Mai 2009 | BioFokus Nr. 80

BioFokus

Magere Zeiten

Die Herausforderungen der modernen Landwirtschaft

Prof. Dr. Wilhelm Gruissem
Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

Dr. Petra Bättig-Frey
Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

Forschung für Leben

www.forschung-leben.ch

Der Verein «Forschung für Leben», gegründet 1990, bezweckt die Information der Bevölkerung über die Ziele und die Bedeutung der biologisch-medizinischen und genetischen Forschung, der Tierversuche sowie der Forschung in der Landwirtschaft.
Er bringt den Nutzen, aber auch die Gefahren, die sich aus der Forschung ergeben, einfach und klar zur Sprache.

Impressum

BioFokus

ISSN 1661-9854
20. Jahrgang

Herausgeber

Verein «Forschung für Leben»
Präsident: Prof. Dr. Alexander Borbély
www.forschung-leben.ch

Autor

Dr. Prof. Wilhelm Gruissem
Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

Dr. Petra Bättig-Frey
Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

Redaktion

Prof. Dr. Urs A. Meyer
Prof. Dr. Vladimir Pliska
Prof. Dr. Hans-Peter Schreiber
Astrid Kugler, dipl. geogr.

Gestaltung

Roland Krauer

Nachdruck

Nachdruck, ausser wo anders vermerkt, unter Angabe der Quelle und der Autoren erlaubt.

Geschäftsstelle

«Forschung für Leben»
Postfach 876, CH–8034 Zürich
Tel. 044 365 30 93, Fax 044 365 30 80
info@forschung-leben.ch

Bankverbindung

ZKB Wiedikon (BC 715), Kto. 1115–1277.952

Magere Zeiten – Die Herausforderungen der modernen Landwirtschaft

Die dramatische Zunahme der Weltbevölkerung ist eine immense Herausforderung für die moderne Landwirtschaft und die Lebensmittelproduktion. Klimaschwankungen, Verstädterung und neue Ernährungsgewohnheiten werden einen starken und langfristigen Einfluss auf die Ernährungssicherung in den Entwicklungsländern, aber auch in den entwickelten Ländern, haben. Eine nüchterne Analyse der bevorstehenden landwirtschaftlichen Herausforderungen und eine sachliche Einschätzung von Nutzen und Risiken neuer Technologien zur Nahrungsmittelproduktion sind dringend nötig. Grundlage dafür sind die Züchtungserfahrungen der vergangenen Jahre und die genaue Kenntnis unserer Nutzpflanzen in einer sich rasch ändernden Umwelt.

Die Zahl der Menschen nimmt täglich zu. Bereits in 40 Jahren, im Jahr 2050, werden 9,2 Milliarden Menschen auf dieser Welt leben. Dies sind gegenüber heute 50 Prozent mehr Menschen[1]. Dieses Wachstum verdanken wir vorwiegend einem Rückgang der Sterberate durch bessere medizinische Versorgung, mehr Nahrung und sauberes Wasser. Die erfreulich tiefe Sterberate stellt uns aber auch vor neue Probleme, denn in 40 Jahren müssen 50 Prozent mehr Menschen ernährt werden, was eine erheblichen Steigerung der Nahrungsmittelproduktion erfordert. Ein zusätzlicher Bedarf ergibt sich aus der Tatsache, dass seit Mitte der 60er-Jahre der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch von durchschnittlich 2360 kcal auf 2800 kcal[2] angestiegen ist und gleichzeitig die Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln wie Früchten, Gemüse oder Fleisch zunahm und auch weiterhin zunehmen wird[3]. Alleine die Fleischproduktion wurde während den letzten 15 Jahren verdoppelt[3]. Um den wachsenden Fleischbedarf zu decken, wird heute bereits rund die Hälfte der produzierten Energie aus Pflanzen an Nutztiere verfüttert. Zudem werden neu in grossem Stil aus Pflanzen Chemikalien und Bio-Treibstoffe* hergestellt. Mit der konkurrierenden Nutzung von Pflanzen, die traditionell als Nahrungsmittel nun vermehrt als alternativer Rohstoff produziert werden, steigen die Anforderungen an die moderne Landwirtschaft weiter an.

Die zunehmenden Nahrungsbedürfnisse wurden seit Beginn der Landwirtschaft mit immer grösseren Produktionsflächen gedeckt. Wir verfügen auf dieser Welt über 148'940'000 km² Land, wovon nur 11 Prozent landwirtschaftlich genutzt werden können[4]. Zudem gehen davon jährlich fünf bis zehn Millionen Hektaren wegen Verstädterung, Bodenerosion und Verwüstung verloren[5]. Noch sind neue Flächen für die landwirtschaftliche Produktion vorhanden, doch ist unklar, welchen Preis die Umwelt für die Umnutzung in produktives Land bezahlen müsste[6]. In Asien ist der Landmangel bereits in vielen Regionen akut, da die sich stark ausbreitenden Städte das landwirtschaftlich nutzbare Land stetig reduzieren. Auch heute versuchen die Staaten, die wachsenden Nahrungsbedürfnisse der eigenen Bevölkerung über eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche zu decken wie beispielsweise Süd-Korea, das sich zurzeit darum bemüht, einen Teil von Madagaskar, immerhin 1,3 Millionen Hektaren, zu pachten.

