen verwendet werden können.</p>
<b>Modifikationen:</b>	Beim Eco-TILLING werden ebenfalls einzelne Genabschnitte nach genetischen Veränderungen untersucht. Es wird aber keine Mutagenese induziert, sondern man verwendet für das Screening eine grosse Kollektion von Zuchtmaterial und Genbankakzessionen, um darin die gewünschte Mutation d.h. das gewünschte Merkmal zu finden.
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Steigerung der natürlichen Mutationsrate kombiniert mit einem effizienteren Selektionssystem.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Das TILLING erlaubt die Erzeugung und das Auffinden neuer Merkmale ohne den Einsatz von Gentechnik. Beim TILLING werden die vorhandenen Gene durch Mutationsauslösung und anschliessende Selektion optimiert, um das gewünschte Merkmal zu erhalten. Dieser Methode wird ein grosses Potential zugeschrieben. Sie wird daher bei allen wichtigen Kulturpflanzen in der Züchtungsforschung angewendet. Mit Hilfe der Tilling Technologie wurde z.B. eine Kartoffel gezüchtet, in der das Gen inaktiviert ist, das Amylosestärke produziert. Diese Kartoffel ist somit vergleichbar zur gentechnisch hergestellten Sorte Amflora.
<b>Beispiele:</b>	Kartoffelsorte die nur Amylose produziert; Erhöhung der Salzresistenz von Tomaten und Mais; Glutenfreiheit von Weizen; Dürresistenz bei Hirse, Bananen, Reis und Soja; Mehltresistenz bei Gerste; Veränderte Haltbarkeit bei Raps, Kartoffel, Zuckerrübe und Erdbeeren; Erhöhung der genetischen Variation der Süßlupine
<b>Chancen:</b>	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. Der hohe Durchsatz erlaubt den Züchtern das Screening von einer grossen Anzahl an Genbankakzessionen oder induzierten Mutanten. Ausserdem können Mutationen identifiziert werden, ohne dass zuvor etwas über die Genfunktion bekannt ist. Man erhält ein grosses Spektrum an Nullallelen, bei denen ein Gen ausgeschaltet wird bzw. neue Allele, die zu neuen Merkmalsausprägungen führen können. TILLING ist daher eine wichtige Ergänzung zur Transposon-Technik und der DNA basierten Mutagenese zur Funktionsaufklärung von Genabschnitten in der Grundlagenforschung.
<b>Nachteile:</b>	Neuartige Merkmale, die auf neuen, artfremden Genen beruhen, wie z.B. die Insektenresistenz durch Bt-Gene des Bakteriums <i>Bacillus thuringiensis</i> sind nicht möglich.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des</b>	Die meisten chemischen Mutagenzien sind derzeit im Biolandbau nicht zugelassen und sollten nicht an der Keimbahn der Pflanzen (Eizelle, Pollen oder Embryo) angewendet

<b>Biolandbaus:</b>	werden. Es sollten nur solche Substanzen eingesetzt werden, die analog zur Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung bewilligt sind.	
<b>Bemerkungen:</b>	In der EU können durch TILLING erzeugte Pflanzen wie konventionell gezüchtete Sorten auf den Markt gebracht werden. In Kanada müssen sie aufgrund der induzierten Mutagenese einen speziellen Zulassungsprozess durchlaufen.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Erhöhung der Mutationsrate
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Same/Knospe/Meristem/Zelle

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gezielte Mutation mittels Meganukleasen</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Punktmutation; an definierter Stelle im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Meganukleasen sind Enzyme, die doppelsträngige DNA spalten können. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Nukleasen, die ganz bestimmte sehr kurze Gensequenzen (4 bis 10 Basenpaare) erkennen und spalten, können Meganukleasen Gensequenzen zwischen 12 und 40 Basenpaare erkennen, die meist nur einmal im Genom vorkommen. Genau an diesem Genort wird das Genom einmal geschnitten. Meganukleasen werden meist via Agrobakterium, Transfektion oder Elektroporation in den Zellkern transferiert.	
<b>Modifikationen:</b>	Um einen Strangbruch an einer gewünschten Sequenz im Genom auszulösen, können die Meganukleasen synthetisch modifiziert werden.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Meganukleasen konnten bisher aus verschiedenen Organismen (Bakterien, Pflanzen oder Tieren) isoliert werden.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Diese Methode ist im Moment noch im Forschungsstadium.	
<b>Beispiele:</b>		
<b>Chancen:</b>	Durch den Einsatz von Meganukleasen können DNA-Brüche an einer spezifischen Stelle im Genom ausgelöst werden und dort zu Mutationen führen.	
<b>Nachteile:</b>	Die Anzahl der natürlich isolierten Meganukleasen ist begrenzt. Daher wird versucht die Meganukleasen so zu verändern, dass benutzerdefinierte Schnittstellen kreiert werden können.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Der Transfer der artfremden Meganukleasen in den Zellkern könnte auch andere noch unbekannte Effekte auslösen.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Meganukleasen sind Proteine, die meist aus anderen Organismen gewonnen und synthetisch modifiziert wurden. Diese Fremdproteine werden mit technischem Aufwand in den Zellkern der Pflanzenzelle transferiert, dabei wird die Integrität der Zelle verletzt.	
<b>Bemerkungen:</b>	Diese Technik fällt nicht unter das Gentechnikgesetz, da keine isolierte DNA eingeführt wird.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Mutationsauslösung an einem spezifischen Genort
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gezielte Mutation mittels Zinkfinger-Nukleasen (ZFN)</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Punktmutation; an definierter Stelle im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Zinkfinger-Nukleasen sind aus verschiedenen Bausteinen synthetisch hergestellte Proteine. Zinkfinger-Domänen sind Bestandteile von regulatorischen Proteinen und bestehen aus 30 Aminosäuren, die sich an ein spezifisches DNA-Triplett anlagern. Nukleasen sind bakterielle Enzyme, die die DNA Doppelhelix spalten können. Durch die Kopplung mehrerer Zinkfinger-Domänen mit den Nukleasen können ganz gezielt an einer bestimmten Stelle im Genom die DNA-Doppelstränge geschnitten werden. Durch anschliessende pflanzeigene Reparaturmechanismen kann es 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. Es wird daran gearbeitet diese Proteine via Diffusion bzw. aktive Transportmechanismen direkt in die Pflanzenzellen einzuschleusen.	
<b>Modifikationen:</b>	Zinkfinger-Nukleasen können zusätzlich mit kurzen isolierten DNA-Sequenzen (Oligonukleotide) gekoppelt werden, die nach dem Doppelstrangbruch als Vorlage dienen und so die Gensequenz gezielt ausgetauscht werden kann (siehe gezielte Mutationsauslösung via Oligonukleotide). Werden Zinkfinger-Nukleasen mit grösseren funktionsfähigen Genkonstrukten (Fremdgen) gekoppelt, wird dieses Fremdgen an genau der Stelle im Genom eingebaut, wo die Zinkfinger an die DNA anlagern. Dadurch soll die Effizienz des Gentransfers erhöht werden und gleichzeitig unerwünschte Positionseffekte verhindert werden (siehe Gentransfer mit zielgerichteter Integration).	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Zinkfinger sind Bestandteil von regulatorischen Proteinen, die Kopplung mit bakteriellen Nukleasen ist jedoch eine Neukombination von funktionellen Proteinen.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Es gibt bereits erste Anwendungen in der Pflanzenzüchtung. Neben der reinen Mutationsauslösung durch den Reparaturmechanismus, werden den ZFN vor allem in Kombination mit isolierten Genkonstrukten ein grosses Potential für den zielgerichteten Gentransfer zugesprochen (siehe unten).	
<b>Beispiele:</b>	Erste Versuche sind bereits bei Tomaten, Mais, Soja, Reis und anderen wichtigen Nahrungspflanzen unternommen worden.	
<b>Chancen:</b>	Der Einsatz von Zinkfinger-Nukleasen ermöglicht spezifische DNA-Strangbrüche, die zu Mutation z.B. das gezielte Ausschalten der Genexpression von unerwünschten Eigenschaften eines spezifischen Gens führen. 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.	
<b>Nachteile:</b>	Es ist ein Transfer der synthetisch hergestellten Zinkfinger-Nukleasen in die Zelle nötig.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Der Transfer der synthetisch hergestellten Zinkfinger-Nukleasen in den Zellkern könnte auch andere noch unbekannte Effekte auslösen.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Die Zinkfinger-Nukleasen sind synthetisch hergestellte Proteine, die so in der Natur nicht vorkommen. Diese Zinkfinger-Nukleasen werden mit technischem Aufwand in den Zellkern der Pflanzenzelle transferiert, dabei wird die Integrität der Zelle verletzt.	
<b>Bemerkungen:</b>	Diese Technik fällt nicht unter das Gentechnikgesetz, da keine isolierte DNA eingeführt wird.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Mutationsauslösung an einem spezifischen Genort
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen</b>	Nein	

<b>Weiterentwicklung:</b>		
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gezielte Mutationsauslösung mittels Oligonukleotiden</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Geninformation; Punktmutation; an definierter Stelle im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	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. Dabei wird zuerst eine kurze DNA oder RNA Sequenz, ein sogenanntes Oligonukleotid mit einer Länge von 20 bis 100 Basen, synthetisch hergestellt, das die gewünschte Punktmutation beinhaltet. Dieses Oligonukleotid wird in die Zelle eingeschleust (z.B. durch Elektroporation oder Polyethylenglycol (PEG) Behandlung von Protoplasten oder Partikelbeschuss) und dient als Vorlage für die zu erzeugende Punktmutation in der DNA der Pflanze. Die Vorlage selbst wird in der Zelle abgebaut.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Gezielte Veränderung einer bekannter Gensequenzen zur Verbesserung eines Merkmals.	
<b>Beispiele:</b>	Neue Resistenz in Gerste (mlo-Mutante) gegen ein breites Spektrum von Mehltaurassen ist in der Forschungsphase.	
<b>Chancen:</b>	Die Erfolgchancen 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.	
<b>Nachteile:</b>	Es ist der Transfer von isolierten synthetisch hergestellten DNA Sequenzen (Oligomere) in den Zellkern nötig.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Es könnten auch andere Genorte mit den Oligomeren interagieren und zu noch unbekanntem Effekten führen.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Es werden mittels technischer Eingriffe isolierte DNA Sequenzen in den Zellkern gebracht und somit die Integrität der Zelle als funktionelle Einheit verletzt.	
<b>Bemerkungen:</b>	Es wird auf EU Ebene diskutiert, ob diese Technik unter das Gentechnikgesetz fällt. Es wird argumentiert, dass die kurzen Oligonukleotiden keine rekombinierte DNA darstellen und die Technik wesentlich vorhersehbarer ist als die ungerichtete Mutationsauslösung. In den fertigen Sorten kann die Anwendung von dieser Technik nicht nachgewiesen werden.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Gezielte Veränderung an einem spezifischen Genort
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gentransfer mit zufälliger Integration ins Genom mit Beispielen aus verschiedenen Anwendungsbereichen</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer; Zufällig im Genom</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>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 (siehe unten). Bei direkten Methoden wird das Genkonstrukt unmittelbar in die Zelle eingeschleust. Bei den indirekten Methoden nutzt man sehr häufig das Prinzip von <i>Agrobacterium tumefaciens</i> (siehe Indirekter Gentransfer via Agrobacterium), um das Genkonstrukt zu übertragen. 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 Pflanzelle) 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 aufwendig auf ihre agronomischen Eigenschaften geprüft werden. Oftmals müssen mehrere Rückkreuzungen mit dem aktuellen Zuchtmaterial erfolgen, bis die transgenen Pflanzen die Marktreife erreichen können. Es können einzelne oder mehrere Gene gleichzeitig (Gene stacking) übertragen werden, so dass z.B. eine transgene Maissorte ein Herbizidresistenzgen und mehrere Bt Gene gegen verschiedene Schädlinge besitzt.</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Neben dem Transfer von Genen, die neue Eigenschaften hervorbringen, können durch den Einbau von DNA-Konstrukten in umgekehrter Orientierung auch vorhandene Gene ausgeschaltet werden. Bei der Expression des Transgens entsteht dann eine antisense-mRNA, die sich mit der ursprünglichen mRNA paart und so die Translation verhindert (Antisense-Technik). Wesentlich effizienter für die Unterdrückung der Genexpression ist jedoch die RNAi Technik bzw. die gerichtete Mutationsauslösung.</p> <p>Die Nutzung des Genkonstrukts durch Dritte kann limitiert werden durch die sogenannte <b>Terminator-Technologie (V-GURT)</b>, die verhindert, dass transgene Pflanzen keimfähige Samen ausbilden bzw. durch die <b>T-GURT Technologie</b>, bei der das Transgen erst bei Anwendung einer bestimmten Chemikalie aktiviert wird.</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	<p>Horizontaler Gentransfer (nicht sexueller Austausch von Erbinformation) über Artgrenzen hinweg wird bei Bakterien (<i>Agrobacterium</i>) oder Viren beschrieben, die z.B. ihre Gene in die Pflanze einschleusen. Ein horizontaler Gentransfer bei pflanzenassoziierten Bakterien dient möglicherweise dazu, die im Habitat verfügbare genetische Information aufzunehmen und so zu kombinieren, dass die Bakterien besser mit dem Pflanzenwirt interagieren können. Das pflanzenpathogene Bakterium <i>Agrobacterium tumefaciens</i> ist bekannt für natürlichen Gentransfer. Dabei werden tumorinduzierende Gene des Bakterienplasmids, die sogenannte T-DNA, in die Pflanzenzellen übertragen und dort in das Genom integriert und exprimiert. So sichert sich das Bakterium seine optimalen Lebensbedingungen innerhalb der Wirtszellen.</p>
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Bisher wird der Gentransfer v.a. angewendet, um neue Merkmale, die monogen vererbt werden, aus einer anderen Art in das Zuchtmaterial zu integrieren. Wichtigste



	<p>Anwendungsgebiete in der "Grünen Gentechnik" sind die Übertragung von agronomisch wichtigen Merkmalen (z.B. Herbizidtoleranz, Resistenzen gegen Pathogene und Schädlinge, Stresstoleranz), von Qualitäts-Merkmalen (z.B. Haltbarkeit, Inhaltsstoffzusammensetzung) und von Züchtungs-relevanten Merkmalen (z.B. männliche Sterilität oder Frühreifegene beim Apfel). Ausserdem werden gentechnische Methoden eingesetzt, um mithilfe transgener Pflanzen neue Rohstoffe für die Industrie (weisse Gentechnik) bzw. für die Medizin/Pharmazie (rote Gentechnik) zu produzieren sowie für die Entgiftung von Böden oder als Umweltsensoren (graue oder braune Gentechnik).</p>
<b>Beispiele:</b>	<p><b>Herbizidresistenz</b> (z.B. bei Mais, Soja, Weizen, Raps, Zuckerrübe, Luzerne, Baumwolle): Breitbandherbizide hemmen lebenswichtige Enzyme der Pflanzen und führen so zu deren Absterben. Das eingeführte Transgen kann den Wirkstoff des Herbizids (z.B. Glyphosat in Round up oder Glufosinat in Basta, Liberty) abbauen und so unschädlich machen. Daher ist die transgene Pflanze resistent, während alle anderen Pflanzen absterben.</p> <p><b>Schädlingsresistenz</b> (Bt-Mais, -Baumwolle, -Soja, -Kartoffel, -Tomate): Aus dem Bakterium <i>Bacillus thuringiensis</i> wird ein Gen, das für die Bildung eines bestimmten Bt-Toxins verantwortlich ist, auf die Kulturpflanze übertragen. Diese Toxine werden im Biolandbau häufig eingesetzt und wirken sehr selektiv gegen Schmetterlingsraupen und einige Nematoden. Die transgenen Pflanzen produzieren selbst dieses Toxin und sind somit resistent gegen diese Insektengruppe.</p> <p><b>Virusresistenz</b> (z.B. bei Kartoffel, Tomate, Zuckerrübe, Raps, Maniok): Um Virusresistenz zu erreichen, überträgt man Gene, die für die Bildung des Virus-Hüllproteins verantwortlich sind, auf die Kulturpflanzen. Transgene Pflanzen synthetisieren das Hüllprotein und lösen dadurch eine Immunreaktion aus, die die Pflanze vor der Infektion mit aktiven Viren schützt (Präimmunisierung). Ebenso können Gene übertragen werden, die Stoffwechselprodukte mit antiviraler Wirkung synthetisieren oder die Vermehrung der Viren in der Pflanzenzelle unterbinden können.</p> <p><b>Veränderte Inhaltsstoffzusammensetzung</b> (z.B. Lagerfähigkeit der Tomate, FlavrSavr, Reis Provit A, Fettsäuremuster der Soja, Stärkezusammensetzung der Kartoffel): Durch Übertragung von Genen, die einzelne Stoffwechselschritte blockieren, kann die Bildung unerwünschter Inhaltsstoffe verhindert werden. Durch die Transformation mit zusätzlichen Kopien von Genen kann die Konzentration der erwünschten Inhaltsstoffe erhöht werden (Überexpression). Ebenso kann durch Transformation mit Genen aus anderen Arten die Bildung ganz neuer Inhaltsstoffe erreicht werden.</p> <p><b>Männliche Sterilität</b> (z.B. bei Raps): Erzeugt wird die männliche Sterilität durch die Übertragung des Barnase-Gens, das mit Hilfe eines entsprechenden Promotors nur in den Pollen exprimiert wird. Barnase ist ein Enzym, das die RNA zerschneidet und zum Absterben der Pollen führt. Die dadurch entstandene männlich sterile Pflanze wird mit einer Vaterpflanze bestäubt, die ein Transgen für Barstar enthält. Barstar ist ein RNase-Inhibitor, der die Wirkung der Barnase hemmt. So entstehen Hybriden, die zwar Barnase aber auch Barstar enthalten und daher wieder normal männlich fertil sind.</p> <p><b>Frühreifegene</b> (z.B. Apfel): In der Züchtung von mehrjährigen Kulturen werden Gene übertragen, die schon im ersten Jahr eine Fruchtbildung auslösen, damit früher auf Fruchteigenschaften selektiert werden kann. Diese Transgene werden im Züchtungsprozess wieder ausgekreuzt, damit das Endprodukt selbst kein Transgen mehr enthält und nicht unter die strengen Freisetzungsaufgaben fällt.</p> <p><b>Pilzresistenzen</b> (Mehltauresistenz bei Weizen): Übertragung von Resistenzgenen aus Wildarten auf die Kulturpflanze. Dazu müssen jedoch die einzelnen Resistenzquellen zuerst identifiziert und anschliessend die Gene isoliert werden.</p> <p><b>Resistenzen gegen abiotischen Stress</b> (Trockenstressresistenz bei Mais): Es wird versucht, durch eine Antisense Strategie die unerwünschten Reaktionen der Pflanze auf Stress zu unterdrücken, oder Gene von anderen Organismen (z.B. Bakterien) einzubauen, die an entsprechenden Stresstandorten ihre ökologische Nische gefunden haben.</p> <p>siehe auch: <a href="http://www.transgen.de/datenbank/pflanzen/">http://www.transgen.de/datenbank/pflanzen/</a></p>
<b>Chancen:</b>	<p>Durch den Gentransfer können Merkmale über Artgrenzen hinweg übertragen werden. So wird das Bt Gen aus dem Bakterien <i>Bacillus thuringiensis</i> auf Mais, Baumwolle, Soja etc. übertragen, um die Pflanzen vor Insektenfrass zu schützen.</p>
<b>Nachteile:</b>	<p>Gentechnische Methoden benötigen einen hohen Investitionsaufwand. Bis vor kurzem war die Identifizierung von agronomisch wichtigen Genen und deren Isolierung aus Pflanzen sehr schwierig und arbeitsaufwendig. Durch die Sequenzierung ganzer Pflanzengenome und die Chiptechnologie, zur Untersuchung der differentiellen Genexpression in den</p>

	<p>unterschiedlichen Genotypen und Entwicklungsstadien, hat die Kenntnis der Genfunktionen in den letzten 10 Jahren rasant zugenommen. Für jede Kulturart muss jedoch ein eigenes Transformationsprotokoll entwickelt werden. Die Regeneration von transformierten Einzelzellen oder Zellgewebe zu ganzen Organismen ist stark von der Kulturart und dem jeweiligen Genotyp abhängig. Solange die Integration des Transgens zufällig geschieht, ist mit Positionseffekten zu rechnen. Die Anzahl der Genkonstrukte, die stabil in das Pflanzengenom integriert wird, ist sehr variabel. Darüberhinaus kann selbst bei stabilem Einbau des Transgens dessen Expression durch epigenetische Effekte unterdrückt werden. Daher müssen eine grosse Anzahl Transformanden erstellt werden und daraus die besten selektiert werden. Dasselbe Konstrukt wird so oft als möglich in die verschiedensten Sorten eingekreuzt, um den Investitionsaufwand zu amortisieren. Daher ist z.B. die Gefahr für einen Resistenzdurchbruch beim grossflächigem Anbau desselben Resistenzgenkonstrukts sehr gross. Bisher können nur einzelne monogen vererbte Merkmale durch die Gentechnik bearbeitet werden. Die übergeordnete Steuerung der Genexpression (Epigenetik) eines Genoms wird bisher wenig berücksichtigt, da zu komplex bzw. noch zu wenig bekannt.</p>	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	<p>Auskreuzung von Herbizidtoleranz auf Wildarten können bisherige Herbizide unwirksam werden lassen. Beim grossflächigen Einsatz einzelner Gene besteht die Gefahr der Resistenzbildung, so könnten Bt-Toxine, die kurativ im Biolandbau eingesetzt werden, unwirksam werden. Es besteht v.a. bei grossflächigem Anbau und konstitutiver Expression der neuen Gene das Risiko von Nebenwirkungen auf Nichtzielorganismen. Die Gefahr der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Freisetzung von Allergenen und toxischen Inhaltsstoffen ist v.a. bei artübergreifendem Gentransfer zur Rohstoffgewinnung für Industrie und Pharmazie zu berücksichtigen. Durch den zufälligen Einbau der neuen Genkonstrukte muss mit unerwarteten Effekten gerechnet werden. Die jetzigen transgenen Sorten fördern die Abhängigkeit von firmeneigenen Pflanzenschutzmitteln (Saatgut und Herbizid nur noch als Paket). Die Genkonstrukte werden in der Regel patentrechtlich geschützt, so dass es den Züchtern nicht mehr erlaubt ist, mit transgenen Sorten weiter zu züchten. Diese Einschränkung des Züchterprivilegs schränkt den freien Austausch genetischer Ressourcen stark ein und fördert die Monopolbildung auf dem Saatgutmarkt und führt dadurch zum Verlust an genetischer Diversität.</p>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	<p>Störung der Integrität des Pflanzengenoms - Überschreitung der Kreuzungsbarrieren - Auskreuzungspotential und Problematik der Koexistenz in kleinräumigen Strukturen - Akzeptanzproblem bei Konsumenten - Reduktion der Pflanze auf DNA Bausteine - wird fast immer patentiert (unterbindet Weiterzucht und Nachbau) - unterstützt indirekt Monopolbildung im Saatgutmarkt und damit Abhängigkeit der Landwirte von wenigen Grosskonzernen - Verlust der Lebensmittelsouveränität - starke Ausrichtung auf industriellen grossflächigen Landwirtschaft - mittelfristig Verlust an genetischer Diversität - grosser Bedarf an öffentlichen Finanzmitteln, die andernorts fehlen. Der Biosektor fordert freien Zugang zu genetischen Ressourcen und Patentverbot von Lebewesen.</p>	
<b>Bemerkungen:</b>	<p>Aufgrund der aufwendigen Technik wird der Gentransfer eines neuen Konstrukts meist nur einmal durchgeführt. Nach erfolgreicher Übertragung des Genkonstrukts werden die transgenen Pflanzen als Kreuzungselter benutzt. Dadurch kann innerhalb kurzer Zeit das Merkmal schnell in das gesamte Zuchtmaterial integriert werden. Die starke Fokussierung auf die Verbesserung weniger Kulturpflanzen und einzelner Gene mittels gentechnischer Methoden führt dazu, dass konventionelle Züchtung zu wenig Beachtung findet, obwohl eine Pflanze aus über 20.000 Genen besteht, die optimiert werden müssen. Es stellt sich die Frage, ob bei demselben finanziellen Aufwand die konventionelle Pflanzenzüchtung durch effiziente phänotypische Beurteilung der Pflanzen nicht zu einem grösseren Zuchtfortschritt in einer grösseren Anzahl von Kulturarten geführt hätte.</p>	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird an zufälliger Stelle in das Genom der Pflanze eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	