Neben Land ist auch Süsswasser ein begrenzter Rohstoff der Landwirtschaft. Weltweit stieg während des letzten Jahrhunderts der Wasserverbrauch im Vergleich zum Bevölkerungswachstum fast doppelt so schnell. Verantwortlich für diese enorme Zunahme ist mindestens zur Hälfte die Landwirtschaft, welche grosse Gebiete bewässert – mit steigender Tendenz[7,8]. Bis 2025 erwarten die Vereinten Nationen deshalb eine weitere Steigerung des Wasserverbrauchs durch die Landwirtschaft um 20 Prozent. Versalzung und lang andauernde Nassperioden von Böden sind häufig die Folgen von Bewässerung und schlechter Wasserbewirtschaftung. Bereits rund 20 Prozent der bewässerten Felder weltweit sind davon betroffen[9]. Da gleichzeitig die Temperaturen wegen der Klimaerwärmung steigen, befürchten Experten, dass auch die Verlässlichkeit unserer Wasservorräte in vielen Gebieten abnehmen wird. Zudem wird der steigende Meeresspiegel zur Versalzung des Grundwassers beitragen und damit den Süsswasservorrat weiter einschränken[10].

Eine Abflachung der landwirtschaftlichen Produktion aufgrund der Einschränkungen bei den Ressourcen ist eine neue Entwicklung. Während der letzten vierzig Jahren hat die landwirtschaftliche

* *siehe Glossar*

Produktion schneller zugenommen als die Weltbevölkerung, was zu einer stetig steigenden Pro-Kopf-Produktion und zu tieferen Preisen geführt hat (Abb. 3+4, S. 8). Dieser Erfolg beruht vorwiegend auf technologischen Innovationen und Verbesserungen wie zum Beispiel Bewässerungssystemen, besserem Saatgut und erfolgreicheren Sorten sowie auf der Anwendung von Düngern und Spritzmitteln. Die hohe Produktionsrate ist allerdings oft mit Umweltschäden verbunden. Obwohl die globale Getreideproduktion weiter steigt, gibt es immer mehr Hinweise darauf, dass die Steigerungsraten abflachen – bei allen Getreiden und fast weltweit. Bei steigenden Bevölkerungszahlen und gleichbleibender Landwirtschaftsfläche sinkt folglich die Pro-Kopf-Produktion (Abb. 4, S. 8).

Die abflachende Ertragssteigerung und der wachsende Bedarf an Nutzpflanzen als Rohstoffquelle haben in den vergangenen Jahren die weltweiten Nahrungsreserven stark verringert (Abb. 5, S. 8) und zu einem drastischen Anstieg der Lebensmittelpreise geführt (Abb. 6, S. 8). Von den hohen und instabilen Preisen am meisten betroffen sind die am wenigsten entwickelten und ärmsten Länder, wo die Bevölkerung bereits heute Hunger leidet.

Es gibt verschiedene Gründe für die aktuell sinkende Produktivität der Landwirtschaft. Eine Ursache ist mit Sicherheit die mangelnde Investition in die Züchtung neuer und besserer Kulturpflanzen. Eine der grössten Herausforderungen der heutigen Zeit besteht darin, diese alarmierende Entwicklung zu stoppen und die Hungerkrise dank nachhaltiger Landwirtschaft in einer sich rasch verändernden Umwelt zu überwinden. Die Frage nach geeigneten Strategien, nach Risiken und Chancen kann jedoch erst beantwortet werden, wenn wir uns die Geschichte der Landwirtschaft und die neuen Entwicklungen in der Saatgutproduktion vergegenwärtigt haben.

Eine kurze Geschichte der Landwirtschaft

Viele tausend Jahre lang waren unsere Vorfahren Jäger und Sammler. Sie lebten ausschliesslich von wilden Tieren und wilden Pflanzen. Erst vor rund 10‘000 Jahren begannen Gruppen von Menschen in verschiedenen Gebieten der Welt gleichzeitig Pflanzen anzubauen und Tiere zu zähmen. Die Samen von wilden Pflanzen, welche bereits vorher als Nahrung dienten, wurden nicht mehr nur gegessen, sondern auch gesät, damit im nächsten Jahr wieder geerntet werden konnte. Alle wichtigen Kulturpflanzen, von denen wir uns heute ernähren, wurden in dieser Zeit zum ersten Mal kultiviert: Weizen und Gerste im Nahen Osten, Reis in China, Kartoffeln in den Anden und Mais in Mexiko. Landwirtschaft entwickelte sich aber auch im Osten der USA, in einigen Regionen Indiens, im südlichen Afrika und der östlichen Sahara[11].

Die ersten Bauern experimentierten mit vielen verschiedenen Pflanzensorten, doch nur wenige liessen sich erfolgreich anbauen. Die kultivierten Pflanzen unterschieden sich schon nach wenigen Generationen von ihren wilden Vorfahren, da unter den neuen, geschützten Bedingungen ganz andere Merkmale wichtig wurden. Diese konnten sich in den kultivierten Pflanzen rasch durchsetzen. Zum Beispiel sammelten die Bauern bevorzugt Getreidearten, deren Körner nach der Reifung nicht zu Boden fielen, sondern fest mit dem Stängel verbunden blieben. Diese Eigenschaft wäre in der Wildnis hinderlich, da dort die Samen über eine grosse Fläche verteilt werden sollen, damit möglichst viele Samen erfolgreich keimen und wieder Nachkommen produzieren. Doch war die Ernte viel einfacher und effizienter, wenn die Samen als ganze Ähre gesammelt werden konnten und nicht als einzelne Körner vom Boden aufgelesen werden mussten. Deshalb haben die Bauern Pflanzen ausgewählt, bei denen die Ähre die fertigen Körner bis zur Ernte zusammenhält und nicht auf den Boden fallen lässt, wo das Korn keimen oder verderben würde. Auch andere morphologische Veränderungen, wie grössere Körner, dünnere Samenschalen oder Samen, die sehr schnell keimen, sind Merkmale von kultivierten Pflanzen (Abb. 7, S. 9). Solche Eigenschaften wären in der Wildnis ungünstig, sind aber in der geschützten Welt der Landwirtschaft von Vorteil. Man nimmt heute an, dass neue Eigenschaften sich in sehr kurzer Zeit, innerhalb von 20 bis 200 Jahren nach Beginn des Anbaus einer Wildpflanze, etabliert haben[12]. Das sind nur wenige Jahrzehnte wiederholter Aussaat, Anbau und Ernte und nur wenige Jahrzehnte der Selektion von mutierten Wildgrässern[14]. Deshalb scheint es wahrscheinlich, dass frühe Bauern bereits kurz nach dem ersten erfolgreichen Anbau ihrer Pflanzen gezielt Samen mit positiven Eigenschaften wie hohem Ertrag oder gutem Nährwert ausgewählt und vermehrt haben.

Die ersten bekannten kultivierten Pflanzen sehen im Vergleich zu unseren heutigen Kultursorten immer noch wie Wildgräser aus: nur wenige kleine Körner sitzen auf einem langen Stiel. Moderner Weizen dagegen hat grosse, kompakte Ähren mit grossen Körnern auf einem kurzen, stabilen Stängel. Doch ist der Weizen, aus welchem wir heute unser Brot backen, nur zum Teil das Resultat moderner Zuchtprogramme. Denn zwei wichtige Änderungen im Weizen ereigneten sich spontan. Weizen hat nämlich nicht einen einzelnen Vorfahren, sondern ist die Kombination von drei verschiedenen, nah verwandten Wildgräsern. Einkorn, eine

frühe Weizensorte, hybridisierte* spontan mit einem Wildgras *(Aegilops speltoides)*. Daraus entstand der tetraploide* Emmer, welcher die kompletten Genome* beider Vorfahren enthält. Kultivierte Sorten von Emmer und Einkorn wurden an verschiedenen archäologischen Stätten im östlichen Mittelmeerraum und im Irak gefunden, welche bis zu 10'000 Jahre alt sind. Dies weist darauf hin, dass der Schritt vom Einkorn zum Emmer bereits vor der Domestikation dieser Pflanze stattgefunden hatte. Vor rund 8000 Jahren führte eine zweite spontane Hybridisierung* mit einem weiteren Wildgrass *(Aegilops tauschii)* zu unserem heutigen Brotweizen, welcher seither drei komplette Genome* enthält, also hexaploid* ist. Neben dem Brotweizen werden bis heute die inzwischen weiter entwickelten Vorfahren des Weizens, das Einkorn und der Emmer, gezüchtet und angebaut.

Bereits vor 9000 Jahren waren Getreidepflanzen und Landwirtschaft in der gesamten Gegend des fruchtbaren Halbmonds bekannt (ungefähr das Gebiet des heutigen Irak, Syrien, Palästina und Israel sowie Ägypten). Erst 2000 Jahre später wurden Emmer, Einkorn, Gerste und Viehzucht in Griechenland und der Ägäis angebaut. Es dauerte nochmals 2000 Jahre bis auch in Spanien Getreide kultiviert wurde. Seit dieser Zeit hat sich die Landwirtschaft in Europa bis etwa um 1700 wenig verändert. Erst im 18. Jahrhundert verbreiteten sich neue Kulturpflanzen wie Kartoffeln und Mais aus Süd- und Nordamerika rasch in ganz Europa und führten zu einer grösseren Abwechslung in der Ernährung sowie zu wesentlich höheren Erträgen. Eine weitere Steigerung der Erträge wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert mit der Mechanisierung der Landwirtschaft und der Zucht von neuen Hybridpflanzen* erreicht. Diese entstanden in neuen Gewächshäusern, welche ursprünglich zur Kultivierung von exotischen Pflanzen gebaut worden waren. Die Verbreitung dieser Hybridpflanzen*, wie auch der neue künstliche Dünger und etwas später die Einführung der chemischen Pflanzenschutzmittel waren wichtige Neuerungen in der Landwirtschaft des vergangenen Jahrhunderts.

Die Grüne Revolution

Alle diese Errungenschaften haben vor allem die Landwirtschaftserträge in den entwickelten Ländern erhöht, wodurch die schnell wachsende Bevölkerung dieser industrialisierten Nationen ernährt werden konnte. Doch in den Entwicklungsländern litten weiterhin viele Menschen Hunger. Mitte des 20. Jahrhunderts entwickelte Norman Borlaug zusammen mit weiteren Forschenden neues Saatgut mit deutlich höherem Ertrag[13,14]. Gleichzeitig half er mit, Dünger, Bewässerung und chemische Pflanzenschutzmittel in die Entwicklungsländer zu bringen. Diese Modernisierung der Landwirtschaft führte zur sogenannten «Grünen Revolution» (Abb. 1). Noch 1960 wurde in Asien fast ein Drittel der Reisernte von Insekten gefressen[15]. Der Einsatz von Pestiziden und Dünger, die Ausweitung der Bewässerungsfläche sowie der