<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA
--	---------------------	---------------------------------

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gentransfer mit zielgerichtete Integration ins Genom</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer; an definierter Stelle im Genom</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Durch die Kopplung der isolierten DNA mit sogenannten Zinkfinger-Nukleasen (siehe oben) kann ein Genkonstrukt an einer ganz bestimmten Stelle im Pflanzengenom integriert werden. Die Zinkfinger-Domäne besitzt eine DNA-Bindungsstelle und findet die spezifische Sequenz im Genom, die Nuklease führt einen DNA-Doppelstrangbruch durch, der den Einbau des Genkonstrukts an dieser Stelle ermöglicht. Durch diese homologe Rekombination kann das Transgen das endogene Gen ersetzen. Dies erlaubt eine ganz gezielte Manipulation der DNA Sequenz.	
<b>Modifikationen:</b>	Anstelle der Zinkfinger-Nukleasen können auch Meganukleasen mit einem Genkonstrukt gekoppelt werden. Meganukleasen erkennen spezifische Gensequenzen von 12 bis 40 Basenpaaren, die meist nur einmal im Genom vorkommen, und spalten an dieser Stelle die doppelsträngige DNA. Dort wird dann das Genkonstrukt integriert.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Diese Technik ist eine Weiterentwicklung des Gentransfers und ermöglicht eine präzise Integration der Genkonstrukte. Unerwünschte Positionseffekte können dadurch reduziert werden.	
<b>Beispiele:</b>	Diese Methode wird bereits bei den wichtigen Kulturarten wie Mais, Soja etc. eingesetzt	
<b>Chancen:</b>	Die gezielte Integration des Genkonstrukts an einer vorausbestimmten Stelle des Genoms führt zu einer zuverlässigeren Genexpression. Die Gefahr, dass es zum Unterbruch einzelner Gene kommt sowie zur Änderung der Genexpression benachbarter Gene oder sonstiger Positionseffekte, ist minimiert.	
<b>Nachteile:</b>		
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration. Das Risiko von Positionseffekten ist jedoch deutlich reduziert.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird an definierter Stelle in das Genom der Pflanze eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Cisgenetik</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	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. selben Gattung stammen und daher keine natürlichen Kreuzungsbarrieren überschritten werden. Bei dem Gentransfer mittels Agrobakterien dürfen auch keine Bakterien-eigene T-DNA Sequenzen mitübertragen werden.	
<b>Modifikationen:</b>	Während bei der Cisgenetik das zu übertragende Genkonstrukt zusammenhängend und unverändert ist wie bei der Pflanze, aus der sie isoliert wurde, werden bei der Intragenetik die pflanzeigenen Gene und Regulationselemente vor dem Gentransfer neu kombiniert, so dass die Genexpression besser gesteuert bzw. ausgeschaltet werden kann.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Diese Methode findet v.a. bei vegetativ vermehrten Kulturarten Anwendung, 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.	
<b>Beispiele:</b>	Schorfresistente Apfelsorten; Kartoffelsorten, die bei der Verarbeitung weniger Acrylamid bilden.	
<b>Chancen:</b>	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. Die Introgression von Genen einer Wildformen in die Kulturpflanzen ist prinzipiell auch durch Kreuzung möglich, allerdings müssen anschliessend meist 4-5 Rückkreuzungen mit der Kulturpflanze erfolgen, damit das Ertragsniveau wieder auf dem ursprünglichen Zustand ist. Dies ist bei mehrjährigen Kulturarten wie z.B. dem Apfel sehr zeitaufwendig. Stammt das Gen aus einer Wildart ist die Austauschrate (Crossover-events) meist unterdrückt, so dass das Zielgen durch Rückkreuzung nicht immer von den unerwünschten Genen der Wildart, die auf dem selben Chromosomenarm liegen, getrennt werden kann. Dies ist dann in der konventionellen Rückkreuzungszüchtung oft mit Ertrags- oder Qualitätseinbußen verbunden.	
<b>Nachteile:</b>	aufwendige Technik	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Das Genkonstrukt wird (in der Regel) bezüglich seinem Integrationsort zufällig eingebaut und kann deshalb, je nachdem wo es eingebaut wird, zu unerwarteten Effekten (sog. Positioneffekte) führen. Entscheidend für das toxische, allergene oder invasive Potenzial der cisgenen Pflanzen ist nicht nur die Herkunft der eingeführten Gensequenz, sondern vor allem, welche Eigenschaften mit dem Gentransfer übertragen werden.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Auch bei cisgenen Pflanzen wird durch den Gentransfer direkt in die intakte DNA einer Pflanze eingegriffen und die Integrität des Kerngenoms gestört.	
<b>Bemerkungen:</b>	Momentan fallen cisgene Pflanzen unter das Gentechnikgesetz. Es wird zur Zeit diskutiert, ob die Zulassung von cisgenen Pflanzen nicht wesentlich vereinfacht werden soll bzw. gar nicht mehr unter das Gentechnikgesetz fallen soll, da keine fremden Gene übertragen werden und daher das Risiko mit herkömmlicher Züchtung vergleichbar sei.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird in das Genom der Pflanze eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	

<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Indirekter Gentransfer via Agrobakterium</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Man nutzt die Eigenschaft des Bakteriums <i>Agrobacterium tumefaciens</i> , das seine ringförmige Plasmid-DNA (Tumor induzierendes Plasmid =Ti-Plasmid) in die Pflanzenzelle einschleusen kann und so die Pflanzen dazubringt, Wurzelhalsgallen zu produzieren. Ein Teil des Ti-Plasmids wird durch das gewünschte Genkonstrukt ersetzt. Mit dem transformierten Bakterium werden anschliessend die Pflanzenzellen (z.B. Blüten, Internodien, Blattkulturen) infiziert. Ein Teil des Plasmids, die T-DNA mit dem Zielgen, wird in die chromosomale DNA der Pflanze integriert.	
<b>Modifikationen:</b>	Unter Agroinfiltration versteht man, wenn Pflanzenorgane (z.B. Blattgewebe) mit gentechnisch veränderten Agrobakterien die in einer Lösung infiltriert werden. Die Pflanzenorgane werden infiziert, nehmen temporär das Gen in die Zelle auf und exprimieren das entsprechende Protein. Es handelt sich hierbei um einen transienten und lokal begrenzten Gentransfer ausserhalb der Keimbahn, der nicht an Nachkommen vererbt wird.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Das Agrobakterium ist durch sein Ti-Plasmid dazu in der Lage, Teile seiner DNA stabil in die Pflanzenzelle zu integrieren und zu exprimieren.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Diese Methode funktioniert sehr gut bei zweikeimblättrigen Pflanzen wie Tabak, Raps, Soja, Baumwolle.	
<b>Beispiele:</b>	Gentransfer bei Kartoffel	
<b>Chancen:</b>	Bakterien-Plasmide können sehr einfach transformiert werden. Durch die Infektion der Bakterien, wird die Fremd-DNA in den Zellkern transportiert und in die chromosomale DNA eingebaut, ohne dass man zuvor Einzelzellen oder Protoplasten isolieren muss.	
<b>Nachteile:</b>	Die Bakterien können nicht alle Pflanzenarten gleich gut infizieren. Vor allem einkeimblättrige Pflanzen, wie Weizen, Mais und Reis sind normalerweise keine Wirtspflanzen des Bakteriums.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird zuerst in Bakterien-Plasmid eingebaut und mithilfe des Bakteriums in das Pflanzengenom eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Direkter Gentransfer via Partikelbeschuss</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Beim Partikelbeschuss werden einzelne Pflanzenzellen mit DNA-beschichteten Mikropartikeln beschossen. Dabei werden winzige Wolfram- oder Goldkügelchen mit dem Genkonstrukt beschichtet. Diese Partikel werden mittels Druckluft auf eine Zellsuspension oder auf Pflanzenkalli geschossen und gelangen so in die Zelle. Ein geringer Teil der Zellen integriert das Genkonstrukt in ihre chromosomale DNA. Allerdings ist die Erfolgsrate einer stabilen Einbaus von Fremd-DNA sehr gering. Andere Bezeichnungen dieser Technik sind Mikrobombardment, Biolistik, oder particle gun („Genkanone“).	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Diese Methode wird vor allem bei einkeimblättrigen Getreidearten wie Mais, Weizen und Reis angewendet, die nicht mittels Agrobakterien transformiert werden können	
<b>Beispiele:</b>	Gentransfer bei Mais, Weizen, Reis	
<b>Chancen:</b>	Diese Methode kann bei allen Pflanzenarten eingesetzt werden.	
<b>Nachteile:</b>	Der Beschuss mit Fremd-DNA führt sehr selten zu einer Integration in die chromosomale DNA. Die Erfolgsrate eines stabilen Gentransfers ist sehr klein und wesentlich geringer als bei der Agrobakterium-Methode. Es werden sehr effiziente Reporter-Systeme benötigt, die es ermöglichen, die stabilen Transformanten zu identifizieren.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird mithilfe von neutralen Trägersubstanzen direkt in die Zelle katapultiert und in das Pflanzengenom eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA



<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Direkter Gentransfer via Endocytose</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Aus Pflanzengewebe werden zuerst Protoplasten-Suspensionen erstellt, d.h. omnipotente Einzelzellen mit Zellkern und Zellorganellen, aber ohne Zellwand. Diese Protoplasten schwimmen in einer Suspension, in die das Genkonstrukt zugegeben wird. Die Protoplastenmembran wird durch chemische (Polyethylenglycol), elektrische Reize (Elektroporation) und/oder Temperaturschocks kurzfristig durchlässig gemacht, so dass die Fremd-DNA aus der Lösung via Endocytose in den Zellkern gelangen und in die chromosomale DNA integriert werden kann. Dies setzt jedoch voraus, dass sich diese Protoplasten zu ganzen Pflanzen regenerieren können.	
<b>Modifikationen:</b>	Statt den Protoplasten können auch Pollen (Mikrosporen) mit der isolierten DNA inkubiert werden. Dabei wird die Fremd-DNA in den haploiden Chromosomensatz des Pollens integriert.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>		
<b>Beispiele:</b>	Gentransfer bei Raps	
<b>Chancen:</b>		
<b>Nachteile:</b>	Die isolierte DNA muss vor Abbau durch DNasen geschützt werden. Es muss für jede Pflanzenart ein eigenes Protokoll zur erfolgreichen Regeneration von Protoplasten zu fertilen Pflanzen etabliert werden. Dabei gibt es oft genotypische Unterschiede. Manche Pflanzenarten sind sehr schwierig zu regenerieren.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird mittels Endocytose von der Zelle aufgenommen und in das Pflanzengenom eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Direkter Gentransfer via Mikroinjektion</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei der Mikroinjektion wird das isolierte Genkonstrukt via Mikrokapillare in den Zellkern von Protoplasten (aus dem Verband herausgelöste Einzelzelle ohne Zellwand) injiziert. Dazu muss der Protoplast fixiert werden. Das Genkonstrukt wird in das Pflanzengenom eingebaut. Aus dem so transformierte Protoplast kann sich eine komplette Pflanze regenerieren.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	diese Methode wird vor allem bei der Tierzucht und Humangenetik angewendet.	
<b>Beispiele:</b>	eher selten	
<b>Chancen:</b>	Mithilfe der Mikroinjektion werden im Vergleich zur Endocytose relativ hohe Transformationsraten erzielt.	
<b>Nachteile:</b>	Es ist sehr schwierig, die Protoplasten nach dieser Prozedur zu fertilen Pflanzen zu regenerieren. Die Erfolgsrate der Protoplastenregeneration hängt stark von der Kulturart und dem Genotyp der Ausgangspflanze ab, die transformiert werden soll.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	s. Gentransfer mit zufälliger Integration	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird mittels Mikrokapillare in die Zelle eingebracht und in das Pflanzengenom eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Plastidentransformation</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Gentransfer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei der Plastidentransformation wird das Genkonstrukt nicht in das Kerngenom (DNA des Zellkerns) integriert, sondern in extrachromosomale DNA der Plastiden (DNA der Mitochondrien oder Chloroplasten). Die Chloroplasten DNA besteht aus tausenden von Kopien und besitzt daher eine hohe Expressionsrate. Mehrere Genkonstrukte können gleichzeitig integriert werden und werden stabil exprimiert (keine RNAi gene silencing). Die Geninformation der Plastiden wird fast ausschliesslich maternal vererbt (Weitergabe des Cytoplasmas durch die Mutterpflanze). Daher wird das Risiko der Auskreuzung des Transgens durch den Pollen minimiert.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Bisher wurde diese Methode nur bei Tabak erfolgreich angewendet um Bioplastik zu produzieren.	
<b>Beispiele:</b>	Übertragung von Trehalosegen aus Hefe in Tabak gegen Trockenstress, Übertragung des Bt-Gens in Rapsplastiden	
<b>Chancen:</b>	Die Vorteile des Transfers der Fremd-DNA in Plastiden liegt in der hohe 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 meherer 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.	
<b>Nachteile:</b>	Die Plastidentransformation konnte bisher erst bei sehr wenigen Pflanzenarten, wie z.B. dem Tabak, erfolgreich durchgeführt werden. Ausserdem funktioniert diese Methode nur bei Genen, deren Expression in den Plastiden stattfinden soll. Die dort produzierten synthetischen Proteine sind in den Plastiden eingeschlossen. Es ist sehr schwierig die Expressionsraten der eingeführten Gene zu steuern. Es besteht die Gefahr der Überproduktion auf Grund der sehr hohen Expressionsraten.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Risiken des Positionseffekts und der Auskreuzung sind wesentlich niedriger als bei chromosomaler Transformation.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Die Integrität der Kern-DNA bleibt zwar erhalten, aber die extrachromosomale DNA wird verändert und somit die Integrität auf Zellebene verletzt.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Isoliertes Genkonstrukt wird in multiplen Kopien in die Mitochondrien eingeführt und in die extrachromosomale DNA eingebaut
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> extrachromosomale DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Transformation via Minichromosomen</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Einfügen einer grossen Anzahl neuer Gene; Gentransfer;</b>
<b>Beschreibung:</b>	Um besonders viele neue Gene in das Pflanzengenom einzubauen, z.B. für die Synthese einer ganz neuen Stoffwechselkette, kann eine ganze Kaskade aus Genkonstrukten mittels künstlicher Minichromosomen in den Zellkern transferiert werden. Es gibt prinzipiell zwei verschiedene Methoden Minichromosomen zu erzeugen: 1) durch Verkürzung natürlicher Chromosomen, z.B. durch wiederholt ausgelöste Chromosomenbrüche wird fast alles eliminiert ausser dem Zentromer und dem Replikationsursprung, oder 2.) durch eine Neusynthese von Minichromosomen, indem die funktionellen Bestandteile eines Chromosoms, das pflanzliche Zentromer als Anlagerungsstelle der Spindelfaser, der Replikationsursprung für die DNA Verdopplung in der Mitose, sowie die Telomerenden, die für eine vollständige Replikation eukaryotischer Chromosomen verantwortlich sind, zusammengefügt werden. Für die Übertragung der gewünschten Gene werden die verschiedenen Genkonstrukte als lineare DNA Strang in diese Minichromosomen eingebaut. Dabei werden meist auch spezifische Rekombinationsstellen mittransferiert, die es erlauben in einem späteren Prozess weitere Genkonstrukte in diese Minichromosomen zu integrieren. Die Minichromosomen können linear aufgebaut sein (analog den Pflanzenchromosomen) oder auch als Ring (analog den Bakterienchromosomen). Sie werden z.B. mittels Partikelbeschuss in den Zellkern transferiert. Minichromosomen sind autonom und werden als Paar integriert, damit es bei der Chromosomenpaarung in der Meiose zu keinen Unregelmässigkeiten kommt. Da sich die Minichromosomen mit sich selbst paaren, findet keine Rekombination mit den übrigen Pflanzenchromosomen statt. Minichromosomen werden genetisch stabil vererbt. Künstliche Chromosomen sind schon lange etabliert bei Hefe (YAC= Yeast artificial chromosomes) und auch bei Pflanzen seit kurzem verfügbar (siehe <a href="http://www.chromatininc.com">www.chromatininc.com</a> oder <a href="http://www.agrisoma.com">www.agrisoma.com</a> ).
<b>Modifikationen:</b>	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	
<b>Hauptanwendungen:</b>	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. Momentan wird die Technik v.a. zur Steigerung der Biomasseproduktion verwendet.
<b>Beispiele:</b>	Verbesserung der Baumwollqualität, Verbesserte Effizienz von Hirse für Biodieselproduktion, weitere Anwendungen in Mais, Soja, Raps, Zuckerrohr
<b>Chancen:</b>	Gezielte Übertragung einer grossen Anzahl neuer Gene. Die linearen oder ringförmigen Minichromosomen werden wie normale Chromosomen als eigenständige Einheiten weitervererbt. 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.
<b>Nachteile:</b>	Die Minichromosomen müssen für jede Pflanzenart spezifisch konstruiert werden. Minichromosomen können eventuell bei der Zellteilung verloren gehen. Da Minichromosomen erst seit kurzem erfolgreich bei der Pflanzen eingeführt wurden, liegen noch wenige Erfahrungswerte vor.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	noch nicht abschätzbar
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Störung der Integrität des pflanzlichen Genoms. Die Pflanze wird zum reinen Stoffwechselproduzenten degradiert. Fließender Übergang zur synthetischen Biologie.
<b>Bemerkungen:</b>	

<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b>	Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Viele neue Gene werden in Form von Minichromosomen in das Kerngenom der Pflanze aufgenommen	
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert		
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja		
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b>	DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Synthetische Biologie</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung von Geninformation; Neusynthese; nach Bauplan</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Mit Hilfe der synthetischen Biologie können neue DNA-Baupläne erstellt werden. Dabei werden Einzelbausteine, z.B. die Nukleotiden, neu zusammengesetzt sowie neue Nukleotide oder Aminosäurebausteine synthetisch hergestellt. Die Forschung beschäftigt sich zur Zeit 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 syntetische Genom ersetzt. In der Grundlagenforschung an Pflanzen ist man bereits in der Lage künstliche Minichromosomen (siehe oben) zu erstellen und neue Chloroplasten zu synthetisieren.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Man versucht die Einzelbausteine der Organismen neu zusammenzusetzen.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Die ersten Anwendungen der synthetischen Biologie werden an einfachen Bakterien erprobt. So wird beispielsweise versucht durch synthetisch hergestellte DNA-Baupläne von Bakterien neue Inhaltsstoffe in möglichst reiner Form zu gewinnen.	
<b>Beispiele:</b>	Im Mai 2010 berichteten Forscher des J. Craig Venter Institute, dass ein vollständiges im Labor synthetisiertes Genom des Bakteriums <i>Mycoplasma mycoides</i> in eine DNA-freie Zelle von <i>Mycoplasma capricolum</i> übertragen und dort vermehrt werden konnte. Bei <i>Arabidopsis</i> wird versucht, eine neue Signalkette aus einer Kombination mehrerer Genkonstrukte zu synthetisieren, die zum Abbau des Blattgrüns führt, wenn die Pflanze ein Umweltgift detektiert. Japanische Forscher ist es vor kurzem gelungen in Reis Chloroplasten neu zu synthetisieren.	
<b>Chancen:</b>	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 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.	
<b>Nachteile:</b>	Eine Synthese nach dem Baukastenprinzip ignoriert die übergeordnete Steuerung der Genexpression und Selbstorganisation der Pflanze durch epigenetische Effekte.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Bisher sind die Risiken noch nicht erforscht.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Ethische Bedenken gegenüber Allmachtsphantasien und Reduktion der Lebewesen auf Summe von Einzelbausteinen. Starker Eingriff in die Schöpfung ("Frankenstein").	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> DNA Bausteine werden neu synthetisiert und zusammengesetzt und ersetzen das ursprüngliche Genom bzw. Teile davon
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von Variation in der Genexpression</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gene Silencing - RNA Interferenz (RNAi)</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Änderung der Genexpression; Knock-down eines spezifischen Merkmals;</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>RNA-Interferenz (RNAi) ist ein natürlicher Mechanismus der Genregulation bei Pflanzen, Tieren und Menschen, der zum Abschalten von Genen in Zellen führt. Er dient vor allem der Abwehr fremder RNA (z.B. von Viren) und stabilisiert das Genom durch Unterdrückung der Transposon-Aktivität. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung wird RNAi durch kleine doppelsträngige RNA Moleküle (dsRNA) ausgelöst. Diese dsRNA wird von einem Enzym (Dicer Komplex) erkannt und in kleine Stücke geschnitten wird, die als microRNA (miRNA) oder small interfering RNA (siRNA) klassifiziert werden. Eine unerwünschte Genexpression kann über verschiedene Regelkreise unterdrückt werden.</p> <p>I) Beim transkriptionalen Gene Silencing (TGS) werden die entstandenen mi- oder siRNAs an einen RITS (RNA Induced Transcriptional Silencing)-Komplex gebunden. Dieser Komplex induziert die Methylierung des Promotors und führt zur Abschaltung des entsprechenden Gens. Auf diesem Wege wird die Proteinbiosynthese gestoppt. Die Methylierungsmuster werden an die Nachkommen weiter vererbt. Dieser Vorgang wird auch als RNA abhängige DNA-Methylierung bezeichnet.</p> <p>II) Beim post-transkriptionales Gene Silencing (PTGS) binden die Einzelstränge dieser kurzen RNA-Sequenzen an einen RISC (RNA Induced Silencing Complex) Enzymkomplex. Dieser lagert sich an komplementäre Boten-RNA (mRNA) an, die dadurch blockiert und abgebaut wird. Die Bildung der entsprechenden Proteine in den Ribosomen wird so unterbunden. Man vermutet, dass der Antisense-Mechanismus (Ausschalten eines Gens durch Bildung komplementärer RNA) nach dem gleichen Schema abläuft.</p> <p>Im Gegensatz zum „Knock-Out“ ausgelöst durch Unterbrechung der Gensequenz via Mutagenese (Änderung der DNA-Sequenz), wird bei der RNAi die nicht immer vollständige Repression der Genexpression als „Knock-Down“ bezeichnet. Dabei bleibt das Gen in seiner DNA Sequenz unverändert und nur die Genexpression wird heruntergefahren. Dazu werden kurze Genkonstrukte mit <i>sense</i> und entsprechender <i>antisense</i> 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.</p>
<b>Modifikationen:</b>	In Kulturarten, bei denen mit Unterlagen gearbeitet werden, kann die Unterlage oder der Wurzelstock gentechnisch so verändert werden, dass sie RNAi auslösende dsRNA Moleküle produziert, die via Phloem in die gepfropften Triebe transportiert wird und dort zur Unterdrückung der Genexpression führt.
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Die molekularen Ursachen des Gen Silencings wurden an gentechnisch veränderten Pflanzen untersucht, die trotz eines stabilen Einbaus des neuen Gens inkl. Promotor nicht das gewünschte Merkmal zeigten. Dabei wurde entdeckt, dass es übergeordnete Mechanismen gibt, die die Genexpression der funktionellen Gene steuern. Man nimmt an, dass der RNAi Mechanismus in der Evolution entstanden ist, um die Vermehrung von RNA Viren in der Zelle bzw. die Aktivität der Transposons zu unterdrücken und somit das Genom zu stabilisieren. Nach neusten Erkenntnissen spielen kurze RNA Sequenzen eine wesentliche Rolle bei der Genregulation, sowohl beim Ablesen der Gene als auch bei der Translation der mRNA in Proteine. Da die Regulierung der Genexpression ohne eine Änderung in kodierenden Sequenzen oder im Promotorbereich auftritt und über Generationen hinweg vererbt werden kann, spricht man in diesem Zusammenhang von epigenetischen Effekten. Seither hat die Erforschung dieser epigenetischen Effekte eine grosse Bedeutung erlangt und man versucht diesen Mechanismus in der Züchtung zu nutzen.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Für Forschungszwecke werden kurze doppelsträngige RNA Konstrukte direkt in die Zelle transferiert, um herauszufinden, welche Auswirkungen das auf die Genregulation hat. Die RNAi Technik kann bei allem Merkmalen eingesetzt werden, bei denen die Synthesewege bekannt sind und durch Ausschalten einzelner Schlüsselenzyme die gewünschte