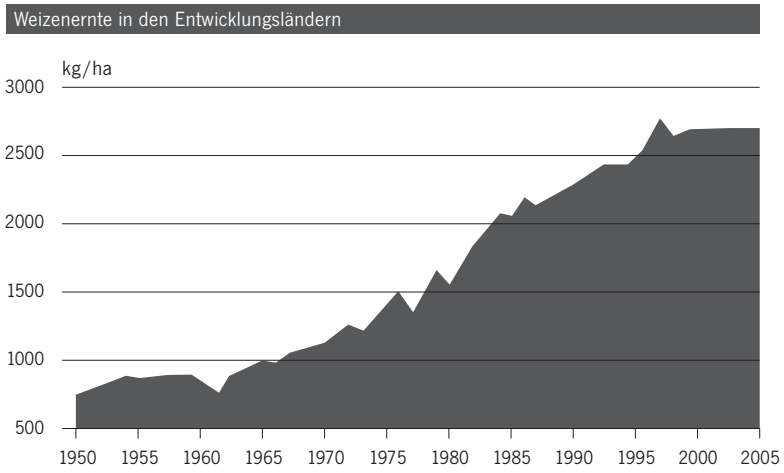


Abb. 1
Norman Borlaug (oben) wird als «Vater» der Grünen Revolution bezeichnet. Er hat die Züchtung von Weizen- und Reissorten für Entwicklungsländer mit erheblich höheren Erträgen vorangetrieben. (Quelle: Nobelprize.org, FAO)

Anbau von neuartigen Sorten wie Weizen mit kürzeren und stabileren Stängeln oder die Hochertrags-Reissorte «IR8» aus den Philippinen haben die Getreideproduktion zwischen 1965 und 1980 mehr als verdoppelt. Im Jahr 1970 bekam Norman Borlaug den Friedensnobelpreis für seine Leistungen.

Diese industrialisierte Landwirtschaft hat zwar eine breite Hungersnot verhindert und ermöglichte, dass heute Milliarden von Menschen genügend Nahrung haben, doch die Verbesserungen sind nicht

in allen Regionen gleich zum Tragen gekommen. So hat sich die Lage vor allem in Afrika südlich der Sahara deutlich weniger verbessert als in Asien oder Südamerika. Während in Asien bereits 37 Prozent der Anbaufläche bewässert werden, sind es in Afrika südlich der Sahara erst 5 Prozent, und statt durchschnittlich 129 Kilogramm Dünger pro Hektar werden dort nur 11 Kilogramm pro Hektar ausgebracht[16]. In Afrika kann folglich der Ertrag mit heutigem Saatgut noch verbessert werden. In anderen Weltregionen, wo bereits eine intensive Landwirtschaft betrieben wird, werden immer mehr auch die negativen Folgen der Grünen Revolution sichtbar. Wie bereits die ersten Bauern versuchen deshalb moderne Züchter den Ertrag unserer Kulturpflanzen zu erhöhen, um in Zukunft mit den begrenzten Ressourcen an landwirtschaftlich nutzbarem Land und Wasser möglichst viel Nahrung zu produzieren.

Die meisten Pflanzenwisschaftler sind sich einig, dass in Asien die Grenzen der Grünen Revolution erreicht wurde und dass neben modernen Sorten auch neue Züchtungsziele und neue landwirtschaftliche Produktionsmethoden entwickelt werden müssen, um in Zukunft genügend Nahrung nachhaltig zu produzieren.

Klimaänderung als Herausforderung

Neue Methoden sind in der Landwirtschaft auch deshalb nötig, weil wir in Zukunft mehr Nahrung unter neuen klimatischen Bedingungen produzieren müssen. So wird es laut dem vierten Sachstandsberichts des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) in den meisten Regionen dieser Welt wärmer werden. Danach wird die Bodenfeuchtigkeit in den Subtropen abnehmen, was in einigen Gebieten zu Trockenheit führen wird, in anderen zu Überschwemmungen. Diese Auswirkungen der Klimaänderungen werden vor allem die armen Länder treffen. Damit in diesen Regionen auch unter ändernden Bedingungen Landwirtschaft betrieben werden kann, sind verschiedene Anpassungen nötig. In Zukunft werden die Bauern Sorten verwenden müssen, welche besser an die höheren Temperaturen angepasst sind, oder sie müssen auf ganz neue Kulturpflanzen umstellen, die vorher nicht verwendet wurden. Um lang anhaltende Trockenperioden zu bewältigen, werden neue Bewässerungssysteme nötig sein. Zudem müssen neue Sorten entwickelt werden, welche mit nur wenig oder zu viel Wasser überleben können. Fast alle diese Änderungen sind zeitaufwändig, arbeitsintensiv und teuer.

Oft wird erwähnt, dass die steigende CO_2-Konzentration in der Atmosphäre nicht nur Nachteile mit sich bringe, sondern eine positive Auswirkung auf die Landwirtschaft habe. Der Grund dafür ist, dass die Ribulose-1,5-bisphosphatcarboxylase, das Enzym, welches in der Pflanze CO_2 aus der Luft fixiert, bei hohen CO_2-Konzentrationen besser funktioniert. Mehr CO_2 in der Atmosphäre könnte vorerst wegen der sogenannten Kohlenstoffdüngung tatsächlich einen positiven Effekt haben, vorausgesetzt für die CO_2-Fixierung aus der Luft stehen genügend Stickstoff und genügend Wasser zur Verfügung[23]. Aber der Einfluss des atmosphärischen CO_2 ist bei verschiedenen Arten sehr unterschiedlich, und der positive Effekt von mehr CO_2 auf den Ertrag ist bei höheren Temperaturen nicht mehr sichtbar[24].