	Merkmalsausprägung erreicht werden kann. Diese Technik ist sehr aussichtsreich, z.B. wenn die Inhaltsstoffzusammensetzung verändert werden soll oder durch Unterbrechung der Pollenausreifung männlich sterile Pflanzen hergestellt werden sollen.	
<b>Beispiele:</b>	Bei Weizen wurde RNAi eingesetzt, um die Wirkungsweise spezifischer Gene zu untersuchen. Die Reduktion der Expression des Vernalisationsgens VRN2 beschleunigte die Blühinduktion, während eine Reduktion der Transkripte für VRN1 die gegenteilige Wirkung hatte. RNAi wurde auch zur Modifikation des Stärkegehalts in Weizen eingesetzt. Die gezielte Unterdrückung der Expression eines Gens durch RNAi führte bei Reis zu längeren Blütenständen und besserer Bestäubung. Beim Apfel soll mittels RNAi die Pollenproduktion unterdrückt werden.	
<b>Chancen:</b>	Der grosse Vorteil der RNAi Methode ist, dass dieser post-transkriptionale Effekt 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. Im Gegensatz dazu wird bei einer Mutation ein Gen falsch bzw. gar nicht abgelesen. Dies betrifft aber nur die eine Genkopie, bei der die Mutation statt gefunden hat. In diploiden oder tetraploiden Pflanzen können aber noch voll funktionsfähige Genkopien vorliegen, daher werden Mutation meist rezessiv vererbt. Somit ist die RNAi Technik besonders für polyploide und vegetative vermehrte Pflanzen von Interesse.	
<b>Nachteile:</b>	Da bei der ausgelösten RNAi die Gensequenzen nicht verändert werden, können die epigenetischen Effekte von einer Generation zur anderen abnehmen und ihre Wirkung verlieren. Nach heutigem Forschungsstand müsste zur sicheren Unterdrückung der Genexpression über viele Generationen hinweg ein entsprechendes Genkonstrukt, das diese RNA Interferenz auslöst, via Gentransfer stabil in das Pflanzengenom eingebaut werden (siehe Gentransfer).	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	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.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Die Erforschung der Epigenetik und der Genregulation ist noch in den Anfängen. Es lässt sich noch nicht abschätzen, welche Auswirkungen eine Übertragung dieser kurzen Gensequenzen, die gezielt RNAi auslösen, auf andere Organismen via Auskreuzung oder horizontalen Gentransfer haben könnten. Die Integrität des Genoms wird durch den Gentransfer gestört. Darüberhinaus wird in die übergeordnete Steuerung der Genexpression eingegriffen. Die Selbstorganisation der Zelle wird gestört.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Unterdrückung der Genexpression (Ausschalten eines Gens ohne die Gensequenz zu ändern)
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA/ RNA



<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Protoplastenfusion</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination von Kerngenen und Cytoplasmagenen; symmetrische Zellfusion; Somatische Hybridisierung</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>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 Stöße (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 inkl. 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. Wird ein Zellkern vor der Fusion zerstört, so dass die Cytoplasten aber nur ein Zellkern fusionieren, spricht man von Cytoplasten-Fusion oder asymmetrische Fusion (siehe unten). Bei der Zellfusion werden die Organellen beider Pflanzenzellen (Chloroplasten und Mitochondrien inkl. 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.</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Damit die somatischen Hybriden keinen verdoppelten Chromosomensatz haben und einfacher für Weiterzüchtungen verwendet werden können, verwendet man als Ausgangsmaterial haploide Pflanzen, die mittels Antheren-, Mikrosporen- oder Ovarienkultur erzeugt werden. Die Fusionsprodukte besitzen dann einen diploiden Chromosomensatz und können ganz normal mit anderen Pflanzen gekreuzt werden. Bei der tetraploiden Kartoffel erzeugt man beispielsweise zuerst dihaploide Pflanzen, die jeweils unterschiedliche Resistenzgene tragen. Diese Resistenzgene können dann sehr einfach mittels Protoplastenfusion kombiniert werden. Dabei werden keine Artgrenzen überschritten.</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	
<b>Hauptanwendungen:</b>	<p>Mit Hilfe der Protoplastenfusion können 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. vielen Resistenzgenen, oder wenn kerngenetisch vererbte mit extrachromosomal vererbten Merkmalen (z.B. CMS oder Resistenzgenen) kombiniert werden sollen.</p>
<b>Beispiele:</b>	<p>Übertragung von Phytophthora Resistenz auf Kartoffelsorten, Übertragung von Sclerotia Resistenz auf Sonnenblumensorten, Erzeugung schnellwüchsiger Pappelhybriden, Überbrückung von Kreuzungsbarrieren innerhalb der Citrusarten, Resynthese von polyploiden Kulturarten (Weizen, Raps).</p>
<b>Chancen:</b>	<p>Bei Pflanzen (z.B. bei Brassicaceen, Solanaceen), die sich relativ einfach aus Protoplasten regenerieren können, bietet die Protoplastenfusion eine gute Möglichkeit, um die gewünschten Merkmale zu kombinieren indem Kern-DNA und extrachromosomale DNA addiert wird.</p>
<b>Nachteile:</b>	<p>Die Protoplastenfusion funktioniert nur zwischen verwandten Gattungen. Die in vitro</p>

	<p>Regeration der fusionierten Protoplasten ist zum Teil sehr schwierig und funktioniert nur in wenigen Pflanzenfamilien mit ausreichender Effizienz. Bei der Vermehrung der Fusionsprodukte kann es zur Entmischung der Chloroplasten und Mitochondrien und manchmal auch zu Chromosomenelimination kommen. Es kann mehrere Generationen dauern, bis die regenerierten Pflanzen genetisch stabil sind. Man benötigt ein gutes Selektionssystem, um die Fusionsprodukte zu identifizieren.</p>	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	<p>Die Interaktion zwischen Kerngenom und extrachromosomaler Plastiden DNA kann gestört werden und zu unerwarteten Effekten führen.</p>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	<p>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 natürlicherweise sehr selten vorkommt. Dadurch kann die übergeordnete Genregulation zwischen Kerngenom und extrachromosomaler DNA beeinträchtigt werden. Wenn tetraploide Fusionsprodukte auf diploide Pflanzen auskreuzen, entstehen triploide Nachkommen, die steril sind.</p>	
<b>Bemerkungen:</b>	<p>Die ersten somatischen Hybriden wurde bereits 1972 erzeugt. In vielen Fällen wird es schwierig sein herauszufinden, ob heutige Sorten von Kartoffel, Raps, Kohl somatische Hybriden in ihrem Stammbaum haben. Zellfusionen zwischen verwandten Arten fallen nicht unter das europäische Gentechnikgesetz und sind daher nicht deklarationspflichtig.</p>	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Möglich	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Verschmelzung von somatischen Zellen (Protoplasten)
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Möglich	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Möglich	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Protoplasten

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Cytoplastenfusion</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination von Kerngenen und Cytoplasmagenen; asymmetrische Zellfusion;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Neben der Verschmelzung von zwei kompletten Protoplasten mit je einem Zellkern im entsprechenden Cytoplasma wurden auch Systeme entwickelt, bei denen eine Neukombination von Kerngenen verhindert wird und es nur zu einer Vereinigung von cytoplasmatischen Komponenten kommt. Um den Austausch von Kerngenen zu vermeiden, werden die Protoplasten z.B. mit Röntgenstrahlen behandelt, um den Zellkern zu zerstören. Die entstandenen Cytoplasten enthalten alle Zellbestandteile wie Mitochondrien oder Chloroplasten, aber keine Chromosomen mehr. 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 extrachromosomale 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.	
<b>Modifikationen:</b>	Eine andere Form der asymmetrischen Fusion ist die Übertragung von einzelnen Genen oder einzelnen Chromosomen des Donors. In diesem Fall werden die Protoplasten weniger stark behandelt, so dass die Kerngene nicht vollständig zerstört werden. Fusionsprodukte besitzen dann ein Kerngenom, das nur einen sehr kleinen Teil funktionsfähiger Gene des Donors enthält und eine Kombination von Zellorganellen aus beiden Fusionspartnern (asymmetrische Hybriden).	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Diese durch Cytoplastenfusion ausgelöste cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS) entsteht oft bei weiten Kreuzungen, wenn geographisch entfernte Varietäten oder verwandte Arten gekreuzt werden. Die männliche Fertilität kann in den meisten Fällen durch Einkreuzen von Kerngenen, sogenannten Restorerogenen, wieder hergestellt werden (siehe Cytoplasmatisch männliche Sterilität).	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Die Cytoplastenfusion wird eingesetzt, um cytoplasmatisch männliche Sterilität auszulösen oder einzelne Resistenzen aus verwandten Wildarten in Kulturarten zu integrieren.	
<b>Beispiele:</b>	Übertragung der cytoplasmatisch männlichen Sterilität (CMS) bei Kohllarten, Raps, Sonnenblume, Tomaten, Möhren, Lauch, Cichoree. Übertragung von Resistenzgenen aus Wildarten in die Kulturarten bei Kohl, Kartoffel, Citrusarten, Reis. Nach erfolgreicher Übertragung der erwünschten Merkmale werden die so entstanden Pflanzen als Kreuzungselter benutzt. Dadurch kann innerhalb kurzer Zeit das Merkmal schnell in das Zuchtmaterial integriert werden, ohne dass erneut eine Cytoplastenfusion durchgeführt werden muss.	
<b>Chancen:</b>	Durch die Cytoplastenfusion ist es möglich, neue Plastiden-DNA mit Kerngenen zu kombinieren. Dadurch können Merkmale, die von den Plastiden gesteuert werden, gezielt übertragen werden. Die asymmetrische Zellfusion ermöglicht es, einzelne Gene oder Chromosomenstücke von Wildarten in das Kerngenom zu integrieren.	
<b>Nachteile:</b>	Asymmetrische Fusionsprodukte sind meist weniger stabil als symmetrische Protoplastenfusionen (siehe oben). Die Ausbeute an fertilen Fusionsprodukten ist meist sehr gering.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Durch den Eingriff in das Zusammenspiel von Kerngenom und Plastidengenom kann es zu unerwünschten Effekten kommen.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Das Zusammenspiel von Kerngenom und Plastidengenom wird gestört. Es werden Artgrenzen überschritten. Bei der asymmetrischen Fusion wird das Kerngenom zu einem grossen Teil zerstört.	
<b>Bemerkungen:</b>	Da die cytoplasmatisch männliche Sterilität ebenso durch spontane Mutationen oder weite Kreuzungen hervorgerufen werden kann, ist es nicht möglich, aufgrund des Merkmals der männlichen Sterilität auf eine Cytoplastenfusion zu schliessen.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Möglich	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in</b> Nein

		<b>Zellkern:</b>
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Verschmelzung von einem Protoplasten mit einem Cytoplasten, bei dem zuvor der Zellkern ganz oder teilweise zerstört wurde
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Möglich	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Ja	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	falls patentiert	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Cytoplasten

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Polyploidisierung</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Genommutation; Verdopplung der Chromosomen</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>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 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 Genomen besitzt (AABBDD).</p> <p>Polyploidie kann spontan auftreten oder mit Chemikalien (z.B. Colchizin) induziert werden. Während der Zellteilung (Mitose) werden die Chromosomen verdoppelt und anschliessend paritätisch auf zwei Tochterzellen verteilt. Dazu werden die Chromosomen von der Kernspindel zu den entgegengesetzten Polen der Zelle gezogen. Colchizin löst diese Spindeln auf, so dass der verdoppelte Chromosomensatz in einer Zelle bleibt. Werden Meristemstücke oder Samen mit Colchizin behandelt, so können sie zu einer Pflanze mit verdoppeltem Genom heranwachsen. Die so erzeugten autotetraploiden Pflanzen sind in der Regel wüchsiger und robuster und haben grössere Früchte als die diploiden Ausgangspflanzen.</p> <p>Neben dem Mitosegift Colchicin werden auch das Herbizid Oryzalin und Koffein eingesetzt.</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Allopolyploidisierung wird bei interspezifischen Kreuzungen zur Resynthese (Raps) oder Erzeugung von neuen Kulturarten (Triticale) eingesetzt. Durch die Verdopplung des Chromosomensatzes wird gewährleistet, dass sich die Chromosomen in der Meiose ordnungsgemäss paaren können. Dadurch sind die Nachkommen genetisch stabiler und v.a. fertil.</p> <p>Bei der Erzeugung von homozygoten Doppelhaploiden werden haploide Pflanzen mit nur einem Chromosomensatz durch spontane oder induzierte Polyploidisierung in doppelhaploide Pflanzen (DH-Linien) überführt (siehe Erzeugung von Doppelhaploiden). Polyploide Pflanzen werden u.a. erzeugt, um sie anschliessend mit diploiden Pflanzen zu kreuzen. Dadurch entstehen triploide Pflanzen, die steril sind und samenlose Früchte produzieren (z.B. Banane, Zitrusfrüchte).</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	<p>Es gibt eine ganze Reihe von autopolyploiden (Kartoffel, Zuckerrohr, Erdbeere, Rotklee) und allopolyploiden (Weizen, Raps) Pflanzen. Man geht davon aus, dass die Allopolyploidie eine wichtige Rolle in der Artenbildung spielt. Viele Arten entstehen durch die spontane Kreuzung zweier verwandter Arten. Dabei entstehen oft sterile Nachkommen, da die neu kombinierten Chromosomen sich in der Meiose nicht richtig paaren können und damit die Chromosomen ungleichmässig verteilt werden. Eine korrekte Chromosomenverteilung in der Meiose wird jedoch gewährleistet, wenn es zur spontane Verdopplung der Chromosomensätze kommt. Auf diese Weise ist z.B. Brotweizen aus der interspezifischen Kreuzung Emmer x Aegilops oder Raps aus Kohl x Rübsen entstanden.</p>
<b>Hauptanwendungen:</b>	<p>Polyploidisierung wird eingesetzt, um robustere und ertragreichere Pflanzen zu züchten, um die Fertilität von interspezifischen Kreuzungen wiederherzustellen und um Doppelhaploide Pflanzen zu entwickeln. Für die Erzeugung von samenlosen Früchten werden ebenfalls tetraploide Kreuzungspartner benötigt.</p>
<b>Beispiele:</b>	<p>autotetraploider Roggen, Baumwolle, Rotklee, Weidelgras, diverse Zierpflanzen und allotetraploide Triticale (AABBRR) aus Weizen x Roggen.</p>
<b>Chancen:</b>	<p>Polyploidisierung erlaubt die Entwicklung von Doppelhaploiden, interspezifischen Kreuzungen und robusten polyploiden Pflanzensorten</p>
<b>Nachteile:</b>	<p>Die Methode zur Chromosomenverdopplung muss für die einzelnen Pflanzenarten speziell entwickelt werden. Dazu müssen die Mitosegifte genau dosiert werden.</p>
<b>Risiken für</b>	<p>Wegen des gesundheitlichen Risikos kann der Umgang mit dem Mitosegift, das die</p>

<b>Umwelt + Gesundheit:</b>	Chromosomenverdopplung auslöst, nur von geschultem Personal nach entsprechender Sicherheitsanweisung ausgeführt werden.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	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 Biolandbau nicht zugelassen. Colchicin kann allerdings auch aus der Herbstzeitlosen oder Gloriosa-Arten gewonnen werden. Alternativ kann auch Koffein aus der Kaffeebohne zur Polyploidierung eingesetzt werden. Prinzipiell sollten nur solche Substanzen eingesetzt werden, die analog zur Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung bewilligt sind.	
<b>Bemerkungen:</b>	Da manche Arten in verschiedenen Ploidiestufen vorkommen, kann man nicht unterscheiden, welche Sorten auf spontane oder induzierte Polyploidisierung zurückzuführen sind.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Möglich	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Verdopplung des Genoms
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Möglich	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Same/Knospe/Meristem/Zelle

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Erzeugung von Doppelhaploiden (DH-Linien)</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Genommutation; Halbierung der Chromosomen</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>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 5-6 Generationen möglich ist. Da eine diploide Pflanze je zwei Chromosomensätze enthält, können für jedes Gen zwei Merkmalsausprägungen (Allele) vorliegen. Halbiert man den Chromosomensatz, ist nur noch ein Allel pro Genort vorhanden. Verdoppelt man anschliessend 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 in vitro 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. Diese haploiden Pflanzen sind lebensfähig, aber wenig wüchsig und steril. Durch Chromosomenverdopplung 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.</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Anstelle der in vitro Kultur können haploide Pflanzen auch durch Bestäubung mit sogenannten Induktorlinien ausgelöst werden. Bestäubt man beispielsweise Mais mit einer speziellen Maisinduktorlinie entwickeln sich nach dem Bestäubungsreiz in einem gewissen Prozentsatz der Samenanlagen aus den Eizellen haploide Embryonen. Aus diesen Samen wachsen haploide Pflanzen, deren Chromosomensatz sich entweder spontan oder mittels Colchicinbehandlung verdoppelt, so dass ebenfalls komplett homozygote DH-Linien entstehen. Zur Erzeugung von doppelhaploiden Weizenlinien werden Eizellen des Weizens mit Maispollen bestäubt. Während der Entwicklung des Embryos werden die Maischromosomen eliminiert und der Embryo enthält nur noch die Chromosomen (halber Chromosomensatz) des Weizens. Der haploide Embryo wird in vitro regeneriert und anschliessend mit Colchizin behandelt.</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	<p>Haploide Pflanzen können auch spontan entstehen, haben aber aufgrund der geringen Wüchsigkeit und der Sterilität einen erheblichen Nachteil gegenüber diploiden Pflanzen.</p>
<b>Hauptanwendungen:</b>	<p>DH-Linien werden sowohl bei Fremdbefruchtern als auch Selbstbefruchtern zur Beschleunigung des Züchtungsprozesses eingesetzt. Die Erzeugung von homozygoten Inzuchtlinien aus Kreuzungsnachkommen in nur einer Generation ist von grossem Vorteil bei Selbstbefruchtern, da man direkt auf dem homozygoten Niveau selektieren kann und die selektierten Pflanzen schon 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.</p>
<b>Beispiele:</b>	<p>Bei Gerste und Kartoffel finden DH-Linien aus Antherenkultur breite Anwendung. Bei Mais und Weizen haben entsprechende Induktorlinien den grossen Durchbruch für die DH-Linien erbracht.</p>
<b>Chancen:</b>	<p>Auf homozygotem Niveau spaltet die genetische Varianz am meisten auf, da rezessive Allele nur im homozygoten Zustand phänotypisch sichtbar werden. Negative Allele können</p>

	daher einfacher erkannt werden. Daher ist die Selektion am effizientesten, wenn sie direkt an den homozygoten Inzuchtlinien durchgeführt werden kann. Somit erlauben die Doppelhaploiden eine starke Beschleunigung des Zuchtfortschritts. Bei Selbstbefruchtern benötigt man im Idealfall nur noch drei Generationen: eine Generation zur Erstellung von Kreuzungen, eine Generation zur Erzeugung der homozygoten DH-Linien aus der F1 und eine Generation zur Prüfung der DH-Linien, die anschliessend genetisch identisch vermehrt und als Sorten angemeldet werden können. Bei der Hybridzüchtung wird zusätzlich zur Eigenleistung der DH-Linien v.a. die Hybridleistung mit einem Kreuzungspartner geprüft.	
<b>Nachteile:</b>	Die in vitro Regeneration von haploiden Pollen oder Eizellen ist sehr schwierig und muss für jede Kulturart adaptiert werden. Ausserdem gibt es genotypische Unterschiede in der Regenerationsfähigkeit. Nur für wenige Kulturarten ist bisher eine effiziente Induktorlinie gefunden worden, um ohne aufwendige in vitro Kultur haploide Pflanzen zu erzeugen. Da die DH-Linien nach einer Generation schon vollständig homozygot sind, kann nur in einer Meiose eine Rekombination der Gene erfolgen. Bei konventionellen Inzuchtlinien, die durch wiederholte Selbstungen erzeugt werden, können hingegen in jeder Selbstungsgeneration Rekombinationen zwischen den Genen auftreten.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Wegen des gesundheitlichen Risikos kann der Umgang mit dem Zellgift, das die Chromosomenverdopplung auslöst, nur von geschultem Personal nach entsprechender Sicherheitsanweisung ausgeführt werden.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Eizellen und Pollen werden umprogrammiert, es kommt zu keiner Verschmelzung, stattdessen werden haploide Pflanzen produziert. Synthetisch hergestelltes Colchicin ist im Biolandbau nicht zugelassen. Colchicin kann allerdings auch aus der Herbstzeitlosen oder Gloriosa-Arten gewonnen werden. Prinzipiell sollten nur solche Substanzen eingesetzt werden, die analog zur Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung bewilligt sind.	
<b>Bemerkungen:</b>	Bei Mais wurde der Züchtungsprozess durch DH-Linien massiv beschleunigt, da für Hybridsorten nicht nur die Eigenleistung sondern vor allem die Hybridleistung viel früher und präziser erfasst werden kann als dies bisher möglich war.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Halbierung und anschliessende Verdopplung des Genoms
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Knospe/Anthere/Ovarien/ Pollen/Eizelle



<b>Ziel:</b>	<b>Fixierung genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Reverse Breeding (Umkehrzüchtung)</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Unterdrückung der Rekombination der Gene; RNAi und Doppelhaploide;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei Reverse Breeding wird der Züchtungsprozess der Hybriderstellung umgedreht. Man versucht dabei 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 Interferenz (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.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Bereits 1920 wurde bei der Nachtkerze ( <i>Oenothera</i> ) eine ringförmige Anordnung der Chromosomen während der Meiose beschrieben. Aufgrund dieser ringförmigen Anordnung werden die väterlichen und mütterlichen Chromosomen immer als ganzer Komplex weitervererbt, ohne dass es zur Rekombination und Neukombination der Gene kommt. Solche Crossover-Ereignisse sind nur möglich, wenn sich die homologen Chromosomen in der Meiose parallel aneinanderlagern, wie dies üblicherweise der Fall ist.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Die Umkehrzüchtung kann angewendet werden bei heterozygoten Fremdbefruchtern, die generativ vermehrt werden sollen.	
<b>Beispiele:</b>		
<b>Chancen:</b>	Heterozygote Genotypen konnten bislang nur durch vegetative Vermehrung genetisch identisch vermehrt werden. Deshalb konnten z.B. bei Kartoffel und Apfel nur mittels Klonzüchtung heterozygote Einzelpflanzen selektiert anschliessend vegetativ vermehrt werden.	
<b>Nachteile:</b>	Für eine effiziente Erstellung von reproduzierbaren Erbkomponenten in Form von Inzuchtlinien wird ein funktioniertes System zur Produktion von Doppelhaploiden und zur Unterdrückung der Rekombination vorausgesetzt. Für letzteres müssen RNA Interferenzen (siehe oben) ausgelöst werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	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. Es liegen noch wenig Erfahrungswerte zu möglichen Risiken vor.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Zur Unterdrückung der Rekombination wird bei der Erzeugung der Erbkomponenten in die übergeordnete Steuerung der Genexpression eingegriffen. Die Selbstorganisation der Zelle wird dabei gestört. Die Sorte muss wie konventionelle Hybriden jeweils neu aus den Erbkomponenten erstellt werden. Dazu müssen die Mutterpflanzen mechanisch kastriert werden oder männlich steril sein. Diese Sorten können nicht ohne Leistungsabfall nachgebaut werden.	
<b>Bemerkungen:</b>	Da das Endprodukt sich nicht von konventionellen Hybriden unterscheidet, wird diskutiert, dass nur die Erbkomponenten, nicht aber die Sorte unter das Gentechnikgesetz fallen sollten.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Ja	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Ja
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Ja	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Unterdrückung der Rekombination während der Meiose
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls patentiert	
<b>Überschreitung von</b>	Nein	