Klar ist, dass die Klimaänderung die Landwirtschaft regional sehr unterschiedlich beeinflussen wird. Vor allem in Regionen mit saisonaler Trockenheit und in den Tropen nahe dem Äquator könnten die Erträge bereits bei geringen Temperaturerhöhungen abnehmen. Südasien und Südafrika, zwei typische Hungerzonen, werden wahrscheinlich am meisten unter dem Einfluss der Klimaänderung zu leiden haben. So wird beispielsweise geschätzt, dass bei Mais als wichtigstem Kohlenhydratlieferant im südlichen Afrika bis 2030 mit Produktionseinbussen von rund 30 Prozent gerechnet werden muss. Auch in Südasien, wo heute etwa ein Drittel aller unterernährten Menschen der Welt lebt, werden wichtige Kulturpflanzen wie Weizen, Reis, Raps, Hirse und Mais mit mehr als 75-prozentiger Wahrscheinlichkeit Ernteeinbussen aufgrund der Klimaänderung verkraften müssen[25]. Gerade diese Bauern werden auf die Züchtung von Pflanzen, welche besser an die neuen Verhältnisse angepasst sind, angewiesen sein. Doch dies ist ein langjähriger Prozess, welcher in der Regel rund zehn Jahre dauert. Eher länger dauert die Zucht von neuen Sorten mit so komplizierten Eigenschaften wie Trockenheitsresistenz oder Überschwemmungstoleranz. Nach der Züchtung wird mit weiteren fünf Jahren zur Sortenprüfung und Vermehrung gerechnet.

Wegen der prognostizierten Veränderungen in der Landwirtschaft durch die Klimaerwärmung wird erwartet, dass bis ins Jahr 2020 das landwirtschaftliche Bruttoinlandprodukt weltweit um 16 Prozent zurückgehen wird[20]. Diese Vorhersagen sind beängstigend. Sie zeigen deutlich, dass dringend Zuchtprogramme und die Nutzung von neuen Zuchtmethoden von öffentlicher und kommerzieller Seite gefördert und finanziert werden müssen, um neue Sorten zu entwickeln, welche auch unter widrigen Umweltbedingungen gedeihen[21, 22].

Steigende Nachfrage bei Bio-Treibstoffen* – eine neue Gefahr für die Ernährungssicherheit?

Man geht davon aus, dass die Hauptursache der globalen Klimaveränderung die Verwendung von fossilen Brennstoffen ist, welche zu erhöhten Treibhausgasemissionen beiträgt. Die heutige Weltwirtschaft und mit ihr die moderne Landwirtschaft basieren vorwiegend auf fossilen Treibstoffen. Sie sind die Hauptquelle für Energie wie auch die Grundlage für die chemische Industrie. Diese Abhängigkeit von einer Energiequelle, welche nur beschränkt und nur in einzelnen Regionen auf der Erde vorkommt, stellt unsere Gesellschaft vor verschiedene Herausforderungen. Sie wird den fossilen Energiekonsum in Zukunft weiter beeinträchtigen. In den letzten Jahren hat deshalb die Verwendung von Nahrungsmitteln wie Mais oder Weizen als Grundlage für die Herstellung von technischer Energie stark an Bedeutung gewonnen. Dies führt zu neuen Bedenken hinsichtlich unserer Nahrungssicherheit, da dies in direkter Konkurrenz zu unserer Ernährung steht und die Preise für Grundnahrungsmittel bereits in die Höhe getrieben hat[26]. Aus diesen Gründen haben Länder wie China vorläufig die Herstellung von Ethanol aus Mais oder einem anderen Getreide mit einem Moratorium eingestellt.

Zur Sicherung der Energieversorgung der USA hat der ehemalige US-Präsident Bush im Dezember 2007 ein Gesetzt unterschrieben (U.S. Energy Independence and Security Act of 2007, H.R.6), welches verlangt, dass bis 2022 mindestens 44 Prozent der alternativen Energien auf pflanzlicher Basis hergestellt werden[27]. Eine ähnliche Richtlinie der Europäischen Union zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbarer Quellen[28] fordert bis 2020 einen verbindlichen Biokraftstoff-Mindestanteil im Verkehrssektor von 10 Prozent. Dieses Ziel kam trotz der Bedenken zustande, dass der Druck auf die Biomasseressourcen zu Engpässen oder unerwünschten Umweltfolgen führen könnte. Die Verwendung von neuem pflanzlichem Ausgangsmaterial wird wohl nötig sein, um diese Ziele zu erreichen, ohne den Druck auf die Nahrungsmittelpreise zu erhöhen (Abb. 2). Gleichzeitig muss gerade bei der Herstellung von Biomasse zur Treibstoffgewinnung die Energiebilanz genau überlegt werden. Landwirtschaft benötigt sehr viel Energie, zum Beispiel für die Fahrten bei Aussaat und Ernte, die Bewässerung oder zur Herstellung von Dünger. Für eine nachhaltige Landwirtschaft muss diese Energiebilanz optimiert werden.