<b>Kreuzungsbarrieren:</b>	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b> Ja	<b>Ebene des Eingriffs:</b> DNA

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Isolierung der Blüten</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Die Knospen bzw. unreifen Blüten werden durch Cellophantüten, Papiertüten oder engmaschiges Gewebe gegen die Bestäubung von Pollen von anderen Pflanzen geschützt. Dadurch können die Eizellen nur vom Pollen der eigenen Pflanze bzw. von manuell zugegebenem Pollen befruchtet werden. So wird eine unkontrollierte Fremdbestäubung verhindert.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Gängige Praxis in der Züchtung	
<b>Beispiele:</b>	gängige Praxis	
<b>Chancen:</b>		
<b>Nachteile:</b>		
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Ausschluss unerwünschter Fremdbestäubung
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Knospen/Blüten

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Physische Kastration</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Damit eine gezielte Kreuzung durchgeführt werden kann, müssen einhäusige und zwittrblütige Pflanzen (mit männlich und weiblichen Blühorganen) kastriert werden, um eine Selbstbefruchtung zu verhindern. Dazu werden die männlichen Blühorgane entfernt. Bei Getreide und Leguminosen werden beispielsweise die Ährchen und Blütenknospen geöffnet und die Staubbeutel (Antheren) mit der Pinzette entfernt. Bei Pflanzen mit räumlich getrennter männlich und weiblicher Blüte wie z.B. dem Mais werden die männlichen Blütenstände (Fahne) abgeschnitten.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Gängige Praxis in der Züchtung	
<b>Beispiele:</b>	gängige Praxis	
<b>Chancen:</b>	Einfache Methode bei einhäusigen Pflanzen mit getrennten männlich und weiblichen Blüten wie bei Mais.	
<b>Nachteile:</b>	Sehr aufwendige Methode, wenn Staubbeutel und Narbe in einer Knospe vereinigt sind wie bei den meisten Pflanzen. Je kleiner die Blüten, desto schwieriger ist es, alle Staubbeutel zu entfernen ohne die weiblichen Blühorgane zu verletzen, wie z.B. bei den Sojabohnen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Ausschluss von Selbstbefruchtung
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Knospen/Blüten

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Chemische Kastration</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Damit eine gezielte Kreuzung durchgeführt werden kann, müssen einhäusige und zwittrblütige Pflanzen (mit männlich und weiblichen Blühorganen) kastriert werden, um eine Selbstbefruchtung auszuschliessen. Statt der aufwendigen Entfernung von männlichen Blühorganen, werden Pflanzen im frühen Entwicklungsstadium mit hormonähnlichen Chemikalien, sogenannten Gametoziden, behandelt. Dadurch wird die Bildung der männlichen Blühorgane unterdrückt bzw. die Pollenreifung behindert, so dass keine fertilen Pollen entstehen. Die so induzierte männliche Sterilität ist nur temporär und nicht erblich.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Gametozide ermöglichen die kostengünstige Erstellung von Hybridsaatgut. So kann genügend Saatgut erzeugt werden, um das Potenzial einer Hybride mehrartig zu testen.	
<b>Beispiele:</b>	Prüfung der Hybridleistung von Weizen und Triticale.	
<b>Chancen:</b>	Gametozide reduzieren die Kosten der manuellen Kastration und erlauben die Erstellung von einer grossen Anzahl von Kreuzungen, die sonst zu aufwendig wären.	
<b>Nachteile:</b>	Für jede Pflanzenart müssen verschiedenste Chemikalien geprüft werden, die die Bildung von fertilem Pollen unterbinden, ohne die Empfängnisbereitschaft der weiblichen Blühorgane zu beeinträchtigen. Die Behandlung mit Gametoziden muss im richtigen Entwicklungsstadium durchgeführt werden. Da dieses schwer vorausbestimmbar ist, sind meist wiederholte Anwendungen nötig. Die Wirkung hängt ausserdem von Umweltfaktoren ab, so dass die männliche Fertilität unter Umständen nur eingeschränkt aber nicht komplett unterdrückt wird. Es sind daher relativ viele Kontrollen nötig, um sicher zu sein, dass keine Selbstbefruchtung stattgefunden hat.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Gametozide können negative Auswirkungen auf die Umwelt haben und sich im Boden anreichern.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Gametozide bestehen meist aus synthetisch hergestellten Substanzen, die im Biolandbau nicht erlaubt sind. Prinzipiell sollten nur solche Substanzen eingesetzt werden, die analog zur Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Pflanzenzüchtung bewilligt sind.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Ausschluss von Selbstbefruchtung
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Knospen

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Selbstinkompatibilität</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei einigen Pflanzenarten verhindern Selbstinkompatibilitätsgene, dass fertiler Pollen die Eizelle derselben Pflanze befruchten kann. So werden z.B. die Pollenkörner von der Narbe erkannt und am Keimen gehindert oder der Pollenschlauch vom Griffelgewebe am Durchwachsen des Gewebes gehindert. Dadurch wird eine Selbstung und damit Inzucht verhindert. Bei manchen Pflanzen kann dieser Hemmmechanismus durch höhere Temperaturen ausser Kraft gesetzt werden und so die Selbstinkompatibilität temporär aufgehoben werden.	
<b>Modifikationen:</b>	Ein weiterer Mechanismus zur Verhinderung von Selbstbefruchtung ist die zeitlich oder räumlich versetzte Blüte der männlichen und weiblichen Blühorgane. Ist die Narbe (weibliches Blühorgan) zuerst empfängnisbereit wie bei Raps, spricht man von Protogynie, ist der Pollen früher reif wie bei Mais, Sonnenblume oder Möhre von Protandrie. Bei der Primel sind die Staubbeutel und Narben zwar in der selben Blüte aber räumlich getrennt (Heterostylie).	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Natürlicher Mechanismus der Pflanzen zur Erhöhung des Heterozygotiegrades.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Selbstinkompatibilität wurde bei Kohl und Roggen beobachtet. Durch diesen Schutz vor Selbstbefruchtung entfällt im Züchtungsprozess das aufwendige Kastrieren der Mutterpflanzen.	
<b>Beispiele:</b>	Erstellung von Hybridsaatgut bei Kohlarten. Erstellung von Pärchenkreuzungen ohne Kastration bei Roggen.	
<b>Chancen:</b>	Selbstinkompatibilität ermöglicht die Erstellung von Hybridsaatgut ohne Kastration oder die Verwendung von männlich sterilen Pflanzen.	
<b>Nachteile:</b>	Die Zuverlässigkeit dieser Selbstinkompatibilität kann durch Umweltbedingungen beeinträchtigt werden. So funktioniert z.B. bei höheren Temperaturen der Schutz gegen Selbstbefruchtung bei Kohl nur noch unzureichend. Das Hybridsaatgut, das von Pflanzen mit Selbstinkompatibilität gewonnen wird, beinhaltet daher meist noch einen kleinen Anteil von Nachkommen aus Selbstbefruchtung. Entsprechend schwierig ist es stabile Inzuchtlinien zu erstellen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Ausschluss von Selbstbefruchtung
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Möglich	<b>Ebene des Eingriffs:</b> kein Eingriff

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Kerngenetische männliche Sterilität</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Durch spontane oder induzierte Mutationen in der chromosomalen DNA kann es zur Ausbildung von männlich sterilen Pflanzen kommen (z.B. beim Thymian, Enzian). Diese Pflanzen können im Züchtungsprozess integriert werden und als Mutterpflanzen in der Hybridzüchtung verwendet werden.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Natürlicher Mechanismus der Pflanzen zur Erhöhung des Heterozygotiegrades.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Männlich sterile Pflanzen können ohne Kastration als Mutterpflanzen in der Züchtung eingesetzt werden.	
<b>Beispiele:</b>	Erstellung von Hybridsaatgut von Tomate, Thymian und Enzian.	
<b>Chancen:</b>	Erzeugung von Hybridsaatgut ohne Kastration. Eignet sich vor allem bei vegetativ vermehrbaren Pflanzen.	
<b>Nachteile:</b>	Sterilitätsgene sind generell schwierig in den Züchtungsprozess zu integrieren. Für die Vermehrung dieser Pflanzen müssen männlich fertile Schwesterlinien entwickelt werden, da keine Selbstung möglich ist. Die Eigenschaft der kerngenetischen männlichen Sterilität ist meist rezessiv, d.h. die heterozygoten Pflanzen sind männlich fertil. Bei Selbstung dieser Pflanzen spaltet die Nachkommenschaft in 75% fertile und 25% sterile Pflanzen. Männlich sterile Pflanzen können ansonsten nur vegetativ vermehrt werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Männliche Sterilitätsgene können via Pollenflug auf verwandte Wildarten oder benachbarte Felder auskreuzen, da die heterozygoten Pflanzen männlich fertil sind.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Grossflächiger Anbau von Pflanzen, die männliche Sterilitätsgene tragen, kann durch Auskreuzung die Fertilität von anderen Sorten und Wildarten beeinträchtigen.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Ausschluss von Selbstbefruchtung
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	teilweise	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Ja	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Einkreuzung

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS)</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch / Interspezifisch</b>
<b>Beschreibung:</b>	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 Restorergeräten die männliche Fertilität wieder hergestellt werden. Die CMS ist wesentlich einfacher in den Züchtungsprozess zu integrieren als kerngenetische männliche Sterilität. 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 produzieren kann, muss die Linie B chromosomal vererbte Restorerogene 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.
<b>Modifikationen:</b>	Die CMS kann auch induziert werden durch interspezifische Kreuzungen mit verwandten Wildarten, durch Mutationsauslösung, Cytoplastenfusionen oder Gentransfer (Plastidentransformation) (siehe oben).
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Natürlicher Mechanismus der Pflanzen zur Erhöhung des Heterozygotiegrades.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Die CMS ist in vielen Fällen die Voraussetzung für eine grossflächige Produktion von Hybridsaatgut.
<b>Beispiele:</b>	CMS-Linien werden schon seit Jahrzehnten zur Erstellung von Hybridsaatgut beispielsweise bei Roggen, Mais, Sonnenblumen, Möhren, Raps, Reis und Weizen eingesetzt.
<b>Chancen:</b>	CMS ermöglicht grossflächige Erzeugung von Hybridsaatgut.
<b>Nachteile:</b>	Züchtung ist aufwendig, da sowohl CMS als auch Restorerogene aufeinander abgestimmt werden müssen. Es besteht die Gefahr, dass eine grosser Teil der Sorten dasselbe CMS System besitzt und dadurch die genetische Diversität der extrachromosomalen DNA stark eingeschränkt wird.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Durch die Selektion auf mutierte Mitochondrien-DNA können auch andere unerwünschte Nebenwirkungen auftreten. So war z.B. der Mechanismus, der die CMS bei Mais verursacht hat, dafür verantwortlich, dass die Sorten mit dieser Mutation in der mitochondrialen DNA eine stark erhöhte Anfälligkeit gegen Blattdürrepilze hatten. Dadurch, dass nur ein einziges CMS-System verwendet wurde, kam es in den 70er Jahren in den USA zu grossen Ertragsausfällen. Bei Insektenbestäubten Kulturpflanzen, könnte die Veränderung der Blühorgane negative Auswirkungen auf Insekten haben, die sich von Pollen ernähren. Bei Selbstbefruchtern, die mit geschlossener Blüte abblühen wie z.B. Weizen, könnte durch die erzwungene Fremdbefruchtung indirekt auf offene Ährchen selektiert werden und damit die Gefahr von Mutterkornbefall erhöht werden.
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Bei Hybridsorten, deren Fertilität nicht durch Restorerogene 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.
<b>Bemerkungen:</b>	CMS ist bei Pflanzen mit zwittrigen Blüten eine Grundvoraussetzung zur Erzeugung von



	grösseren Mengen an Hybridsaatgut. Nur bei wenigen Pflanzenarten, wie den Kohlarten, existieren als Alternative ausreichend stabile Selbstinkompatibilitätssysteme, mit deren Hilfe ca. 90% Hybridsaatgut produziert werden kann.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Ausschluss von Selbstbefruchtung
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	falls Pollenspenden keine Restorergerne besitzt	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls kein Restorerstem	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Ja	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Einkreuzung

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Gezielte Kreuzungen innerhalb einer Art</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Intraspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Um gezielte Kreuzungen durchzuführen, werden die Knospen der Mutterpflanzen kastriert und isoliert und zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte mit dem bestäubungsfähigem Pollen der Vaterpflanze bestäubt. Die so erzeugten Nachkommen sind Vollgeschwister. Die Bestäubung erfolgt entweder indem der Pollen mit einem Pinsel von den Staubbeuteln der Vaterpflanze auf die Narbe der Mutter aufgebracht wird oder indem der Pollen in einem Gefäß gesammelt und dann über der kastrierten weiblichen Blüte ausgeschüttet wird. Die Narbe ist meist nur kurze Zeit empfängnisbereit, so wie der Pollen zum Teil nur wenige Stunden lebensfähig ist. Daher ist eine Synchronisation der Blüten sehr wichtig. Dies wird meist durch Staffelaussaaten erreicht. Eine andere Möglichkeit ist, den Pollen zu trocknen und einzufrieren, um ihn so haltbar zu machen (z.B. bei Hanf, Apfel). Gezielte Kreuzungen sind gängige Praxis in der Pflanzenzüchtung, um die genetische Diversität zu erhöhen und Nachkommen zu finden, die die besten Eigenschaften von Vater und Mutter kombinieren (Kombinationszüchtung). Um die Erfolgsrate zu erhöhen, werden möglichst viele verschiedene Kreuzungen durchgeführt und darüber genau Buch geführt. So kann man aufgrund der Stammbäume erfolgsversprechende Kreuzungseltern identifizieren. Sorten mit wichtigen Eigenschaften (z.B. Resistenzen) werden oft von vielen Züchtern benutzt, um diese Eigenschaften möglichst schnell in ihr Zuchtmaterial einzukreuzen.	
<b>Modifikationen:</b>	Bei Kreuzungen von Zuchtlinien mit Landsorten, Genbankakzessionen oder geographisch entfernten Sorten kommt es häufig zu Nachkommen, die nicht adaptiert sind oder deren Ertragsniveau zu niedrig ist. In diesen Fällen werden die Nachkommen mehrere Mal mit dem Zuchtmaterial zurückgekreuzt, so dass nur die positiven Eigenschaften erhalten und die ungünstigen Eigenschaften eliminiert werden. Dadurch entsteht ein Genotyp, der der ursprünglichen Sorte sehr ähnlich ist, aber die zusätzlich gewünschten Eigenschaften trägt. Mittels Rückkreuzung konnten zahlreiche Sorten gezüchtet werden, die eine hohe Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren aufweisen. In manchen Fällen werden nicht gezielt zwei Elternpflanzen miteinander gekreuzt, sondern die kastrierte oder männlich sterile Mutterpflanze wird von mehreren Vaterpflanzen bestäubt. Bei den Nachkommen handelt es sich um sogenannte Halbgeschwister. Bei Kreuzungen zwischen diploiden und tetraploiden Sorten der selben Art entstehen triploide sterile Nachkommen (Bananen, Zuckerrübe).	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Rekombination der Gene durch Fremdbestäubung.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Gängige Praxis in der Züchtung	
<b>Beispiele:</b>	gängige Praxis	
<b>Chancen:</b>	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.	
<b>Nachteile:</b>	Die Gene der Elternpflanzen werden neu gemischt, dadurch können günstige Genkombinationen auch wieder verloren gehen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Neukombination von Genen innerhalb der Art
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	

<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Interspezifische Kreuzungen</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination der Gene; Bestäubungslenkung; Interspezifisch</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>Kreuzungen zwischen verschiedenen Arten sind immer dann von Interesse, wenn die genetische Variation in der Kulturart nicht ausreicht, um eine züchterische Verbesserung zu erzielen. Nahe 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, kommt es bei weiten Kreuzungen 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 des Embryokultur (embryo rescue) eingesetzt. Dabei wird nach der interspezifischen Befruchtung der Embryo aus der Blüte isoliert und auf einem künstlichen Nährmedium versorgt. Bei der Ovarienkultur werden bereits die unbefruchteten Eizellen auf künstlichem Nährmedium kultiviert und dort bestäubt (künstliche Befruchtung). Unterscheiden sich die Arten in ihrer Chromosomenzahl, müssen oft 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).</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Können keine fertilen Nachkommen aus der Kreuzung zwischen der Wildart und der Kulturart erzielt werden, oder nur mit geringer Ausbeute, können Brückenkreuzungen durchgeführt werden. Dabei wird die Introgression von Genen aus der weit entfernten Wildart in das Zuchtmaterial in zwei Schritte unterteilt. Zuerst wird die Wildart mit einer näher verwandten Art gekreuzt, die sich anschliessend mit der Kulturart kreuzen lässt. Bei Kreuzungen zwischen verschiedenen Zierpflanzenarten werden teilweise auch andere Techniken eingesetzt. Bei der Pollen-Mentortechnik werden Pollen der gewünschten Vaterpflanze mit Pollen der zu kreuzenden Art der Mutterpflanze gemischt. Der Pollen wurde vorgängig durch Strahlung teillinaktiviert, damit er noch keimfähig aber nicht mehr befruchtungsfähig ist. Der Pollenschlauch der Mentorpollen leitet den Pollenschlauch der gewünschten Vaterpflanze zu den Samenanlagen, die dann befruchtet werden. Bei der Griffeltechnik wird ein Teil des Griffels der weiblichen Pflanze abgeschnitten, damit der Pollen des Vaters nur ein kurzes Stück überwinden muss, bis der Pollen mit der Eizelle verschmelzen kann. Alternativ kann z.B. bei Lilien der Griffel der Vaters auf den Griffel der Mutter gepfropft werden, damit die Pollen des Vaters auf dem arteigenem Griffel zum Keimen gebracht werden und anschliessend durch den Griffel der Mutterpflanze bis zur Eizelle wachsen. Durch interspezifische Kreuzungen mit anschliessender Polyploidisierung (siehe oben) können neue Kulturarten entstehen (z.B. Triticale).</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	<p>Interspezifische Kreuzungen kommen zu geringem Prozentsatz natürlicherweise vor und vergrössern das Anpassungspotential der Pflanzen. Sie sind Teil der Evolution der Pflanzen, das bekannteste Beispiel ist der Weizen, der aus Fusion von drei Genomen, also aus drei Arten entstanden ist.</p>
<b>Hauptanwendungen:</b>	Gängige Praxis in der Züchtung
<b>Beispiele:</b>	<p>Interspezifische Kreuzungen sind bei fast allen Kulturarten eingesetzt worden, um wertvolle Gene in das Zuchtmaterial zu integrieren, z.B. die Einkreuzung von Schorfresistenzgenen aus dem Wildapfel in den Tafelapfel oder Braunrostresistenzen aus Wildgräser in Weizen. Triticale (Weizen x Roggen), Jostabeeren (Johannisbeeren x Stachelbeeren) sind einige Beispiele für die Schaffung neuer Kulturarten durch gezielte interspezifische Kreuzungen mit anschliessender Polyploidisierung.</p>
<b>Chancen:</b>	<p>Durch interspezifische Kreuzungen vergrössert sich der Genpool, der den Züchtern zur Verfügung steht. Viele Resistenzgene sind aus Wildarten in unsere Kulturarten eingekreuzt worden. Durch interspezifische Kreuzungen können auch neue Kulturarten wie z.B. Raps und Triticale entstehen.</p>
<b>Nachteile:</b>	<p>Die Erfolgsrate von interspezifischen Kreuzungen ist oft sehr niedrig, so dass viele Kreuzungen nötig sind. Wenn sich die Chromosomen in der Meiose nicht korrekt paaren, kann es zu Sterilitätsproblemen oder Chromosomenelimination kommen. Oft wird wegen</p>

	mangelnder Homologie der verschiedenen Arten die Rekombination der Gene in der Meiose unterdrückt, so dass selbst nach zahlreichen Rückkreuzungen ganze Chromosomenarme der Wildart noch vorhanden sind. Das hat zur Folge, dass man ausser dem gewünschten Merkmal zahlreiche unerwünschte Merkmale miteingekauft hat (=linkage drag). Fertilität und genetische Stabilität der Nachkommen von interspezifischen Kreuzungen muss daher überprüft werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	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 kompletten Samenbildung nimmt 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.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Möglich	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Austausch von Genen zwischen verwandten Arten
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Möglich	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Knospen/ Blühorgane/ Eizelle + Pollen

<b>Ziel:</b>	<b>Erzeugung von genetischer Variation</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Pfropfen</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Neukombination von Pflanzen; Entstehung von Chimären; Intraspezifisch / Interspezifisch</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei vielen Dauerkulturen (z.B. Apfel, Wein) werden Merkmale verschiedener Pflanzen mithilfe von Pfropfung kombiniert. Dabei bringt die Unterlage z.B. gute Resistenz- oder Wuchseigenschaften mit, während das Edelreis die gewünschten Fruchteigenschaften besitzt. Bei der sogenannten Veredelung werden beide Pflanzen angeschnitten und mechanisch so zusammengefügt, dass die Wachstumsschicht des Reisers mit der Wachstumsschicht der Unterlage in engen Kontakt kommt. Damit sie gut miteinander verwachsen, werden die Unterlage und das Edelreis mechanisch fixiert. Je nach Technik unterscheidet man zwischen Augenveredelung (Einfügen einer Adventivknospe), Reiserveredelung oder Rindenpfropfen. Das Pfropfen ist auch über Artgrenzen hinweg möglich (z.B. Birne + Quitte).	
<b>Modifikationen:</b>	Bei der Mikroveredelung (in vitro Pfropfen) werden die Edelsprosse in vitro vermehrt und anschließend in vitro oder in vivo auf eine entsprechende Unterlage gepfropft (z.B. bei der Rebe und Citruspflanzen).	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Die Propfung ist im Obst- und Weinbau gängige Praxis. Erst durch die Einführung von Reblausresistenten Unterlagen konnte nach der Einschleppung der amerikanischen Reblaus wieder Wein in Europa angebaut werden.	
<b>Beispiele:</b>	Gängige Praxis bei Wein, Apfel, Birne, Kirschen, Tomaten, Kakao	
<b>Chancen:</b>	Durch das Pfropfen können die vegetativ vermehrten Klonsorten wie Apfel, Wein, Kakao ohne Kreuzung und Neukombination der Gene mit Resistenzeigenschaften ausgestattet werden. Dadurch bleiben die Fruchteigenschaften unverändert, während bei Kreuzungen ganz neue Merkmalskombinationen auftreten.	
<b>Nachteile:</b>	Arbeitsaufwendig	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Wenn nur wenig Unterlagen verwendet werden, besteht die Gefahr des Resistenzdurchbruchs	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Überschreitung von Artgrenzen, Verletzung der Integrität der Pflanze. Es wird eine chimäre Pflanze erzeugt, die aus verschiedenen Genomen zusammengesetzt ist.	
<b>Bemerkungen:</b>	Momentan wird in der EU diskutiert, ob Pflanzen, die auf transgene Unterlagen gepfropft werden, ebenfalls unter das Gentechnikgesetz fallen.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Übertragung von gewünschten Merkmalen der Unterlage auf die gepfropfte Pflanze, ohne deren DNA Struktur zu verändern.
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Möglich	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Möglich	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanzenteile

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Phänotypische Selektion im Feld</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Phänotypische Selektion; Feld;</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>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. Da jedoch die phänotypische Ausprägung sowohl vom Genotyp als auch den Umweltbedingungen und deren Wechselwirkungen bestimmt wird, ist es schwierig, den genotypischen Wert einer Pflanze zu schätzen. Um die Präzision der Schätzung zu erhöhen, werden z.B. Feldwiederholungen angelegt. Möchte man eine Sorte züchten, die sehr plastisch reagiert und unter verschiedensten Bedingungen stabile Erträge bringt, werden die Feldversuche an sehr unterschiedlichen Standorten angelegt, die repräsentativ sind für diverse abiotische (z.B. Trockenstress, Hitzestress, Staunässe) und biotische (Krankheitsdruck) Stressfaktoren. Für die Selektion von resistenten Genotypen werden häufig künstliche Infektionen mit diversen Krankheitserregern (z.B. Braunrost, Brandpilze, Viren, Insektenlarven) durchgeführt. Die phänotypische Selektion an Einzelpflanzen unterliegt grossem Schätzfehler, 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 phänotypische 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 Selektionsentscheid vor. Da die Ansprüche an eine optimale Sorte sehr hoch sind, ist es sehr unwahrscheinlich, dass man eine Pflanze findet, die alle günstigen Eigenschaften in sich vereint. Vielmehr ist es die Kunst des Züchters, aus der vorhandenen Variationen den besten Kompromiss zu finden.</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Beim "Shuttle Breeding" 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. Danach werden die ausgelesenen Pflanzen in der nächsten Generation an einem feuchten Standort selektiert. Die dritte Generation wird wieder unter Trockenstress selektiert. Neben der Anpassung an abiotische Stressfaktoren wie Hitze, Frost, Trockenheit, Staunässe, Versalzung, Versauerung etc. wird dieses Verfahren auch eingesetzt, um die Widerstandsfähigkeit gegen diverse Schädlinge und Krankheiten zu verbessern. Dabei werden die Standorte so ausgewählt, dass die pedoklimatischen Bedingungen jeweils unterschiedliche Krankheiten und Schädlinge begünstigen. Bei Getreide wird beispielsweise die erste Spaltungsgeneration an einem eher trockenen und warmen Standort auf Braunrost-Resistenz selektiert und in der zweiten Generation an einem Standort mit hoher Luftfeuchtigkeit auf Septoria-Resistenz. Bei der Züchtung auf Stinkbrandresistenz erfolgt die hintereinandergeschaltete Selektion der Nachkommen an geographisch verschiedenen Standorten, die eine unterschiedliche Population von Pathogenrassen repräsentieren. Das Shuttle Breeding wird vor allem in frühen Generationen eingesetzt, wenn jede Pflanze einer Nachkommenschaft einem eigenständigen Genotyp entspricht. In späteren Generationen sind die Nachkommen hinreichend homogen, so dass parallel mehrortige Prüfungen durchgeführt werden können (Restsaatgutmethode).</p> <p>Bei Nachkommenschaftsprüfungen werden nicht die Einzelpflanzen selbst, sondern deren Nachkommen phänotypisch beurteilt. Auf diese Weise können wiederholte Prüfungen angelegt und der Phänotyp mit höherer Präzision beurteilt werden.</p> <p>Nachkommenschaftsprüfungen ermöglichen es den Zuchtwert einer Pflanze zu schätzen, d.h. vorauszusagen zu wieviel Prozent ein bestimmtes Merkmal einer Pflanze an ihre Nachkommen vererbt wird. Anschliessend werden die Pflanzen gekreuzt, deren Nachkommen überdurchschnittlich gute Eigenschaften hatten.</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	natürliche Selektion

<b>Hauptanwendungen:</b>	Die phänotypische Selektion im Feld ist unabdingbar für alle Zuchtprogramme.	
<b>Beispiele:</b>	gängige Praxis	
<b>Chancen:</b>	Eine Sorte kann an verschiedenen Standorten auf ihre Sortenmerkmale geprüft werden. Je mehr die Selektionsstandorte dem späteren Anbauort entsprechen, desto grösser ist der Selektionserfolg.	
<b>Nachteile:</b>	Sehr kosten- und zeitaufwendig	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Aus Sicht des Biolandbaus ist die Interaktion der Pflanze mit ihrem Standort unter ökologischen Anbaubedingungen eine Grundvoraussetzung für die standortgerechte Weiterentwicklung von Kulturpflanzen.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Genotyp - Umwelt-Interaktion
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch



<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>	
<b>Züchtungs-technik:</b>	<b>Phänotypische Selektion unter kontrollierten Bedingungen</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Phänotypische Selektion; Gewächshaus, Klimakammer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Einzelne meist monogen vererbte Merkmale, wie z.B. Braunrost-Resistenzgene im Weizen, können bereits im Keimlingsstadium im Gewächshaus oder der Klimakammer beurteilt werden. Der Vorteil dabei ist, dass die Umgebungsbedingungen kontrolliert werden können und die Prüfungen auch im Winter möglich sind. Bei vielen quantitativen Merkmalen gibt es hingegen meist eine schwache Korrelation zwischen der Merkmalsausprägung in der Klimakammer und der Ausprägung der adulten Pflanze im Feld. In diesem Falle kann die Prüfung unter kontrollierten Bedingungen nur einen ersten Hinweis liefern, der unter Feldbedingungen verifiziert werden muss.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Selektion auf monogen oder oligogen vererbte Merkmale, die bereits im Jugendstadium oder an Einzelpflanzen mit genügender Präzision erfasst werden können.	
<b>Beispiele:</b>	Selektion auf Resistenz bzw. Toleranz gegenüber Krankheiten nach künstlicher Infektion im Gewächshaus bei Getreide (z.B. Braunrost), Gemüse, Zierpflanzen, Zuckerrüben	
<b>Chancen:</b>	Vorselektion ist in den Wintermonaten möglich. Künstliche Infektionen sind in der Klimakammer einfacher und sicherer durchzuführen als unter Feldbedingungen. In Sicherheitsgewächshäusern ist es auch möglich auf Resistenzen gegenüber Quarantäneorganismen zu selektieren, wie z.B. auf Feuerbrandtoleranz beim Apfel. Aufgrund künstlicher Infektion mit verschiedenen Erregerstämmen können rassenspezifische Resistenzen identifiziert und unterschieden werden.	
<b>Nachteile:</b>	Für jede Kulturarart und jedes Merkmal muss die phänotypische Beurteilung im Jugendstadium unter den gegebenen Anzuchtbedingungen anschließend unter Feldbedingungen verifiziert werden. Nur bei wenigen Merkmalen findet man eine enge Korrelation, die eine effiziente Selektion im Jugendstadium unter kontrollierten Bedingungen ermöglicht.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Vernachlässigung der Umwelteinflüsse.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> eingeschränkte Genotyp - Umwelt Interaktion
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>in vitro Selektion</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Phänotypische Selektion; in vitro;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei der in vitro Selektion werden sterile Pflanzen, Samen, einzelne Pflanzenorgane bis hin zu Einzelzellen (Protoplasten) auf künstlichem Medium auf biotische oder abiotische Stresstoleranz geprüft. Um z.B. Pflanzen mit hoher Salztoleranz zu züchten, werden die in vitro Pflanzen oder Zellkulturen auf salzhaltigem Medium angezogen. 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 Medium mit dem Pathogen oder das von ihm erzeugte Toxin zum Keimen gebracht. Mehltaresistenz kann beispielsweise an Blattsegmenten getestet werden, die auf einem Medium am Leben erhalten werden. Die in vitro Selektion wird angewendet, um möglichst viele Pflanzen oder Zellen auf ein spezifisches Merkmal hin zu prüfen. Es ist eine Art Vorselektion, mit der sich die Zahl der im Feld zu testenden Pflanzen reduzieren lässt. Nach der in vitro Selektion werden die Pflanzen unter Feldbedingungen getestet, um die Ausprägung der Merkmale im Feld zu verifizieren.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Sehr effiziente Selektion für Merkmale, die bereits auf Zellebene erkannt werden können. Für eine in vitro Selektion eignen sich besonders Toleranzen gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren, die durch Veränderung des Nährmedium simuliert werden können. Dies kann beispielsweise durch die Zugabe von hohen Salzgehalten zur Selektion von salztoleranten Sorten oder durch Zugabe von Pilztoxinen zur Selektion auf Resistenz erzielt werden. Je nach Stärke der Stressinduktion kann auf vollständige Resistenz oder partielle Resistenz selektiert werden.	
<b>Beispiele:</b>	In vitro Selektion auf Krankheitsresistenz, Toleranz gegenüber Pilztoxinen, Herbizidresistenz, hohe Aluminium- oder Salzgehalte, niedrige pH-Werte bei Getreide, Gemüse und Zierpflanzen	
<b>Chancen:</b>	Kostengünstige Methode, um eine grosse Anzahl von Genotypen auf kleinstem Raum auf ein einzelnes Merkmal zu selektieren. Durch diese Vorselektion kann die Anzahl der günstigen Merkmalskombinationen, die anschliessend im Feld selektiert werden, stark erhöht werden.	
<b>Nachteile:</b>	Für jede Pflanzenart muss ein spezielles in vitro Protokoll entwickelt werden, das eine optimale Differenzierung der Genotypen erlaubt. Die in vitro Selektion benötigt ausgebildetes Personal sowie eine minimale Laborausstattung (Sterilbank, Klimakammer).	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Selektion in künstlicher Umwelt, Anzucht auf künstlichem Nährmedium und Zugabe von synthetischen Phytohormonen.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine Interaktion mit Umwelt, eventuell erhöhte Mutationsrate (somaklonale Mutation)
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Analytische/technologische Selektion</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Analytisch/technologische Selektion; Labor;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Viele Qualitätseigenschaften oder technologische Eigenschaften können nicht am Phänotyp erkannt werden. Daher wird die Backfähigkeit von Weizen z.B. durch verschiedene Schnelltests im Labor bestimmt, um eine Vorhersage auf das Brotvolumen machen zu können. Bei Brokkoli wird beispielsweise der Gehalt an Glucosinolaten bestimmt, um seine antikanzerogene Wirkung zu verbessern.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Verbesserung von Qualitätseigenschaften	
<b>Beispiele:</b>	gängige Praxis für Qualitätsmerkmale	
<b>Chancen:</b>	Qualitätsmerkmale können entsprechend den Bedürfnissen des Marktes gezielt verbessert werden	
<b>Nachteile:</b>	Qualitätsanalysen sind meist sehr zeit- und kostenaufwendig und benötigen grössere Mengen an Probenmaterial. Viele Qualitätsmerkmale sind polygen vererbt und können an einer Einzelpflanze nicht zuverlässig bestimmt werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Bildschaffende Methoden zur Selektion</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Bildschaffende Methoden; Labor;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Unter dem Oberbegriff bildschaffende Methoden werden verschiedene Methoden, wie die Kupferchloridkristallisation (Biokristallisation), die Steigbildmethode und Rundbildmethode (Chromatest) zusammengefasst. Das Grundprinzip dieser Methoden ist es, die Proben (Pflanzenmuster) einem System z.B. wässrigen Lösungen von Metallsalzen) zuzusetzen, in denen ein formbildender Vorgang stattfindet. Das Ergebnis sind probenspezifische Strukturen bzw. Farben. Bei der Biokristallisation wird z.B. das Kristallisationsvermögen des Kupferchlorids, die Art, Anzahl und Ordnung der Verzweigungen durch die Probe spezifisch beeinflusst. Durch den Vergleich der Bilder mit einer entsprechenden Referenzbilder-Datenbank werden Aussagen über Qualität und Vitalkräfte der Proben abgeleitet.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	Diese Methoden werden vor allem in der biodynamischen Züchtung angewendet zur Steigerung der Vitalkräfte der Lebensmittel.	
<b>Beispiele:</b>		
<b>Chancen:</b>	Mit diesen Methoden können konventionell von ökologisch Produzierten Lebensmittel unterschieden werden.	
<b>Nachteile:</b>	Die Anwendung dieser Methode erfordert sehr viel Erfahrung.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Organoleptische Selektion</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Sensorische Methoden; Verkostung;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Unter organoleptischer Selektion versteht man die Prüfung eines Nahrungs- oder Genussmittels nach Aussehen, Geruch, Geschmack durch die Sinneswahrnehmung des Menschen	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Organoleptische Selektion basierend auf der Verkostungen der Ernteprodukte werden vor allem bei Gemüse, Obst und Gewürzpflanzen routinemässig angewendet.	
<b>Beispiele:</b>		
<b>Chancen:</b>	Die Durchführung organoleptische Tests mit potentiellen Konsumenten ermöglicht eine kundengerechte Selektion	
<b>Nachteile:</b>	Die Präferenzen der einzelnen Verkoster können unterschiedlich sein. Die Durchführung der Tests ist sehr zeit aufwendig. Die Tests müssen zur objektiven Beurteilung verblindet und nach einen bestimmten Versuchsdesign durchgeführt werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Marker-gestützte Selektion (MAS)</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Selektion auf DNA-Ebene; molekulare Marker; Labor</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>Molekulare Marker sind diagnostische Hilfsmittel, die es erlauben, Unterschiede (Polymorphismen) in der DNA-Sequenz sichtbar zu machen. Sie identifizieren Unterschiede von spezifischen DNA-Abschnitten und werden nach Mendelschen Regeln vererbt. Die Visualisierung erfolgt meist in Form von Bandenmustern. Verschiedene Bandenmuster entstehen, wenn z.B. die DNA mit Restriktionsenzymen geschnitten, die geschnittenen DNA-Fragmente nach ihrer Länge aufgetrennt und mit einer kurzen DNA-Sequenz hybridisiert werden (Restriktionsfragment-Längenpolymorphismen, RFLP). Andere Markersysteme beruhen auf der Polymerasekettenreaktion (PCR), bei der einzelne DNA-Sequenzen vermehrt werden, die anschliessend gemäss ihrer Länge aufgetrennt oder sequenziert werden (random amplified polymorphic DNA, RAPD, simple sequence repeats, SSR, single nucleotide polymorphisms SNP, amplified fragment polymorphisms AFLP, etc.). Da sich (mit Ausnahme von Klonen) jede Pflanze auf DNA-Ebene von einer anderen unterscheidet, besitzen Marker, die DNA-Polymorphismen anzeigen können, ein sehr grosses Potential für die Grundlagenforschung und Züchtung.</p> <p>Molekulare Marker, die das gesamte Genom abdecken, ermöglichen die Bestimmung von Verwandtschaftsverhältnissen und können für die Wahl möglichst divergenter Kreuzungseltern eingesetzt werden.</p> <p>Damit molekulare Marker für die Selektion von Merkmalen eingesetzt werden können, müssen zuerst Koppelungsanalysen durchgeführt werden. Dabei werden Marker-Unterschiede auf der DNA-Ebene mit der phänotypischen Merkmalsausprägung im Feld korreliert. Markerbanden, die eng gekoppelt sind mit dem gewünschten Merkmal, können für die Marker-gestützte Selektion verwendet werden. Bei einem monogen vererbten, qualitativen Merkmal genügen zwei benachbarte Marker, bei polygen vererbten (quantitativen) Merkmalen braucht es für jeden Genort (quantitative trait locus = QTL) flankierende Marker. Bei der praktischen Durchführung der Marker-gestützten Selektion wird den spaltenden Kreuzungsnachkommen Blattgewebe entnommen, um daraus DNA für die Markeranalysen zu extrahieren. Die Nachkommen, die die gewünschten Bandenmuster aufweisen, werden selektiert, die anderen werden verworfen.</p> <p>Merkmale, die phänotypisch schwierig oder aufwendig zu erfassen sind und Umwelteinflüssen stark unterliegen, können mithilfe der Markeranalysen sehr effizient selektiert werden. Bei vollständiger Resistenz ist es z.B. phänotypisch nicht möglich zu erkennen, durch welches Gen oder durch wieviele Gene die Resistenz verursacht wird. Mit molekularen Markeranalysen können hingegen die einzelnen Resistenzgene erkannt und gezielt kombiniert (pyramidiert) werden, um so das Risiko eines Resistenzdurchbruchs zu verringern. Aufgrund der fortgeschrittenen Automatisierung kann eine grosse Anzahl an Pflanzen einer Nachkommenschaft auf das Vorhandensein einzelner Gene geprüft werden. Mit Hilfe der Chiptechnologie ist es heute sogar möglich, in kurzer Zeit tausende von Markergenen zu analysieren (Genomselektion).</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Dank moderner Hochdurchsatz-Sequenziermethoden werden in den nächsten Jahre unzählige Informationen über die Vererbung und physiologischen Prozesse von agronomisch relevanten Merkmalen der wichtigsten Kulturarten zur Verfügung stehen. Viele dieser Gene werden lokalisiert und die entsprechenden diagnostischen Marker veröffentlicht werden. Komplette Pflanzengenome werden zur Zeit sequenziert. Um die zugrunde liegenden physiologischen Prozesse für die gewünschte Merkmalsausprägung mit hoher Genauigkeit zu bestimmen, wird momentan auch intensiv an Hochdurchsatz-Methoden zur Merkmalsbestimmung im Feldversuch (Phänotypisierung) gearbeitet. Dies soll in Zukunft eine genomische Selektion auf möglichst viele Merkmale gleichzeitig ermöglichen.</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	

<b>Hauptanwendungen:</b>	Verwandtschaftsanalysen und Identifizierung von genetisch unterschiedlichen Kreuzungspartnern. Marker-gestützte Rückkreuzung zur Introgression von einzelnen Genen aus der Wildart bei möglichst wenig Restgenom der Wildart. Pyramidisierung von verschiedenen monogen vererbten Resistenzgenen, die phänotypisch nicht zu unterscheiden sind. Selektion auf quantitative Merkmale (QTL), die phänotypisch schwierig oder unzuverlässig erfasst werden können. Erstellung von Kernkollektionen für die Genbank, die eine maximale genetische Diversität enthalten und anschliessend im Feld charakterisiert werden können.	
<b>Beispiele:</b>	Einkreuzung von monogen vererbten Resistenzgenen, Restorer genen, Fröhreifegenen aus Wildarten oder unadaptiertem Zuchtmaterial bei Getreide, Mais und Raps durch Marker-gestützte Rückkreuzung. Marker-gestützte Selektion (MAS) auf polygen vererbten Resistenzen, Qualitätsmerkmale und Ertragskomponenten. Ermittlung von Kreuzungspartnern zur Erzielung einer möglichst hohen Hybridleistung bei Mais. Screening von Genbankmaterial auf potentiell neue Resistenzquellen und Gene für andere agronomisch wichtige Merkmale.	
<b>Chancen:</b>	Mit Hilfe der Markeranalysen kann die genetische Diversität der Kulturpflanze und deren Gegenspieler 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 Resistenzdurchbruch. Kopplungsanalysen mit phänotypischen Erhebungen ermöglichen die gezielte Selektion auf monogen und polygen bedingte Merkmale auf DNA-Ebene unabhängig davon, in welcher Umwelt die Nachkommen angezogen werden. Mit Hilfe der Marker-gestützten Selektion können die gewünschten Genkombinationen effizient identifiziert und ausgelesen werden. Aufgrund der rasanten Entwicklung neuer Markertechnologien stehen für die wichtigsten Kulturarten diagnostische Marker zur Verfügung, die mit interessanten Merkmalen gekoppelt sind.	
<b>Nachteile:</b>	Für eine routinemässige Untersuchung muss ein gut ausgerüstetes Labor und geschultes Personal vorhanden sein. Mittlerweile gibt es jedoch unabhängige Firmen, die die Markeranalysen und deren Auswertung als Dienstleistung anbieten.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Wegen des gesundheitlichen Risikos einiger kanzerogener oder mutagener Chemikalien kann die DNA-Analyse nur von geschultem Personal nach entsprechender Sicherheitsanweisung ausgeführt werden.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Die Marker werden nur zu Diagnosezwecken eingesetzt und verändern die DNA der lebenden Pflanzen nicht. Bei der Entwicklung und Anwendung von molekularen Markern werden jedoch Enzyme eingesetzt, die meist aus gentechnisch veränderten Bakterien hergestellt werden. Reduktion der Pflanzen auf ihre DNA-Sequenz, Vernachlässigung von Genotyp-Umwelt Interaktionen und epigenetischen Effekten.	
<b>Bemerkungen:</b>	Fraglich ist, ob DNA-Analysen, die nur für Diagnosezwecke eingesetzt werden und keinen Einfluss auf die Pflanze nehmen, den Biorichtlinien unterliegen müssen oder analog wie andere analytische oder technologische Methoden behandelt werden sollen.	
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Selektion</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Proteomics/Metabolomics</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Selektion auf Genaktivität; Labor;</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>Unter Proteomics versteht man 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. 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. Proteomics beinhaltet die quantitative Analyse der Proteinexpression in den verschiedenen Organen, deren Lokalisation und Funktion. Sie gibt Aufschluss über die Komponenten von Stoffwechselwegen und molekularen Regelkreisen. Analog versteht man unter Metabolomics (Metabolite Profiling) die quantitative Analyse verschiedenster Stoffwechselprodukte (Metabolite). Stoffwechselprodukte, wie z.B. Zucker, Stärke, Fette, Hormone, Vitamine oder Aromastoffe, spielen eine entscheidende Rolle für die Qualität (Nährwert, Geschmack, technologische Eigenschaften) des Ernteguts, sind aber auch verantwortlich für eine Vielzahl von Interaktionen und Anpassungsmechanismen der Pflanze mit ihrer Umwelt (Insektenabwehr, Symbiose mit Mikroorganismen, Anpassung an Kälte, etc.). Während bei der 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. Daher wird nicht nur das Gen selbst, sondern auch die funktionelle Aktivität dieser Gene in unterschiedlichen Pflanzenorganen zu bestimmten Entwicklungsstadien in einer definierten Umwelt erfasst. Durch Unterschiede in der Protein- und Stoffwechsel-Zusammensetzung 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. Kennt man die Funktion der einzelnen Proteine oder Metaboliten, kann direkt auf Protein- oder Stoffwechselebene auf ein bestimmtes Merkmal selektiert werden. So wird z.B. Metabolomics eingesetzt, um die Qualität von Lebensmitteln zu optimieren.</p>
<b>Modifikationen:</b>	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Selektion auf der Basis von Metaboliten wird zur Zeit vor allem bei Obst, Gemüse, Arzneipflanzen, nachwachsende Rohstoffe angewendet, um die organoleptische, ernährungsphysiologische und technologische Qualität zu verbessern.
<b>Beispiele:</b>	Selektion von Tomaten auf hohe Gehalte an ernährungsrelevanten Inhaltsstoffen wie z.B. Carotinoide, Vitamin E, etc. Verbesserung der Ausbeute von pharmakologisch wirksamen Inhaltsstoffen bei Arzneipflanzen. Identifizierung wichtiger Metaboliten für Toleranz von Mais gegenüber Wasserstress und von Gerste gegenüber Phosphormangel.
<b>Chancen:</b>	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. Dabei ergänzen sich die auf den verschiedenen Ebenen erfassten Informationen (z. B. Genotypdaten, Metabolitprofilaten und phänotypische Daten) gegenseitig. 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. Durch die Automatisierung der Markertechnologie konnten die Analysekosten dramatisch gesenkt werden.
<b>Nachteile:</b>	Es ist ein hoher technischer Aufwand zur Automatisierung der Protein- und Stoffwechsel-Analytik notwendig. Die Auswertung der gewonnenen Daten ist extrem komplex und erfordert spezifische Softwareprogramme. Zur Identifizierung von merkmalsrelevanten



	Proteinen und Metaboliten ist eine sehr präzise Beurteilung des Phänotyps notwendig.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	sehr technokratische Methode , Zerlegung der Funktionen der Pflanze und deren Interaktionen mit der Umwelt in ihre Einzelbausteine, reduktionistischer Ansatz	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> nur diagnostisch