Pflanzen sind die Hauptlieferanten von organischem Material, wobei Zellulose, Hemizellulose und Lignin aus den pflanzlichen Zellwänden die wichtigsten Biopolymere* sind, welche bislang zur Energiegewinnung genutzt werden. Sogar die fossilen Energieträger basieren vorwiegend auf

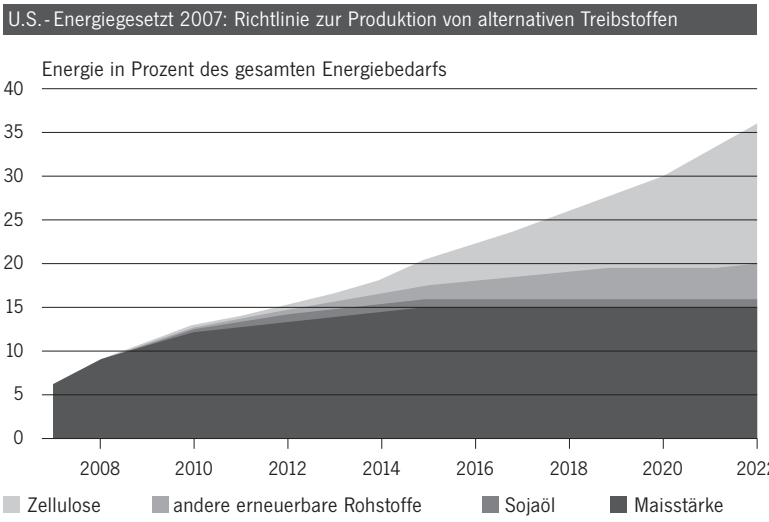
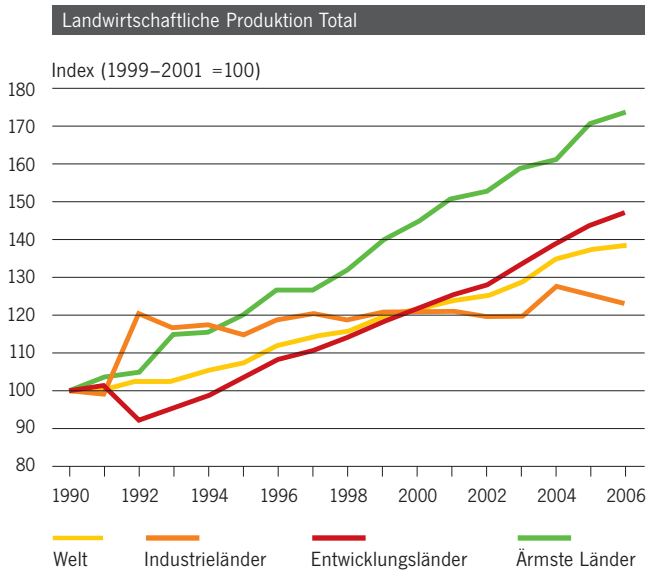


Abb. 2:
Um die Produktionsziele für alternative Energien bis 2022 zu erreichen, braucht es sehr viel pflanzliches Material, welches nicht aus Nahrungspflanzen stammt. Die Zucht von Pflanzen wie Rutenhirse oder Chinaschilf, welches in Europa bereits als Ausgangsmaterial für die Bio-Ethanolproduktion getestet wurde, könnte das Problem der konkurrierenden Nutzung für Nahrung und Biotreibstoffe reduzieren. (Quelle: Grafik von Ceres, Inc.)

pflanzlichem Material. Wie die konkurrierende Nutzung von Pflanzen als Nahrungsmittel und als alternativer Rohstoff für die chemische Industrie und zur Energiegewinnung in der Landwirtschaft gehandhabt werden soll, ist noch offen. Fest steht, dass künftige Lösungsansätze umweltverträglich und Ressourcen schonend sein müssen. Damit Agrotreibstoffe* als alternative Energiequelle genutzt werden können, muss wesentlich mehr Biomasse zu Verfügung stehen, und diese muss effizienter in Bio-Treibstoff* umgewandelt werden. Studien deuten darauf hin, dass nur Stroh eine sinnvolle Quelle für Bio-Treibstoff ist, da nur Stroh nicht in direkter Konkurrenz mit unserer Nahrung steht. Die Zeit, um die US- und EU-Ziele bis 2022 resp. 2020 zu erreichen, ist kurz, dauert es doch mindestens 10 bis 15 Jahre bis neue Zuchtformen von Pflanzen, welche effizient als alternative Energiequelle genutzt werden können, auf den Markt kommen und von den Bauern angebaut werden können.

Pflanzenkrankheiten als Herausforderung

Nicht nur neue Herausforderungen stellen sich der modernen Landwirtschaft, auch alte Probleme sind noch nicht gelöst. Pflanzenkrankheiten haben immer wieder in der Geschichte für schwere Ernteausfälle gesorgt und führen auch heute noch zu grossen Ertragseinbussen. Wie Menschen, so sind auch Pflanzen anfällig auf Krankheiten. Eine Reduktion der pflanzlichen Vielfalt, wie diese in



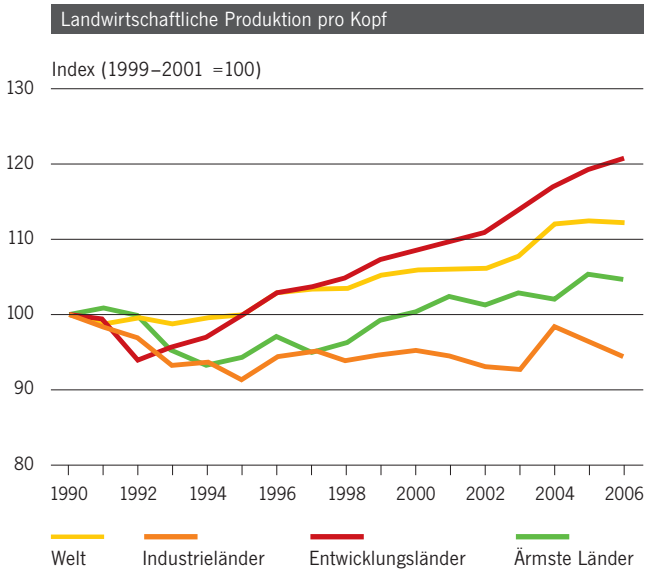


Abb. 3+4:
Der Index der landwirtschaftlichen Produktion stieg von 1990 bis 2006 global und auch in den Entwicklungsländern kontinuierlich an. Der Anstieg in den Entwicklungsländern ist nun verlangsamt. Trotz dieses grossen Produktionszuwachses ist wegen dem raschen Bevölkerungswachstum und den verlangsamten Ertragszunahmen die Produktion pro Kopf vor allem in den ärmsten Ländern gesunken. (Quelle: FAO World Food and Agricultural Review 2008)

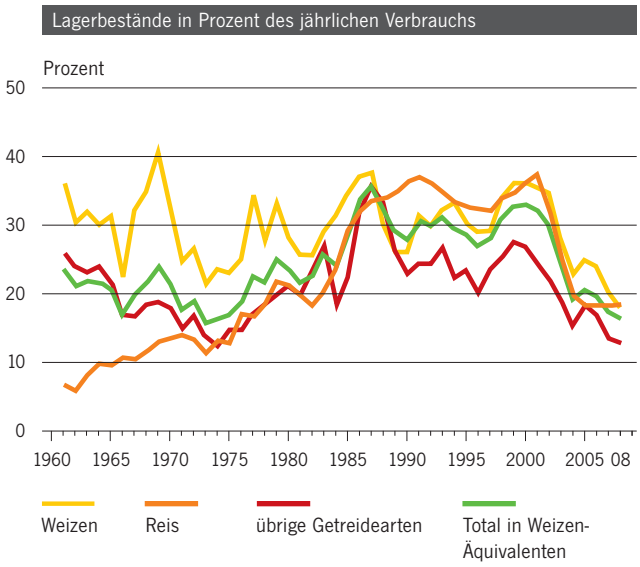


Abb. 5:
Grosse Getreidevorräte können kurzfristige Schwankungen im Agrarmarkt, zum Beispiel wegen Ernteausfällen, ausgleichen. Diese Vorräte haben jedoch seit 2000 rasch abgenommen. Das aktuelle Verhältnis zwischen Lagerbestand und Nachfrage von 16% ist auf dem tiefsten Stand seit 45 Jahren. (Quelle: FAO World Food and Agricultural Review 2008)

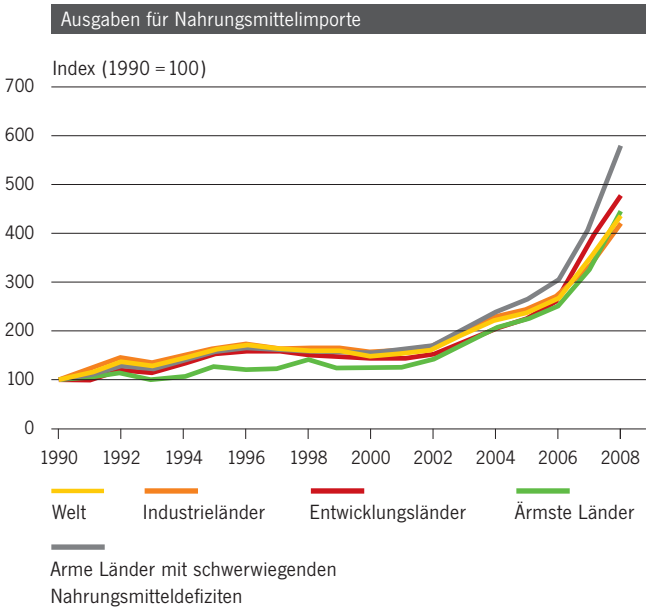


Abb. 6:
Die globalen Ausgaben für den Nahrungsmittelimport haben während den letzten Jahren stark zugenommen. Dafür verantwortlich sind vor allem höhere Preise. Diese sind im Jahr 2008 stark geschwankt. (Quelle: FAO World Food and Agricultural Review 2008)