<b>Ziel:</b>	<b>Vermehrung</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Generative Vermehrung</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Saatgutvermehrung; Feld, Gewächshaus, Klimakammer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	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 (Linienarten) 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.	
<b>Modifikationen:</b>	Zur Beschleunigung des Zuchtprozesses werden oft Kreuzungen und Zwischenvermehrungen im sogenannten Winterzuchtgarten auf der Südhalbkugel durchgeführt, so dass zwei Vermehrungsgenerationen pro Jahr möglich sind. Weitere Möglichkeiten, die Vermehrung oder Generationenabfolge zu beschleunigen, ist das Einkreuzen von arteigenen oder transgenen (z.B. beim Apfel) Frühreifegenen oder die sogenannte Einzelkornmethode (single seed descent, SSD). Die Einzelkornmethode wird z.B. angewandt um schneller homozygote Inzuchtlinien zu erhalten. Dabei werden die Pflanzen unter Stressbedingungen (z.B. in kleinen Töpfen) angezogen, um eine vorzeitige Notreife zu induzieren. Von jeder Pflanze wird nur ein Korn geerntet und sofort wieder ausgesät. Bei Weizen sind auf diese Weise 3-4 Generationen pro Jahr möglich.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Die meisten Pflanzen vermehren sich über Samennachkommen.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Die meisten Kulturarten werden über Saatgut vermehrt.	
<b>Beispiele:</b>	gängige Praxis	
<b>Chancen:</b>	Einfache Technik zur Vermehrung und Ernte von Samen. Die Samennachkommen haben meist eine hohe Vermehrungsrate. Die getrockneten Samen vieler Kulturarten (z.B. Getreide) sind über lange Zeit lagerfähig und gut transportfähig. Sie können über Jahrzehnte in Genbanken eingefroren werden, ohne ihre Keimfähigkeit zu verlieren. Nicht alle Krankheiten der Elternpflanze werden auf die Samen übertragen.	
<b>Nachteile:</b>	Samennachkommen von heterozygoten Pflanzen spalten in ihren Eigenschaften auf, d.h. sie verlieren beim Nachbau ihre Leistungsfähigkeit. Einige Kulturarten haben eine physikalische oder physiologische Samenruhe, die gebrochen werden muss (siehe Stratifikation). Samenbürtige Krankheiten, wie z.B. der Stinkbrand bei Weizen, werden durch das Saatgut auf die nächste Generation übertragen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Im konventionellen Anbau werden fast alle Samen prophylaktisch gebeizt, um das Wachstum von Samen- und Bodenbürtigen Krankheiten und Schädlingen zu verhindern. Diese Beizmittel können ein erhebliches Risiko für die Umwelt darstellen, so verursachte die Beizung gegen den Maiswurzelbohrer eine erhöhte Bienensterblichkeit.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> Rekombination der Gene in der Meiose
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	

<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/ Population

<b>Ziel:</b>	<b>Vermehrung</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Stratifikation</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Kälte oder Wärmereiz zum Brechen der Keimruhe; Frühbeet, Klimakammer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Die Samen von einigen Pflanzenarten keimen nicht direkt nach der Abreife, sondern befinden sich in einer Keimruhe (Dormanz). Die häufigsten Ursachen für diese Keimruhe sind physikalische (z.B. undurchlässigkeit der Samenschale), chemische (Hemmstoffe in der Samenschale) oder physiologische Keimhemmung des Embryos. Bei der physiologischen Keimhemmung ist der Keimling noch nicht vollständig entwickelt. Diese Samen benötigen zur Weiterentwicklung zuerst eine Kälteperiode (7 -14 Tage bei 5-10°C) oder eine Wärmeperiode (7-14 Tage bei 30-35°C). Diese Behandlung nennt man Kälte- bzw. Wärmestratifikatifation.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Durch die Keimruhe wird verhindert, dass die Samen schon im Herbst auskeimen und die Jungpflanzen über den Winter abfrieren.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Die Stratifikatifation ist vor allem bei Wildpflanzen wichtig.	
<b>Beispiele:</b>	Baldrian	
<b>Chancen:</b>	Durch die Stratifikatifation kann die Keimrate und v.a. der regelmässige Auflauf einiger Pflanzenarten stark verbessert werden.	
<b>Nachteile:</b>	Durch die Kühlebehandlung der feuchten Samen kann es zu Pilzbefall kommen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Samen

<b>Ziel:</b>	<b>Vermehrung</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Vernalisation</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Kältereiz zur Induktion der Blüte; Feld, Frühbeet, Klimakammer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Manche Pflanzenarten benötigen für die Induktion der Blüte eine mehrwöchige Kälteperiode bei Temperaturen zwischen 0 °C und 10 °C (Vernalisation), die bei unterschiedlichen Arten in unterschiedlichen Abschnitten ihres Lebenszyklus stattfinden muss. Bei Wintergetreide und anderen einjährigen Pflanzen können bereits wassergesättigte Samen vernalisiert werden. Bei zweijährigen Pflanzen (z.B. Zuckerrübe), die häufig im ersten Jahr Blattrosetten ausbilden und im folgenden Sommer blühen, kommt es vielfach erst im Rosettenstadium zur Vernalisation, an die sich die mit Streckungswachstum verbundene Bildung der Sprossachse und Blüten anschließt (schossen). Orte der Kälteempfindung sind die Sprossspitze des Embryos bzw. die meristematische Zone des Sprossapex. Die Vernalisation kann durch höhere Temperaturen unterbrochen werden (Devernalisation), wobei eine Revernalisation nach erneuter Kältebehandlung möglich ist. Dabei spielt die Dauer der Kälteperiode eine wesentliche Rolle; nach einer bestimmten Zeit ist die Vernalisation dauerhaft wirksam.	
<b>Modifikationen:</b>	Wenn die Vernalisation nicht am gequollenen Saatgut durchgeführt werden kann, ist es auch möglich die Pflanze in vitro anzuziehen und diese in vitro Kulturen einer Kältebehandlung zu unterziehen (z.B. bei der Zuckerrübe). Dies benötigt weniger Platz als die Pflanzenanzucht und es besteht keine Gefahr von Pilzbefall.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Winterkulturen von Getreide oder Raps durchlaufen nach der Herbstsaussaat eine Kälteperiode während des Winters, so dass sie erst nach dem Winter zur Blüte kommen.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Wintergetreide werden vernalisiert, um mehrere Generationen pro Jahr zu erzielen und um zweijährige Pflanzen schon im ersten Jahr zur Blüte und Abreife zu bringen.	
<b>Beispiele:</b>	vor allem zur Beschleunigung der Saatguterzeugung von Zuchtmaterial	
<b>Chancen:</b>	Durch die Vernalisation kann die Blühinduktion früher ausgelöst werden und die Vermehrung und der Zuchtprogress beschleunigt werden.	
<b>Nachteile:</b>	Durch die Kühlebehandlung der feuchten Samen oder Pflanzen kann es zu verstärktem Pilzbefall kommen.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanzen/Samen

<b>Ziel:</b>	<b>Vermehrung</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Vegetative Vermehrung</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Klonierung der Mutterpflanze; Feld, Frühbeet, Gewächshaus, Klimakammer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei der vegetativen oder asexuellen Vermehrung werden Pflanzen via Steckling, Teilung, Ausläufer, Brutzwiebeln, Knollen etc. vermehrt. Dabei wird die Omnipotenz der Pflanze genutzt, d.h. ihre Fähigkeit, aus einem Organ oder einer einzigen Zeller wieder zur vollständigen Pflanze zu regenerieren. Dabei bleibt der Chromosomensatz unverändert, die Organellen können sich hingegen entmischen. Die vegetative Vermehrung erlaubt es (neben der Apomixis und 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. Zur Förderung der Bewurzelung von Stecklingen wird oft Bewurzelungshormon eingesetzt. Im Obstbau werden die Stecklinge (Edelreis) sehr oft auf Unterlagen aus Sämlingen gepfropft.	
<b>Modifikationen:</b>	Bei der Vermehrung im Gewächshaus wird zunehmend mit bodenfreien Systemen (z.B. Anzucht auf Steinwolle, Schwimmkulturen mit Nährlösung) gearbeitet, um bodenbürtige Krankheiten auszuschliessen und die Kosten zu senken. Bei grossem Krankheitsdruck oder bei vegetativ vermehrten Arten mit geringer Vermehrungsrate bietet die sterile Anzucht auf künstlichem Nährmedium eine Möglichkeit, die Vermehrung massiv zu beschleunigen (siehe in vitro Vermehrung).	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Viele Pflanzen können sich sowohl über Samen als auch über Ausläufer vegetativ vermehren. Einige Pflanzen (z.B. Kava kava) haben ihre Fähigkeit zur Samenbildung verloren und können sich nur noch vegetativ vermehren.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Wird v.a. zur Vermehrung von Klonsorten und von Elternkomponenten für Hybrid- oder Polycross-Sorten eingesetzt.	
<b>Beispiele:</b>	Kartoffel, Wein, viele Obstarten, Cassava, Yam, Zuckerrohr, Banane, Erdbeere, Rhabarber, Hopfen und viele Zierpflanzen.	
<b>Chancen:</b>	Der Vorteil der vegetativen Vermehrung besteht darin, dass die Nachkommen den identischen Genotyp der Mutterpflanze haben, gleichgültig, ob sie heterozygot oder homozygot sind.	
<b>Nachteile:</b>	Nicht alle Pflanzen können kostengünstig vegetativ vermehrt werden. Die Vermehrungsraten sind oft gering und der technische und zeitliche Aufwand beträchtlich. Bei der Vermehrung von Pflanzenteilen ist die Übertragung von Krankheiten und Viren ein sehr grosses Problem. Im konventionellen Landbau werden daher oft Fungizide und Bakterizide eingesetzt. Lebendes Pflanzgut lässt sich schlecht lagern oder transportieren. Daher muss die Erhaltung und Vermehrung kontinuierlich durchgeführt werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Durch die vegetative Vermehrung besteht die Gefahr, dass sich Krankheiten sehr schnell ausbreiten können.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Häufige Anwendung von synthetischen Bewurzelungshormonen und Pestiziden bei der vegetativer Vermehrung.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze/Pflanzenteil/Meristem/Zelle

<b>Ziel:</b>	<b>Virusfreie Vermehrung</b>	
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>Thermobehandlung</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Erzeugung von virusfreien Vermehrungsmaterial durch Wärmebehandlung; Gewächshaus, Klimakammer;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Einige hitzeempfindliche Viren können durch Thermobehandlung eliminiert werden. Dazu werden virusinfizierte Pflanzen in speziellen Wärmekammern für mehrere Wochen je nach Pflanzenart und Virus einer Temperatur von 35°C bis 40°C ausgesetzt. Bei dieser Temperatur ist das Sprosswachstum schneller als die Virusvermehrung und -ausbreitung, so dass der Neuaustrieb virusfrei bleibt. Die Sprossspitzen der Neuaustriebe werden von der Mutterpflanze entnommen und veredelt oder direkt bewurzelt.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Die Pflanze wächst bei höheren Temperaturen dem Virus davon	
<b>Haupt- anwendungen:</b>	Erhaltung von virusfreien Stecklingen im Obstbau und Rebbau	
<b>Beispiele:</b>	Obstbau, Rebbau	
<b>Chancen:</b>	Virusfreies Pflanzenmaterial	
<b>Nachteile:</b>	Die Sprosse müssen neu gepfropft bzw. bewurzelt werden. Die Wärmebehandlung funktioniert nicht zu 100%. Manche Pflanzenarten, wie z.B. Johannisbeeren, reagieren empfindlich auf die Wärmebehandlung. Gewisse Viren werden durch Wärmebehandlung nicht in ihrer Vermehrung gehemmt.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> eventuell erhöhte Mutationsrate
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	
		<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanze / Pflanzenteile

<b>Ziel:</b>	<b>Vermehrung</b>
<b>Züchtungs- technik:</b>	<b>in vitro Vermehrung (vegetative Vermehrung)</b>
<b>Prinzip:</b>	<b>Klonierung der Mutterpflanze; sterile Anzucht, schnelle virusfreie Vermehrung auf Nährmedium; in vitro</b>
<b>Beschreibung:</b>	<p>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 Stengels 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 genügend fortgeschritten ist, werden die Pflanzen abgehärtet und anschliessend in Gewächshäusern und/oder im Feld angepflanzt. In vitro Vermehrung wird oft eingesetzt, um schnell genügend Basismaterial einer neuen Sorte zu erzeugen und damit in den Markt einzusteigen. Zudem wird diese Technik vermehrt zur Erhaltung der Elternlinien von Hybriden und zur Konservierung von wertvollen genetischen Akzessionen (Cryo-Präservation) eingesetzt.</p> <p>Zur Gesunderhaltung von Klonsorten (z.B. Kartoffeln) wird oft eine Meristemkultur verwendet. Dabei wird das Meristem der Sprossspitze verwendet und auf Nährmedium kultiviert. Das Meristem besteht aus noch undifferenzierten Zellen, die zur Teilung fähig sind. Aufgrund der raschen Zellteilung im Meristem, sind diese oft frei von Krankheiten und v.a. frei von Viren. Die Meristemkultur ist oft der einzige Weg, um virenfrees Pflanzmaterial zu erzeugen (Beeren, Blumenzwiebeln, Kartoffeln). Speziell bei vegetativ vermehrten Pflanzen können Viren grosse Probleme bei der Pflanzgutvermehrung bereiten (z.B. Reben, Knoblauch).</p>
<b>Modifikationen:</b>	<p>Um die Vermehrungsrate weiter zu steigern, wurde das Ausgangsmaterial, das aufgrund der Omnipotenz zur ganze Pflanzen regenerieren kann, erweitert. Oft werden kleine Gewebestücke (&lt; 5mm) von Blättern, Nodien oder Blütenständen entnommen und auf Nährmedium kultiviert. 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 somatische Embryonen, die anschliessend auskeimen. Diese Sprosse können zur multiplen Sprossbildung angeregt werden und erreichen einen sehr hohen Vermehrungsfaktor. Diese Methode lässt sich in grossem Masstab und für die automatisierte Produktion einsetzen.</p> <p>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 (Zelle ohne Zellwand) werden freigesetzt. Diese Protoplasten können auf flüssigem Nährmedium zur ganzen Pflanze regeneriert werden (Protoplastenkultur).</p>
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Vermehrung von virusfreiem Pflanzgut, schnelle Vermehrung von Klonsorten und Elternkomponenten von Polycross- und Hybridsorten.
<b>Beispiele:</b>	Meristemkultur zur Erzeugung von virusfreiem Pflanzgut (Kartoffel, Obst, Beeren, Zierpflanzen), Massenvermehrung bei vielen Zierpflanzen (Orchideen) und Medizinalpflanzen. Erhaltung von Klonsorten mithilfe der in vitro Cryokonservation.
<b>Chancen:</b>	Die in vitro Vermehrung ermöglicht es, eine Pflanze genetisch identisch in kürzester Zeit 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 können. Die in vitro Pflanzen aus schnellwachsendem Gewebe sind darüberhinaus virusfrei. 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.
<b>Nachteile:</b>	Für jede Pflanzenart muss ein spezielles in vitro Protokoll entwickelt werden. Nicht alle Pflanzenarten können gleich gut regeneriert werden. Ausserdem gibt es genotypische



	Unterschiede. Bei kranken Ausgangspflanzen ist es manchmal sehr aufwendig bis das Pflanzengewebe steril ist und in Kultur genommen werden kann. Für die Überführung der sterilen Pflanzen in unsterile Erde bedarf es einer Akklimatisationsphase. Während dieser Zeit müssen die Pflanzen speziell sorgsam behandelt werden. Die in vitro Vermehrung benötigt ausgebildetes Personal sowie eine minimale Laborausrüstung (Sterilbank, Klimakammer).	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Anzucht auf künstlichem Nährmedium und Zugabe von synthetischen Phytohormonen.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> Pflanzenteile/Meristem/Zelle

<b>Ziel:</b>	<b>Vermehrung</b>	
<b>Züchtungs-technik:</b>	<b>Apomixis</b>	
<b>Prinzip:</b>	<b>Klonierung der Mutterpflanze; genetisch identische Vermehrung über Samen ohne Befruchtung;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Einige Pflanzenarten (Wiesenrispengras, Orangen, Johanniskraut, Löwenzahn) können sich asexuell durch Samen vermehren. Es kommt dabei nicht zur Verschmelzung von haploidem Pollen und haploider Eizelle wie bei der sexuellen Vermehrung, sondern die diploiden Nachkommen entwickelt sich aus der diploiden Eizelle, bei der die Meiose entweder unterdrückt oder umgangen wurde. Die Samennachkommen sind daher genetisch identisch mit der Mutterpflanze. Es gibt obligat apomiktische Pflanzen, die nur apomiktische Nachkommen produzieren und fakultativ apomiktische Pflanzen, die sowohl sexuelle als auch apomiktische Nachkommen bilden. Trotz der asexuellen Vermehrung ist meist eine Bestäubung notwendig, damit es überhaupt zur Samenbildung kommt. Viele apomiktische Arten sind polyploid.	
<b>Modifikationen:</b>	Um die asexuelle Samenvermehrung in anderen Kulturpflanzen nutzen zu können werden zur Zeit die genetischen Grundlagen für die Apomixis erforscht. Ähnlich wie beim Reverse Breeding (siehe oben), würde dies erlauben eine heterozygote Pflanze schnell via Samen genetisch identisch zu vermehren, ohne auf vegetative Vermehrung angewiesen zu sein. Die Nachkommen sind heterozygot, homogen und genetisch identisch zur Mutterpflanze wie eine vegetativ vermehrte Klonsorte.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Natürlicher Mechanismus der Pflanzen zur Unterdrückung der Rekombination.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Aufgrund der Apomixis können heterozygoten Sorten entwickelt werden, die genetisch homogen sind wie Klonsorten, aber über Samen vermehrt werden können.	
<b>Beispiele:</b>	Die Sorten von Wiesenrispe und Johanniskraut werden normalerweise apomiktisch vermehrt.	
<b>Chancen:</b>	Die grossen Vorteile der Apomixis gegenüber der vegetativen Vermehrung sind die höhere Vermehrungsrate 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.	
<b>Nachteile:</b>	Obligat apomiktische Pflanzen produzieren zu 100% Nachkommen, die genetisch identisch sind, sie können aber nicht gekreuzt werden. Daher benötigt man andere Methoden, um die genetische Diversität zu erhöhen, wie z.B. die Protoplastenfusion. Bei fakultativ apomiktischen Pflanzen muss ein gutes Selektionssystem gefunden werden, um die sexuellen von den asexuellen Nachkommen unterscheiden zu können.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Apomiktisch vermehrte Pflanzen können nicht zur Weiterzucht verwendet werden, da die Samennachkommenschaften genetisch identisch zur Mutterpflanze sind.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Verletzung der Integrität des Genoms:</b>	Nein	<b>Einfügen isolierter DNA/RNA in Zellkern:</b> Nein
<b>Verletzung der Integrität der Zelle:</b>	Nein	<b>Wesentliche genetische Veränderung:</b> keine, Erhaltung des Genotyps
<b>Einschränkung der Fortpflanzungsfähigkeit:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Ja	
<b>Überschreitung von Kreuzungsbarrieren:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	<b>Ebene des Eingriffs:</b> asexuelle Samen

<b>Sortentyp:</b>	<b>Klonsorten</b>
<b>Charakteristika:</b>	<b>vegetativ vermehrt; heterozygot, homogen;</b>
<b>Beschreibung:</b>	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 Grundschemata der Klonzüchtung erfolgt in drei Stufen: a) Schaffung von genetischer Variabilität durch sexuelle Vermehrung, b) anschließende Selektion der Kreuzungsnachkommen und c) 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 der Samen kommt es zu einer grossen phänotypischen Aufspaltung.
<b>Modifikationen:</b>	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Vegetative Vermehrung durch Ausläufer, Bestockung, Brutzwiebeln etc.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Klonsorten sind vor allem bei mehrjährigen Kulturen verbreitet und Kulturarten mit einer hohen vegetativen Vermehrungsrate.
<b>Beispiele:</b>	Kartoffel, Wein, Obstsorten, Cassava, Yam, Zuckerrohr, Banane, Erdbeere, Rhabarber, Hopfen und viele Zierpflanzen.
<b>Chancen:</b>	Klonsorten können in wenigen (4-5) Jahren gezüchtet werden, da bereits in der ersten Kreuzungsnachkommenschaft die Pflanzen selektiert werden können. Einmalig aufgetretene Phänotypen können erhalten und vermehrt werden. Sie können die je nach Divergenz der Ausgangseltern die maximale Heterosis nutzen.
<b>Nachteile:</b>	Die Vermehrungsrate ist meist kleiner als bei generativ vermehrten Kulturpflanzen. Bei der vegetativen Vermehrung gibt es oft Probleme mit Krankheitsbefall und dem Leistungsabbau (Degeneration) der Klone nach vielen Vermehrungsgenerationen. Die Klonteile können in der Regel nicht überlagert werden wie Saatgut.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Durch die Homogenität der Sorten besteht ein erhöhtes Risiko gegenüber Anfälligkeit von Krankheiten, was durch die vegetative Vermehrung zusätzlich verschärft wird.
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	
<b>Bemerkungen:</b>	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein

<b>Sortentyp:</b> <b>Liniensorten (Inzuchtlinien)</b>	
<b>Charakteristika:</b> <b>generativ vermehrt; homozygot, homogen;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei Pflanzenarten, die sich normalerweise durch Selbstbefruchtung vermehren, werden in der Regel Inzuchtlinien, d.h. Liniensorten entwickelt. Das Grundschemata der Linien- oder Pedigreezüchtung erfolgt in mehreren Schritten: a) Schaffung von genetischer Variabilität durch gezielte Kreuzung zweier Eltern, b) Vermehrung der homogenen F1-Nachkommenschaft durch fortgesetzte Selbstbefruchtung, c) Massenauslese in den spaltenden F2 bis F4 Generationen, d) Einzelpflanzenauslese in den F5 bis F8 Generationen und e) anschließende 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.
<b>Modifikationen:</b>	Aus der heterozygoten F1-Kreuzungsnachkommenschaft können mithilfe verschiedener in vitro Methoden oder der Bestäubung mit einer Induktorlinie Doppelhaploide, sogenannte DH-Linien (siehe oben) erstellt werden. So liegen bereits in der zweiten Generation vollständig homozyote Pflanzen vor, die genetisch stabil sind. Sie können direkt auf die gewünschten Sorteneigenschaften geprüft werden und durch Saatgutvermehrung erhalten werden. Durch die Entwicklung von DH-Linien kann der Züchtungsprozess stark beschleunigt werden. Bei Gerste gehört die Erzeugung von DH-Linien zur gängigen Praxis.
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Selbstbefruchtende Arten haben eine sehr hohe Inzuchtrate. Negative Allele wurden im Laufe der (natürlichen) Selektion bereits ausgemerzt, daher ist die Inzuchtdepression gering.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Gängige Praxis bei selbstbefruchtenden Kulturarten.
<b>Beispiele:</b>	Weizen, Gerste, Hafer, Reis, Triticale, Erbse, Sojabohnen, Phaseolusbohne
<b>Chancen:</b>	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.
<b>Nachteile:</b>	Die Entwicklung von Liniensorten ist sehr langwierig. Die meisten Sorteneigenschaften können erst in fortgeschrittenen Selbstungsgenerationen zuverlässig erfasst werden. Von der Kreuzung bis zur Anmeldung einer ausreichend homogenen und genetisch stabilen Sorte dauert es bei Getreide ca. 10 Jahre. In Liniensorten kann die Heterosis nicht genutzt werden.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	Sorten sind genetisch sehr eng und daher am anfälligsten gegenüber Krankheiten und Schädlingen.
<b>Bemerkungen:</b>	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein

<b>Sortentyp:</b>	<b>Evolutionsramsche (composite cross populations)</b>
<b>Charakteristika:</b>	<b>generativ vermehrt; vorwiegend homozygot, heterogen;</b>
<b>Beschreibung:</b>	Evolutionramsche v.a. bei Selbstbefruchtern werden propagiert, um eine höhere genetische Diversität innerhalb der Sorten zu erreichen. Dazu werden bei Selbstbefruchtern in einer ersten Phase viele Kreuzungen zwischen Elitesorten durchgeführt. Die spaltenden Nachkommenschaften werden anschliessend gemeinsam (als Ramsch) vermehrt. 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 (mind. 95% homozygot).
<b>Modifikationen:</b>	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Bei vielen Selbstbefruchtern kann in Stressumwelten der Anteil an Fremdbefruchtung zunehmen und so die Auskreuzungsrate und Neukombination der Gene gefördert werden. Natürliche Selektion führt zur Diversifizierung und Artbildung, die verschiedene ökologische Nischen besetzen.
<b>Hauptanwendungen:</b>	Erste Pilotversuche bei selbstbefruchtenden Arten
<b>Beispiele:</b>	Evolutionramsche wurden beispielsweise von Gerste und Weizen entwickelt
<b>Chancen:</b>	Evolutionramsche 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.
<b>Nachteile:</b>	Der Kreuzungsaufwand zur Erstellung der Evolutionramsche ist sehr hoch. Aufgrund der Heterogenität der Sorten ist es schwierig, eine homogene Abreife und Produktqualität (z.B. Backqualität von Brotweizen) zu erreichen. Ausserdem ist es zur Zeit nicht möglich, für sehr heterogene Populationen eine Sortenerkennung nach geltender UPOV-Regelung zu erlangen (Ausnahme: Nischensorten in der Schweiz).
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	
<b>Bemerkungen:</b>	Sorten aus Evolutionramschen sind bisher noch wenig verbreitet. Oft dienen die Evolutionramsche als Genpool für partizipative dezentrale Züchtungsprogramme.
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein

<b>Sortentyp:</b>	<b>Populationsorten</b>
<b>Charakteristika:</b>	<b>generativ vermehrt; heterozygot,mässig homogen;</b>
<b>Beschreibung:</b>	Bei Pflanzenarten, die sich normalerweise durch Fremdbefruchtung vermehren, werden traditionellerweise Populationsorten entwickelt. Die einfachste Methode der Populationszüchtung ist die Massenauslese zur Verbesserung der Ausgangspopulation. Dabei werden Pflanzen mit ungünstigen Eigenschaften vor der Blüte eliminiert (negative Auslese). Danach blühen die restlichen Pflanzen zusammen ab. Vor der Ernte werden entweder erneut negative Pflanzen ausselektiert oder nur die besten Einzelpflanzen geerntet (positive Auslese). Die Ernte wird anschliessend zusammen vermehrt. Durch das gemeinsame Abblühen befinden sich die Populationen im Gleichgewicht und können als offenabblühende Sorte weiter vermehrt werden. Um den Selektionserfolg zu erhöhen, können statt einfacher Massenauslese auch Pärchenkreuzungen der besten Einzelpflanzen und rekurrente Selektion durchgeführt werden. Zur Erhaltung der Sorte muss eine relativ aufwendige Erhaltungszüchtung betrieben werden, z.B. müssen die Populationsorten räumlich gut von anderen Populationen getrennt werden, damit sie ihre Sorteneigenschaften behalten. Die Populationsorten besitzen einen mittleren bis hohen Heterozygotiegrad und sind nur mässig homogen. Dies führt gelegentlich zu Problemen bei der Sortenanmeldung. Damit das Leistungsniveau der Populationsorte erhalten bleibt, ist darauf zu achten, dass bei der Erhaltungszüchtung die Populationsgrösse ausreicht, um Inzucht zu vermeiden.
<b>Modifikationen:</b>	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Fremdbefruchter oder partielle Fremdbefruchter eines Verbreitungsgebiets (freier Austausch von Pollen) bilden eine Population.
<b>Hauptanwendungen:</b>	traditionelle Praxis bei fremdbefruchtenden Arten
<b>Beispiele:</b>	Roggen, Mais, Raps, Kohl,
<b>Chancen:</b>	Populationsorten sind genetisch heterogen und heterozygot. Sie können ca. 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.
<b>Nachteile:</b>	Die genetische Verbesserung einer Populationsorte ist schwierig, da immer auch negative Allele in der Population mitvermehrt werden, die im heterozygoten Zustand nicht erkannt werden können. Durch rekurrente Selektion können die Allelfrequenzen der positiven Allele nur allmählich verbessert werden. Es muss jeweils ein Kompromiss gefunden werden zwischen ausreichender genetischer Varianz und hinreichender Homogenität. Für die Erhaltungszüchtung ist es wichtig, dass die Population ausreichend gross ist, um Inzucht auszuschliessen.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	
<b>Bemerkungen:</b>	
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein

<b>Sortentyp:</b>	<b>Polycross-Sorten (Mehrkomponenten-Sorten)</b>	
<b>Charakteristika:</b>	<b>vegetativ /generativ vermehrt; heterozygot, homogen;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei Polycross-Sorten wird versucht, die Homogenität einer Populationsorte 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 Populationsorten. Sie können über einige Generationen durch offenes Abblühen vermehrt werden. Danach muss wieder neues Kreuzungssaatgut aus den Elternkomponenten erstellt werden. Die Elternkomponenten werden entweder durch vegetative Vermehrung, Selbstung oder Geschwisterkreuzung erhalten. Die Polycross-Sorten werden v.a. bei obligaten oder fakultativen Fremdbefruchtern eingesetzt. Wichtig ist dabei, dass diese Elternkomponenten zuvor auf ihre Kombinationsfähigkeit miteinander geprüft wurden. Polycross-Sorten werden auch als Mehrkomponentensorten oder synthetische Sorten bezeichnet. Sie sind eine Zwischenstufe zwischen den Populationsorten, die durch offenes Abblühen erhalten werden, und den Hybridensorten, die in jeder Generation neu aus den Elternlinien erstellt werden müssen, um ihr maximales Ertragspotenzial zu erhalten.	
<b>Modifikationen:</b>	Sind die Elternkomponenten genetisch sehr breit und wird Selbstbefruchtung z.B. durch Selbstinkompatibilität ausgeschlossen, können diese Polycross-Sorten durch kontinuierliche Fremdbestäubung als Populationsorten weitervermehrt werden.	
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>		
<b>Hauptanwendungen:</b>	gängige Praxis in der Futtergräserzüchtung und bei partiellen Fremdbefruchtern	
<b>Beispiele:</b>	Ackerbohnen, Futtergräser, Mais	
<b>Chancen:</b>	Polycross-Sorten nutzen ca. Dreiviertel der maximalen Heterosis. Sie sind heterozygot, aber homogener als Populationsorten. Im Gegensatz zu Hybriden können sie einige Generationen durch die Landwirte nachgebaut werden, ohne dass das Leistungsniveau stark abfällt.	
<b>Nachteile:</b>	Nach 3-5 Generationen müssen die Polycross-Sorten wieder neu aus den Elternkomponenten erstellt werden. Daher müssen alle Elternkomponenten erhalten werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>		
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>		
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Nein	

<b>Sortentyp:</b>	<b>Hybriden</b>
<b>Charakteristika:</b>	<b>generativ vermehrt; heterozygot, sehr homogen;</b>
<b>Beschreibung:</b>	Bei der Hybridzüchtung wird versucht den sogenannten Heterosiseffekt zu nutzen. Als Heterosis 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. Dies ist vor allem bei Fremdbefruchtern sehr ausgeprägt. 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 sehr 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. Dies ist sehr aufwendig, da bei der Kreuzung der Elternlinien eine Selbstbefruchtung unbedingt verhindert werden muss, um Inzucht zu vermeiden. Damit das Hybridsaatgut mit vertretbarem Aufwand produziert werden kann, muss daher die Mutterlinie entweder männlich steril sein oder einfach kastriert werden können. Bei monözischen (einhäusigen) Pflanzen, bei denen der männliche und weibliche Blütenstand physisch getrennt sind, wird die männliche Blüte mechanisch entfernt (z.B. bei Mais). Bei einigen Gemüsearten und Baumwolle werden die Mutterpflanzen mit der Pinzette manuell kastriert. Am meisten verbreitet ist jedoch 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. Daher werden Vaterlinien selektiert, die sogenannte Restorergene besitzen. Diese Restorergene werden chromosomal vererbt und können die männliche Fertilität im CMS-Plasma wieder herstellen.
<b>Modifikationen:</b>	Neben der Erstellung von Hybriden aus zwei Inzuchtlinien A x B (Einweg-Hybriden) werden gelegentlich Dreiweg-Hybriden erstellt. Dabei ist die Mutterlinie selbst aus einer Kreuzung hervorgegangen und wird anschliessend mit einer Vaterlinie gekreuzt (AxB)xC. Bei Vierweg-Hybriden sind beide Eltern aus Kreuzungen hervorgegangen (AxB)x(CxD). Heterozygote Mutterlinien haben den Vorteil, dass die Hybridsaatgutproduktion ertragreicher ist, als wenn das Saatgut auf einer Inzuchtlinie produziert wird. Bei Mais sind Inzuchtlinien z.B. nicht ausreichend konkurrenzfähig gegenüber Beikräutern unter ökologischen Anbaubedingungen. Analog zu der Entwicklung von Liniensorten, können auch bei der Hybridzüchtung Doppelhaploide -Linien eingesetzt werden, um den Züchtungsprozess zu beschleunigen.
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Hybridpflanzen, die aus intraspezifischen oder interspezifischen Kreuzungen entstehen, sind in der Natur weit verbreitet. Bei vielen Pflanzenarten gibt es zudem verschiedene Mechanismen zur Vermeidung oder Reduktion der Selbstbefruchtung.
<b>Hauptanwendungen:</b>	gängige Praxis bei fremdbefruchtenden Arten und immer mehr auch bei Selbstbefruchtern wie Tomate und Weizen
<b>Beispiele:</b>	Hybriden von Mais, Roggen, Raps, Reis, Weizen, Sonnenblumen, Möhren, Kohl, Baumwolle
<b>Chancen:</b>	Bei Hybriden werden jeweils die besten Elternkombinationen ausgewählt und genetisch fixiert. Dabei wird die maximale Heterosisleistung ausgenutzt, während bei Populationsorten nur die mittlere Heterosis erreicht werden kann. Hybridsorten sind sehr homogen und haben ein sehr hohes Leistungsniveau.
<b>Nachteile:</b>	Das Hybridsaatgut muss immer neu aus den Elternlinien erstellt werden um das hohe Leistungsniveau zu erhalten. Dies ist aufwendig und verteuert das Saatgut.
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	
<b>Kritische Punkte</b>	Hybriden können nicht ohne Leistungsabfall nachgebaut werden. Schränkt die Autonomie



<b>aus Sicht des Biolandbaus:</b>	des Landwirts ein und fördert Abhängigkeit von Saatzuchtunternehmen.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	Nein	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Ja	

<b>Sortentyp:</b>	<b>Plus-Hybriden mit Xenieneffekt</b>	
<b>Charakteristika:</b>	<b>generativ vermehrt; heterozygot, sehr homogen;</b>	
<b>Beschreibung:</b>	Bei dem Plus-Hybrid System wird eine cytoplasmatische 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 von direkter Einfluss der männlichen Sterilität (benötigen keine Energie für Pollenproduktion) und dem Xenien-Effekt. Der Xenieneffekt tritt auf, wenn eine Eizelle von Pollen bestäubt wird, der nicht mit dem mütterlichen Narbengewebe übereinstimmt, und bewirkt die Bildung grösserer Samen.	
<b>Modifikationen:</b>		
<b>Homologie zu natürlichen Phänomenen:</b>	Bei vielen fremdbefruchtenden Arten verhindern Selbstinkompatibilitätsgene oder Blütenmorphologie die Befruchtung der Eizelle mit Pollen derselben genetischen Konstitution.	
<b>Hauptanwendungen:</b>	Plus-Hybriden mit Xenieneffekte werden v.a. bei Mais angewendet, nachdem die Saatgutproduktion zunehmend auf CMS Hybriden umgestellt wurde.	
<b>Beispiele:</b>	Grössere Samen für Maiskeimöl	
<b>Chancen:</b>	Xenieneffekte ermöglichen durch Erhöhung des Korngewichts zusätzliche Ertragssteigerungen. Die Beimischung von 20% unverwandten fertilen Hybriden erhöht die genetische Diversität im Feld.	
<b>Nachteile:</b>	Kann nur in Kombination mit CMS-Hybriden angewendet werden.	
<b>Risiken für Umwelt + Gesundheit:</b>	Meist sind nur wenige Cytoplasmen verfügbar die männliche Sterilität auslösen. Daher werden oft nur ein oder zwei Cytoplasmaquelle grossflächig angebaut. So hatte die Einführung von CMS Hybriden bei Mais basierend auf dem Texas-Cytoplasma in den 70er Jahren in den USA zu grossen Ertragsausfällen geführt, da dieses T-Plasma eine besonders hohe Anfälligkeit für Blattdürrekrankheit hatte.	
<b>Kritische Punkte aus Sicht des Biolandbaus:</b>	CMS Hybriden 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.	
<b>Bemerkungen:</b>		
<b>Einschränkung der züchterischen Weiterentwicklung:</b>	falls kein Restorersystem	
<b>Einschränkung der Nachbaufähigkeit:</b>	Ja	

## Glossar

**Akzession:** entspricht einer genetischen Herkunft einer Genbanken oder Sammlung, die auf Nachkommen einzelner Pflanzen, Populationen oder Landsorten zurückgehen, die in einer bestimmten geographischen Region gesammelt wurden. Da die Abstammung meist unbekannt ist und die Nachkommen sehr inhomogen sein können, werden sie nicht als Genotyp, sondern mit dem weiter gefassten Begriff Akzession bezeichnet.

**Allele:** alternative Zustandsformen oder Ausprägungen eines Gens. Eine diploide Pflanze besitzt für jedes Gen zwei Allele, die auf homologen Chromosomen lokalisiert sind.

**Antheren:** Staubbeutel, männliche Blühorgane, in denen Pollen produziert wird

**Antisense-Technik:** molekularbiologisches Verfahren, um die Aktivität eines bestimmten Gens zu blockieren

**Basentriplett:** Codierungseinheit aus drei aufeinanderfolgenden DNA-Bausteinen, die für eine bestimmte Aminosäure codieren

**Bestäubung:** Pollen wird via Wind oder Insekten auf das weibliche Blühorgan (den Griffel) übertragen

**Chimären:** ein Organismus, der aus genetisch unterschiedlichen Zellen bzw. Geweben aufgebaut ist und dennoch ein einheitliches Individuum darstellt, z.B. durch Pfropfen. Intrazelluläre Chimären enthalten in einer Zelle Kern-, Plastiden- oder Mitochondrien-Genome verschiedener Arten. Dies geschieht etwa experimentell durch Protoplastenfusion, oder bei Hybridbildung bei Arten, in denen Plastiden und Mitochondrien durch beide Elternteile vererbt werden

**Chromosom:** Träger der Erbinformation im Zellkern, bestehend aus DNA und Proteinen (Histonen)

**Cisgene Pflanzen:** bei der Transformation werden Gene derselben oder nah verwandter kreuzbarer Arten übertragen, im Gegensatz zu transgenen Pflanzen, bei denen Artgrenzen überschritten werden

**CMS=Cytoplasmatisch männliche Sterilität:** fehlende oder unvollständige Ausbildung der männlichen Blütenorgane, die auf eine Fehlfunktion der Mitochondrien zurückzuführen ist. Diese Fehlfunktion kommt zustande, wenn das Zusammenspiel von Kerngenom und mitochondrialer DNA gestört ist. Meist wird dies von einer Mutation in der mitochondrialen DNA verursacht. Die männliche Fertilität kann in der Regel durch Kerngene, sogenannte Restorerene, wieder hergestellt werden.

**Codon:** Basentriplett der mRNA, das in eine bestimmte Aminosäure übersetzt wird

**Colchizin:** Alkaloid der Herbstzeitlosen. Verhindert die Chromosomenverteilung an die Tochterzellen während der Anaphase der Mitose und führt zu einer Chromosomenverdoppelung.

**Crossover-Event:** Homologe Chromosomen können während der Meiose Gene miteinander austauschen. Dabei brechen beide Chromosomenarme an der homologen Stelle und wachsen über Kreuz wieder zusammen. Dadurch können die Gene neu verteilt, rekombiniert werden

**Cytoplasma:** Gesamtheit des Zellinhaltes abgesehen von den Organellen (z. B. Chloroplasten, Mitochondrien, Vakuolen, Zellkern und Zellwand)

**Cytoplast:** Zelle ohne Zellwand und Zellkern, entspricht einem Protoplast ohne Zellkern

**Diploid:** diploide Pflanzen enthalten zwei Kopien eines vollständigen Chromosomensatzes (Genom), d. h. jedes Chromosom gibt es in zwei Ausführungen (von der Mutter und vom Vater), beide zusammen bilden jeweils ein homologes Chromosomenpaar

**DNA = desoxyribonucleic acid (Desoxyribonukleinsäure):** Trägerin der genetischen Information

**Dominante Vererbung:** in einer diploiden Pflanze kommen maximal zwei verschiedene Allele pro Genort vor. Für monogen vererbte Merkmale kann das eine Allel eine Dominanz gegenüber dem anderen Allel aufweisen. In diesem Fall kommt nur das dominante Allel zur Merkmalsausprägung, während das andere rezessive Allel keinen Einfluss auf den Phänotyp hat. Die phänotypische Merkmalsausprägung ist identisch, egal ob das dominante Allel in einer Kopie (heterozygot, Aa) oder zwei Kopien (homozygot, AA) vorliegt.

**Doppelhaploide = DH-Linie:** nach identischer Verdoppelung des haploiden Chromosomensatzes entstandene Pflanze, die vollständig homozygot und diploid ist

**EMS:** Ethylmethansulfonat, mutagene Substanz

**Epigenetik:** Wissenschaft von jenen Mechanismen, die die Genaktivität in der Zelle kontrollieren. Es werden einzelne Gene oder Gensegmente ein- oder ausgeschaltet, ohne die DNA-Sequenz zu ändern. Dies führt zu übergeordneten Expressionsmustern, die nicht durch die DNA Sequenz vorbestimmt sind. Diese Expressionsmuster können auf benachbarte Zellen übertragen und von Eltern an ihre Nachkommen weitergegeben werden. Durch diese Expressionsmuster kommt es zu Änderungen in der Morphologie oder Physiologie der Pflanze. Epigenetik spielt eine Rolle bei der Abwehr von Viren, der Kontrolle von Transposons und vor allem bei der Entwicklung und beim Wachstum von Pflanzen. Viele Gene dürfen nur zu bestimmten Zeitpunkten in einem spezifischen Zelltyp aktiv sein und müssen ansonsten stabil

unterdrückt werden. Die Anpassung von Pflanzen an wechselnde Umweltbedingungen geschieht teilweise über epigenetische Änderungen.

**Epistasie:** Phänomen, dass ein Gen die Merkmalsausprägung eines anderen Gens beeinflussen oder verhindern kann

**Fremdbestäubung:** Bestäubung einer Pflanze mit dem Pollen einer anderen Pflanze

**Gen:** vererbbarer Faktor, der für die Ausprägung einer bestimmten Eigenschaft verantwortlich ist. DNA-Sequenz, die in ein funktionelles Protein umgesetzt werden kann

**Gene Stacking:** eine transgene Pflanze enthält eine Kombination von neuen Genen, die entweder zusammen in einem Genkonstrukt oder in verschiedenen Genkonstrukten übertragen wurden.

**Genlocus:** Ort auf dem Chromosom, an dem ein Gen lokalisiert ist (Genort)

**Genom:** Gesamtheit der Erbinformation eines Organismus (alle Chromosomen zusammen und die extrachromosomale DNA)

**Genotyp:** Gesamtheit der Erbanlagen eines Organismus; auf ein Gen bezogen: Zustandsform an einem Genlocus (z. B. Aa)

**Genübertragung direkt:** das Gen wird direkt in eine Zelle der Empfängerpflanze eingebaut, z.B. durch Inkubieren von Protoplasten mit einer DNA-Lösung

**Genübertragung indirekt:** das Gen wird zunächst in einen biologischen Vektor, meist ein Plasmid in Bakterien oder Viren, eingebaut und dann durch das Bakterium oder Virus in eine Zelle der Empfängerpflanze übertragen (bekanntestes Beispiel: Gentransfer mit Hilfe des Ti-Plasmids von *Agrobacterium tumefaciens*)

**Glufosinat:** herbizider Wirkstoff zur Unkrautkontrolle. Die Wirkung beruht auf der Hemmung eines Schlüsselenzyms des Stickstoff-Stoffwechsels (Glutaminsynthetase). Als Folge häuft sich das Zellgift Ammoniak in der Pflanzenzelle an, und alle grünen Pflanzenteile sterben nach wenigen Tagen ab. Glyphosat ist beispielsweise in dem Herbizid Basta oder Liberty enthalten.

**Glyphosat:** herbizider Wirkstoff, der in der ganzen Pflanze verteilt wird. Glyphosphat hemmt ein Schlüsselenzym (EPSP-Synthetase) der Synthese von aromatischen Aminosäuren. Ohne diese Aminosäuren sind die Pflanzen nicht überlebensfähig und sterben in wenigen Tagen ab.

**GMO:** Gentechnisch veränderter Organismus (genetically modified organism)

**Grüne Biotechnologie (Pflanzenbiotechnologie):** moderne Methoden der Biochemie, Systembiologie, Mikrobiologie, Molekularbiologie und Verfahrenstechnik, um Nutzpflanzen zu verbessern, pflanzliche Inhaltsstoffe (Phytochemikalien, Sekundärmetabolite) oder Fasern zu gewinnen oder um pflanzliche Enzyme bzw. Wirkprinzipien (Bionik) für neue Anwendungsbereiche zu erschließen. Die Übergänge zu den anderen Zweigen der Biotechnologie sind fließend. So können pflanzliche Zellen oder Enzyme zur Produktion von industriellen Stoffen (weisse Biotechnologie) oder Medikamenten (rote Biotechnologie oder Pharmazeutische Biotechnologie) genutzt werden. Auch zur Entgiftung von Böden (Phytoremediation) oder als Umweltsensoren sind Pflanzen geeignet (graue oder braune Biotechnologie).

**Grüne Gentechnik (Agrogentechnik):** Anwendung gentechnischer Verfahren im Bereich der Pflanzenzüchtung zur Herstellung von gentechnisch veränderten Sorten (GVO), in deren Erbgut gezielt einzelne Gene eingeschleust werden. Die Grüne Gentechnik ist somit Bestandteil der Grünen Biotechnologie

**GURT (= Genetic use restriction technology):** Schutzvorrichtung zur Verhinderung unautorisierter Nutzung von speziellen Pflanzen bzw. speziellen Technologien. Die Pflanzen werden genetisch so verändert, dass sie keine fertilen Samen hervorbringen (V-GURT, variety level) oder dass das Genkonstrukt erst aktiviert wird, wenn eine bestimmte Chemikalie eingesetzt wird (T-GURT, treatment level). Im ersten Fall wird der Nachbau durch den Landwirt verhindert, im zweiten Fall wird die Nutzung der transgenen Eigenschaft an den Verkauf eines Aktivators gekoppelt.

**GVO:** Genetisch veränderte Organismen

**Haploide:** Zellen oder Individuen, die nur einen einfachen (statt normalerweise einen doppelten) Chromosomensatz enthalten

**Heterosis:** nach Kreuzung von unverwandten Inzuchtlinien tritt in der ersten Nachkommenschaftsgeneration (F1) eine besondere Wüchsigkeit auf, so dass die F1-Nachkommen einen höheren Ertrag erzielen als das Mittel der Eltern.

**Heterozygotie:** Vorhandensein unterschiedlicher Allele (Aa) an einem Genort (Mischerbigkeit)

**Homologe Chromosomen / homologe DNA-Sequenzen:** haben eine identische Anordnung von Genen. In diploiden Pflanzen gibt es jeweils zwei homologe Chromosomen, d.h. von jedem Gen zwei verschiedene Kopien. Homologe Chromosomen lagern sich in der Meiose parallel aneinander und können durch Crossover-Events (Abbruch und neues Zusammensetzen der Chromosomenabschnitte) Gene

miteinander austauschen. Beim homologen Gentransfer wird dieser Mechanismus genutzt. Es werden homologe Sequenzen synthetisch hergestellt, die sich an genau die Stellen im Genom anlagern, die das homologe Gen tragen. So können mit Hilfe homologer DNA-Abschnitte Gene oder DNA-Sequenzen gezielt an einer bestimmten Stelle im Chromosom eingefügt werden.

**Homozygotie:** Auftreten identischer Allele (AA, aa) an einem Genort (Rein- oder Gleicherbigkeit)

**Horizontaler Gentransfer:** Weitergabe bzw. Aufnahme genetischen Materials ausserhalb der sexuellen Fortpflanzungswege und unabhängig von bestehenden Artgrenzen. Ein horizontaler Gentransfer bei pflanzenassoziierten Bakterien dient möglicherweise dazu, die im Habitat verfügbare genetische Information aufzunehmen und so zu kombinieren, dass sie die Interaktion mit dem Pflanzenwirt optimiert. Mechanismen des horizontalen Gentransfers sind Transformation, Konjugation, Transduktion und Transfektion. Bei der Transformation nehmen natürlich kompetente Bakterien freie DNA-Moleküle auf und bauen sie in ihr Chromosom oder Plasmid ein. Bei der Konjugation wird über eine Plasmabrücke DNA zwischen verwandten Organismen ausgetauscht. Bei der Transduktion handelt es sich um einen Gentransfer von einer Spenderzelle zu einer Empfängerzelle mithilfe von Viren beziehungsweise Bakteriophagen. Diese können Fremd-DNA, die sie in früheren Lebensphasen über Bakterienzellen erworben haben, in ihrem Genom tragen und sie durch Infektion an eine neue Bakterienzelle weitergeben. Bei der Transfektion wird virale DNA in eukaryontische Zellen übertragen. Abhängig von bestimmten Voraussetzungen ist ein horizontaler Gentransfer - etwa von einer Pflanze auf ein Bodenbakterium oder umgekehrt - grundsätzlich möglich, aber ein unter natürlichen Bedingungen sehr seltenes Ereignis.

**Hybride:** heterozygotes Individuum aus der Kreuzung genetisch verschiedener Inzuchtlinien

**Input traits:** Merkmale, die für die landwirtschaftliche Produktion von Bedeutung sind, aber keinen Einfluss auf die Eigenschaften der Ernteprodukte haben. Sie vereinfachen die Produktion, können zu Einsparungen bei den eingesetzten Ressourcen führen und sind primär im Interesse des Landwirtes (Herbizidtoleranz, Insektenresistenz, Virusresistenz, Pilzresistenz, Stresstoleranz, Photosyntheseeffizienz)

**Intermediäre Vererbung (unvollständig dominante Vererbung):** hiervon spricht man, wenn sich in einem heterozygoten Organismus die Allele für ein bestimmtes Merkmal zueinander ""gleichwertig"" verhalten (sich also keines der Allele dominant oder rezessiv zum anderen verhält) und der Phänotyp eine Mittelstellung zwischen den beiden homozygoten Phänotypen einnimmt (man spricht auch von einem intermediären Phänotyp). Ein Beispiel: Das homozygote Allelpaar aa ergibt z. B. die Farbe rot und das homozygote Allelpaar ww die Farbe weiß. In der Kreuzung ergibt sich dann der Genotyp rw, der im Phänotyp zur Farbe rosa führt (also eine Mischung aus weiß und rot).

**Introgression:** Einkreuzung von erwünschten Genen/Chromosomenabschnitten aus unadaptierten Pflanzen derselben Art oder verwandter Arten

**Inzucht:** Unter Inzucht versteht man im allgemeinen die Paarung zwischen relativ nahen Blutsverwandten, in der Pflanzenzucht im speziellen die Selbstbestäubung, meist über mehrere Generationen, um genetisch möglichst reinerbige Inzuchtlinien zu erhalten. Selbstbestäubung einer Pflanze, meist über mehrere Generationen, d.h. dieselbe Pflanze liefert Pollen und Eizelle.

**Konjugation:** Übertragung von Erbmaterial zwischen Bakterien mittels einer Plasmabrücke (Pili). Die Konjugation ist ein regulärer Genaustausch zwischen verwandten Prokaryoten und ist den sexuellen Prozessen bei Eukaryoten vergleichbar. Über so genannte Pili kommt es zu einem direkten Zellkontakt und Transfer von genetischem Material. Hierbei kann in das Genom chromosomale oder auch extrachromosomal vorliegende DNA in Form von Plasmiden übertragen werden.

**Lead Event / Elite Event:** Transformanten, die die gewünschten Eigenschaften stabil und ohne Nebeneffekte zeigt. Wird im gesetzlichen Zulassungsverfahren geprüft. Das zugelassene Genkonstrukt wird dann über Kreuzung und Rückkreuzung für die weitere Züchtung verwendet.

**Linienzüchtung:** Bezeichnung für Züchtungsverfahren bei selbstbefruchtenden Arten, an deren Ende eine weitgehend homozygote Sorte (Linie) steht

**Marker:** siehe molekulare Marker

**Marker-gestützte Rückkreuzung:** Auswahl von Rückkreuzungsnachkommen mit Hilfe von Marker-Analysen, um einzelne Gene in einen bestehenden Genotyp einzulagern (Introgression). Basierend auf einer engen Kopplung des Markers mit dem Zielgen können solche Nachkommen selektiert werden, die mit grosser Wahrscheinlichkeit das gewünschte Gen besitzen, aber sonst möglichst wenige andere Allele des ursprünglichen Kreuzungspartners. Dadurch kann die Zahl der nötigen Rückkreuzungsgenerationen reduziert werden.

**Marker-gestützte Selektion (MAS):** Auswahl der Kreuzungsnachkommen auf Grund von molekularen Markern, die mit der gewünschten Ausprägung eines Merkmals eng gekoppelt sind

**Metabolomics (Metabolite Profiling):** Hierbei wird eine möglichst grosse Anzahl an Stoffwechselprodukten (Metaboliten) gemessen, die zu dem bestimmten Zeitpunkt in der Pflanze vorliegen. Das Profil der Inhaltsstoffe unterscheidet sich zwischen Genotypen, aber auch zwischen verschiedenen Entwicklungsstadien und Anzuchtbedingungen, da jeweils andere Gene exprimiert werden

**Mikroinjektion:** gezieltes Einschleusen von DNA oder Proteinen in Zellen mit Hilfe von feinsten Glaskanülen

**Mitochondrien:** Bestandteile des Cytoplasmas einer Zelle (Zellorganellen), die unter anderem die Energieversorgung regeln. Die Mitochondrien tragen auch extrachromosomale DNA (Plastiden-DNA), die z.B. die männliche Fertilität beeinflusst

**Molekularer Marker:** eindeutig identifizierbarer, kurzer DNA-Abschnitt, dessen Ort im Genom bekannt ist und der nach den Mendelschen Regeln vererbt wird. Im Falle enger genetischer Kopplung erlaubt der Marker eine indirekte Selektion in vitro auf ein züchterisch wichtiges Zielgen.

**Monogen:** ein phänotypischer Unterschied, der nur durch ein Gen bedingt wird

**mRNA = messenger RNA:** Boten-Nukleinsäure; Transportform genetischer Information, die beim Ablesen eines Gens im Zellkern entsteht und im Cytoplasma an den Ribosomen in eine Proteinsequenz übersetzt wird

**Mutagenese:** Verwendung eines mutagenen Agens oder einer mutagenen Behandlung, um zufällige genetische Mutationen in der Pflanze auszulösen (induzierte Mutationen)

**Mutation:** vererbare qualitative oder quantitative Veränderung der genetischen Information

**Nukleasen:** Enzyme, die Nukleinsäuren, d.h. DNA oder RNA, abbauen können

**Nukleotid:** Baustein der Nukleinsäure (DNA und RNA) ; bestehend aus einer Phosphatgruppe, einem Zucker und einer Base.

**Nullallele:** Ein Nullallel ist ein Allel, dessen Effekt entweder das Fehlen eines Genproduktes auf der molekularen Ebene oder die Abwesenheit einer Funktion auf der Phänotypebene bewirkt.

**Oligonukleotide:** kurze DNA-Sequenzen bestehend aus wenigen (< 100) Nucleotidbausteinen

**Output traits:** Eigenschaften, die zu einer Veränderung der Ernteprodukte führen, also einer anderen Qualität oder neuen Verarbeitungsmöglichkeit. Sie sind primär im Interesse von Verarbeitern und Verbrauchern (Haltbarkeit "Anti-Matsch-Tomate", Inhaltsstoffe: Fettsäuren, Stärke, Sinapin, Karotine)

**PCR (polymerase chain reaction):** Polymerasekettenreaktion, ist ein Verfahren, mit dem sich ein DNA-Molekül millionenfach vermehren lässt. Dazu werden die beiden Stränge der DNA-Doppelhelix aufgespalten und Polymerase (ein Enzym, das DNA-Moleküle aufbaut) zugesetzt. Unter bestimmten Reaktionsbedingungen wird nun zu jedem DNA-Einzelstrang ein neuer Gegenstrang gebildet. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis die gewünschte Menge DNA vorhanden ist.

**PEG:** Polyethylenglycol, erhöht den osmotischen Wert einer Lösung und wird bei Protoplastenfusionen eingesetzt

**Phänotyp:** das tatsächlich erscheinende Individuum, gedacht als Ergebnis aller erblichen und umweltbedingten Einwirkungen.

**Plasmid:** extrachromosomales kleines, ringförmiges DNA-Molekül, welches in Bakterien vorkommt. Plasmide tragen zusätzliche Erbinformation, z.B. ein Antibiotikaresistenzgen, und können sich selbständig replizieren. Die Plasmid-DNA kann relativ einfach zwischen Bakterien ausgetauscht werden. In der Gentechnik werden Plasmide als Vektoren für neu einzubringende Genkonstrukte verwendet.

**Plastiden-DNA:** extrachromosomale DNA der Mitochondrien und Chloroplasten

**Pollen:** männliche Gameten mit halbiertem (haploidem) Chromosomensatz, die nach der Befruchtung mit der haploiden Eizelle zum diploiden Embryo verschmelzen

**Polygen:** phänotypische Unterschiede, die durch das Zusammenwirken vieler Gene und Umweltfaktoren bedingt sind (quantitative Vererbung)

**Polymorphismus:** qualitative Unterschiede auf molekularer, biochemischer und phänotypischer Ebene. Aufgrund solcher Polymorphismen können Sorten voneinander unterschieden werden. Auf phänotypischer Ebene gibt es z.B. Unterschiede in der Begrannung (mit und ohne Grannen), auf biochemischer Ebene können Pflanzen z.B. unterschiedliche Enzyme (Isoenzyme) oder Speicherproteine besitzen. Während es nur eine begrenzte Anzahl phänotypischer und biochemischer Polymorphismen gibt, sind die Polymorphismen auf molekularer Ebene nahezu unbegrenzt. So kann eine kleine Variation in der DNA-Sequenz (z.B. nach einem Restriktionsverdau oder einer Polymerasekettenreaktion (PCR)) zu unterschiedlichen Bandenmustern führen.

**Polyplloidie:** Vorkommen von mehr als zwei Chromosomensätzen in pflanzlichen Zellen bzw. Pflanzen

**Promotor:** Steuerungselement eines Gens, das regelt, wann und wo dieses Gen abgelesen (exprimiert) wird. Die Promotorsequenz ist meist in räumlicher Nähe zu dem Gen. Durch Kopplung eines Gens mit einem anderen Promotor kann Einfluss auf den Zeitpunkt und die Expressionsrate des Gens genommen werden

**Protoplast:** Zelle ohne Zellwand

**Protoplastenfusion:** chemisch oder elektrisch induzierte Verschmelzung zweier zellwandloser Zellen (somatische Hybridisierung)

**Qualitatives Merkmal:** Merkmal mit einer unterscheidbaren (qualitativen) Ausprägung, das durch ein Gen (monogen) vererbt wird

**Quantitatives Merkmal:** Merkmal mit einer kontinuierlichen (quantitativen) Ausprägung, das durch mehrere (oligogen) bis viele (polygen) Gene vererbt wird.

**QTL (Quantitative Trait Locus):** ist ein Abschnitt eines Chromosoms, der einen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung eines polygen vererbten (=quantitativen) Merkmals besitzt. Ein QTL löst keine Ja - Nein Reaktion aus, sondern ändert das Niveau der Merkmalsausprägung. So kann ein QTL für Braunrost beispielsweise die Resistenz um 15% (=quantitativ) verbessern.

**Rekombination:** Homologe Chromosomen können während der Meiose Gene miteinander austauschen. Während der Meiose kann bei der parallelen Anordnung der homologen Chromosomen ein Crossover-Event auftreten. Dabei brechen beide Chromosomenarme an der homologen Stelle und wachsen über Kreuz wieder zusammen. Dadurch können die Gene neu verteilt, rekombiniert werden

**Reportergergen:** gentechnisch eingefügte Sequenz, dank derer nach einer Transformation transgene Pflanzen am Phänotyp leicht erkannt werden, oft als Markergene bezeichnet. Nicht zu verwechseln mit der Definition von molekularen Markern!

**Restorgene:** Kerngene, die in der Lage sind, die Fertilität bei Pflanzen mit durch Mitochondrien-DNA ausgelöster cytoplasmatischer männlicher Sterilität (CMS) wieder herzustellen (siehe CMS).

**Restriktionsenzyme:** Diese Enzyme werden aus Bakterien gewonnen und besitzen die Fähigkeit, die DNA-Doppelhelix zu spalten. Das besondere daran ist, dass die DNA-Spaltung nur bei bestimmten DNA Sequenzen stattfindet. Diese Erkennungssequenzen sind meist 6-10 Basenpaare lang und sind typisch für die unterschiedlichen Restriktionsenzyme. Dabei wird die DNA nicht abgebaut, sondern in viele DNA-Fragmente zerschnitten, daher werden die Restriktionsenzyme auch als DNA-Scheren bezeichnet. Sie sind wichtige Hilfsmittel in der DNA Analyse und Molekulargenetik.

**Reverse Breeding:** Zerlegung der Nachkommenschaft einer heterozygoten Pflanze in homozygote Linien, die anschließend miteinander gekreuzt werden, um den ursprünglich heterozygoten Genotyp wieder herzustellen. Damit dies möglich ist, muss bei der Erzeugung der Inzuchtlinien die Rekombination während der Meiose unterdrückt werden, da sonst die Gene neu kombiniert werden.

**Reverse Genetik:** ist eine Disziplin, in der die Vorgehensweise der klassischen Genetik umgekehrt wird. In der reversen Genetik wird nicht von einem Phänomen ausgegangen und dann nach dem entsprechenden Gen geforscht, sondern es wird mittels gezielter Mutagenese ein Genabschnitt an vorbestimmter Stelle verändert. Daraufhin wird untersucht, wie sich dies auf die Funktion einer Zelle oder eines Organismus auswirkt. Aus den Veränderungen wird dann auf die Funktion des Gens zurückgeschlossen. Die reverse Genetik und ihre assoziierten Techniken (Mutagenese, Tilling, RNAi, Gentransfer, Transposontagging) sind wichtige Werkzeuge der Molekulargenetik.

**Rezessive Vererbung:** in einer diploiden Pflanze kommen zwei verschiedene Allele pro Genort vor. Für monogen vererbte Merkmale kann das eine Allel eine Dominanz (A) gegenüber dem anderen Allel (a) aufweisen. In einer heterozygoten Pflanze (Aa) kommt nur das dominante Allel zur Merkmalsausprägung, während das andere, rezessive Allel keinen Einfluss auf den Phänotyp hat. Das rezessive Allel kann nur dann zur Merkmalsausprägung kommen, wenn es homozygot, d.h. in zwei Kopien (aa), vorliegt.

**Ribosom:** makromolekulare Komplexe aus Proteinen und Ribonukleinsäuren (RNA), die im Cytoplasma, in den Mitochondrien und in den Chloroplasten vorkommen und an denen die Proteinbiosynthese entsprechend der Basensequenz der DNA stattfindet

**RNA (ribonucleic acid):** Ribonukleinsäuren sind wichtige Informationsträger bei der Transkription (mRNA) und Translation (tRNA) der genetischen Information. Darüber hinaus sind RNA (dsRNA) beteiligt an der Regulation der Genexpressionsmuster einer Zelle.

**Rote Biotechnologie (medizinische Biotechnologie):** Biotechnologische Methoden für Anwendungen in der Humangenetik und Tiermedizin.

**Selbstbestäubung:** der Pollen trifft auf die Narbe derselben Pflanze. Dies führt zur Selbstbefruchtung und somit zur Inzucht.

**Selbstinkompatibilität:** Pollen einer Pflanze wird daran gehindert, mit der Eizelle derselben Pflanze zu verschmelzen, dadurch wird eine Selbstbefruchtung und die Entstehung von Inzucht verhindert

**Selbstung = Selbstbefruchtung:** Pollen und Eizelle derselben Pflanze verschmelzen zum Embryo, aus dem sich der Keimling entwickelt. Dies wird auch als Inzucht bezeichnet.

**SMART Breeding (=Selection with Molecular Markers and Advanced Reproductive Technologies):**

Züchtungsansatz, der sich gezielt des verfügbaren Spektrums moderner biotechnologischer Verfahren (z.B. Marker-gestützte Selektion und Zellkulturen) bedient, auf eine gentechnische Veränderung der Pflanzen aber verzichtet. Bei Smart Breeding wird das für eine bestimmte Eigenschaft verantwortliche Gen oder eine Genvariante mittels molekularbiologischer Verfahren (DNA-Sequenzierung, PCR) genau identifiziert. Die Nachkommen einer Kreuzung können dann, noch bevor das eigentliche Merkmal an einem veränderten äußeren Erscheinungsbild zu erkennen ist, auf das Vorhandensein der eingekreuzten Gene untersucht werden. Nur die Pflanzen, die das gewünschte Gen enthalten, werden weiterkultiviert. Darüber hinaus werden verschiedene Methoden (Doppelhaploide, in vitro Vermehrung) eingesetzt, um den Zuchtprozess zu beschleunigen. Benötigt weniger Investition als Gentechnik, weniger Sicherheitsbedenken werden laut, respektiert natürliche Kreuzungsgrenzen, akzeptiert in der breiten Öffentlichkeit.

**SNP (=Single Nucleotide Polymorphism):** Mit Einzelnukleotid-Polymorphismen werden Variationen einzelner Basenpaare in einem DNA-Strang bezeichnet. Ihre wissenschaftliche Bedeutung liegt im häufigen Auftreten und der hohen Variabilität, außerdem sind sie sehr schnell und einfach zu bestimmen. Deswegen werden sie zum Beispiel bei der Suche nach Quantitative Trait Loci, also Chromosomenabschnitten mit Einfluss auf die Ausprägung eines quantitativen Merkmals, zur Identifikation von Individuen und bei Verwandtschaftsanalysen u. ä. genutzt.

**Somaklonale Variation:** genetische Veränderung (Mutation) einer Zelle, ausgelöst durch in-vitro-Kultur.

**Sorten:** als Sorten werden Züchtungslinien bezeichnet, die die Sortenerkennung bestanden haben. Eine Pflanzensorte ist nach den von vielen Ländern akzeptierten UPOV Richtlinien schutzfähig, wenn sie unterscheidbar, homogen, beständig und neu ist und zudem durch eine eintragbare Sortenbezeichnung bezeichnet ist.

**Synthetische Biologie:** das Design biologischer Systeme und Organismen mithilfe standardisierter Bausteine und ingenieurwissenschaftlicher Prinzipien.

**Terminator Technologie:** Die Pflanzen werden genetisch so verändert, dass sie keine fertilen Samen hervorbringen können (V-GURT = Genetic use restriction technology on variety level). Dadurch wird Auswuchs und Durchwuchs von GVO Pflanzen verhindert, aber auch der Nachbau durch den Landwirt.

**TILLING (=Targeting Induced Local Lesions IN Genomes):** Methode der Genomanalyse, mit deren Hilfe Punktmutationen (meist nach induzierter Mutation) in einem bestimmten Gen gezielt identifiziert werden können

**Transduktion:** die Übertragung von Genen zwischen Bakterien durch Viren, ohne dass die Bakterien direkten Kontakt miteinander haben. Der Phage injiziert seine DNA in das Bakterium, dieses vervielfältigt die Phagen-DNA. Die virale DNA wird in die sich ausbildenden Phagenköpfe verpackt. Das Bakterien-Chromosom zerbricht dabei. Gelegentlich kann so bakterielle DNA in die Phagenköpfe gelangen, welche dann beim nächsten Viren-Befall eines anderen Bakteriums übertragen werden kann. Die eingeschleuste DNA kann in das Bakterienchromosom des neuen Wirtes eingebaut werden. Die Transduktion ist neben der Transformation und der Konjugation eine von drei Möglichkeiten des Gentransfers bei Prokaryoten.

**Transfektion:** Übertragung viraler DNA in eukariotische Zellen

**Transformation:** Aufnahme von fremder DNA in eine Zelle und Einbau in das Genom der Empfängerzelle. Bei diesem Prozess werden freie DNA-Moleküle direkt vom Organismus aufgenommen. Dieser Mechanismus ist nicht selektiv und im Bakterienreich relativ weit verbreitet. Nach Aufnahme einer Fremd-DNA muss diese allerdings noch durch Rekombination in die Erbsubstanz des Empfängers eingebaut werden, ansonsten würde sie nicht vervielfältigt und wieder verloren gehen. Natürlich kompetente Bakterien können also prinzipiell fremde DNA-Moleküle aufnehmen und unter bestimmten Umständen an ihre Nachkommen weitergeben. Im Bereich der Pflanzenzüchtung versteht man unter Transformation den stabilen Einbau von synthetisch hergestellten, experimentell übertragenen DNA-Konstrukten in das Genom der Pflanze.

**Transgen:** DNA-Sequenz, die nach der Transformation stabil in das Genom einer Empfängerpflanze eingebaut worden ist

**Transkription:** Übersetzung der DNA-Sequenz in die entsprechende RNA-Sequenz (hrRNA, mRNA) als Vorlage für die Proteinbiosynthese (Genexpression)

**Translation:** Übersetzung der Nukleotidsequenz der mRNA in die Aminosäuresequenz bei der Proteinbiosynthese

**Transposons:** "springende Gene", die ihre Position im Genom verlassen und an anderer Stelle wieder "hineinspringen" können. Die Orte, an denen Transposons in das Genom integriert werden, sind in der Regel zufällig. Der Ursprung und die biologische Funktion von Transposons sind noch nicht vollständig



geklärt. Es handelt sich vermutlich um von Retroviren abgeleitete DNA, die sich in das Wirtsgenom integrierte und nunmehr vererbt wird.

**tRNA - transfer RNA:** Transfer-Nukleinsäure, liefert die Aminosäuren, die an den Ribosomen, basierend auf der Vorlage der mRNA, in ein Protein eingebaut werden

**Übertragungsvektor:** aufgrund der relativ einfachen Genübertragung von Bakterien-Plasmiden werden Agrobakterien häufig als Hilfsmittel eingesetzt, um neue Gene in Pflanzen zu transferieren. Dabei werden die zu übertragenden Gene mit Hilfe von Restriktionsenzymen in das Bakterien-Plasmid eingefügt. Die so veränderten Bakterien infizieren die Pflanzen und übertragen mit dem Plasmid (Vektor) das neue Gen.

**Vertikaler Gentransfer (Kreuzung):** Kreuzen sich zwei Pflanzen auf sexuellem Weg und geben dabei ihre Gene an die folgenden Generationen weiter, ist dieser Vorgang ein vertikaler Gentransfer, üblicherweise als Kreuzung bezeichnet

**Weisse Biotechnologie (Industrielle Biotechnologie):** biotechnologische Methoden für industrielle Produktionsverfahren, z.B. zur Erzeugung von Enzymen oder Biokunststoffen.

**Zinkfingerproteine:** bestehen aus einer Zinkfingerdomäne, die sich um ein zentrales Zinkion ( $Zn^{2+}$ ) faltet. Die Zinkfinger-Domäne ist eine hauptsächlich an DNA bindende Domäne, daher sind Zinkfingerproteine meist Transkriptionsfaktoren. Auch RNA-bindende Zinkfingerproteine sind bekannt. Zu den Zinkfingerproteinen zählen aber auch Rezeptoren für Steroidhormone.

#### ***Empfehlenswerte Literatur zu den Grundlagen der Pflanzenzüchtung:***

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

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