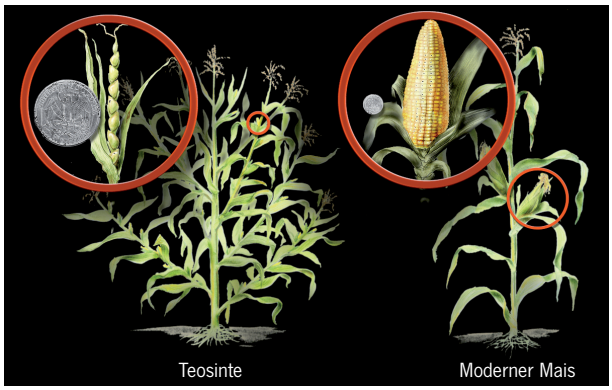
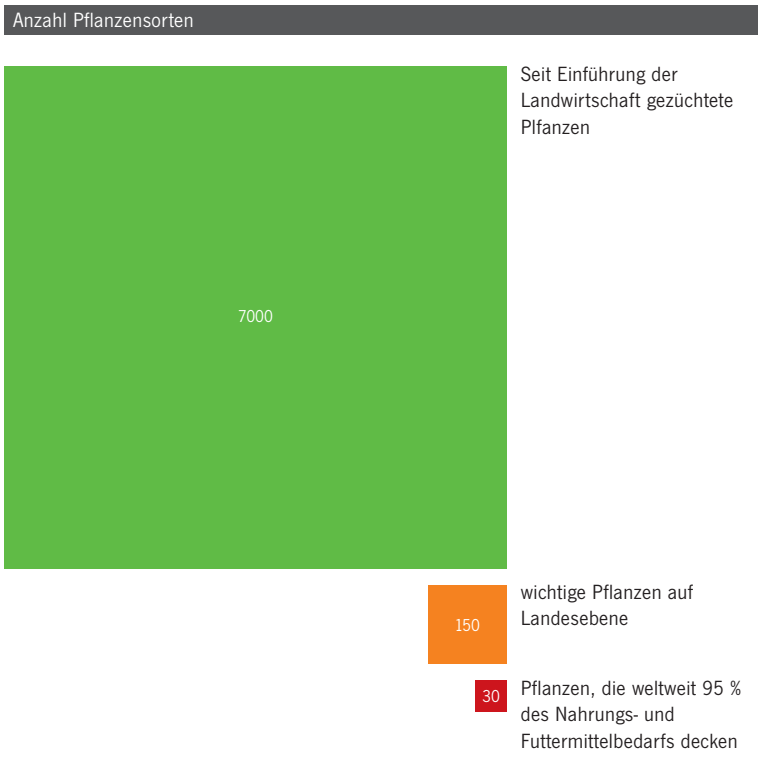


Abb. 7:
Teosinte ist die Ursprungssorte von Mais, welche vor mehr als 6000 Jahren erstmals angebaut wurde. Während der Domestikation gingen viele Eigenschaften, welche das Überleben in der Wildnis ermöglich hatten, verloren, dafür wurden landwirtschaftlich wichtige Eigenschaften verstärkt. Die moderne Maispflanze besitzt nur noch wenige grosse kompakte Kolben mit vielen Reihen weicher Maiskörner auf einem einzelnen unverzweigten Stängel. (Quelle: National Science Foundation)

Abb. 8:
Der erneute Ausbruch der Weizenbraunrostkrankheit ist eine Bedrohung für die Weizenproduktion weltweit. (Quelle: www.globalrust.org)

Abb. 9:
Die Panamakrankheit ist eine von zwei Pilzerkrankungen, welche heute die weltweite Bananenproduktion gefährdet. (Quelle: www.bodenoekosysteme.unibonn.de)



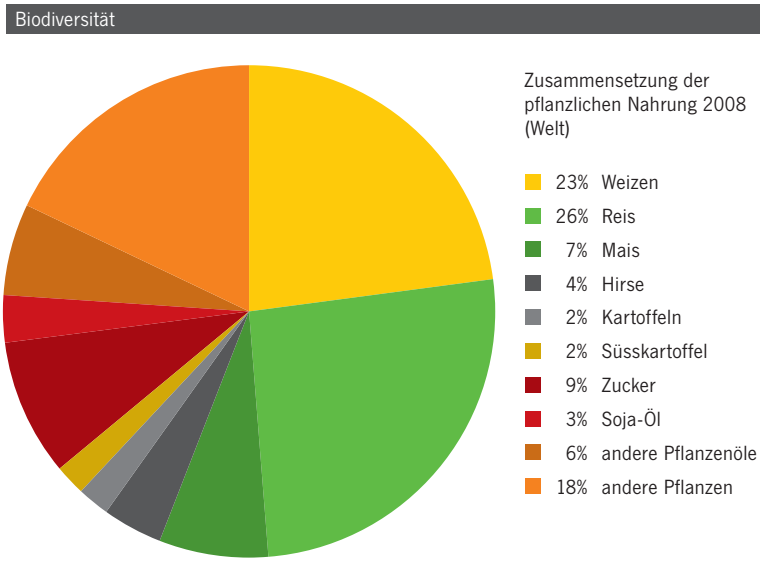


Abb. 10:
Die Diversität der landwirtschaftlich genutzten Pflanzen hat seit dem Beginn der Landwirtschaft stark abgenommen. Rund 95 Prozent des weltweiten Kalorienbedarfs wird von gerade 30 verschiedenen Kulturpflanzen gedeckt (oben). Allein Weizen, Reis und Mais sind für die Deckung von fast 60 Prozent der menschlichen Kalorienbedarfs verantwortlich (unten).

einem Feld mit Kulturpflanzen herrscht, macht es den Krankheitserregern viel einfacher sich auszubreiten. Besonders grossflächige Monokulturen*, welche ihre Resistenzen durch die Jahrtausende währende Kultur verloren haben, sind ein idealer Vermehrungsort für Krankheiten. Das klassische Beispiel dazu ist die grosse Hungersnot in Irland zwischen 1845 und 1850, welche zum Tode von schätzungsweise einer Million Iren geführt hatte (etwa 12 Prozent der Population). Grund war der Ausfall der Kartoffelernte wegen der Kartoffelfäule. Diese wurde durch den Pilz *Phytophtora infestans* ausgelöst, welcher mit einer Ladung Pflanzkartoffeln aus den USA nach Irland und Europa gebracht wurde. Da zu jener Zeit die Bauern in Irland nur drei verschiedene Sorten Kartoffeln als grosse Monokulturen* anbauten, und keine dieser Sorten resistent gegen den Pilz war, konnte sich *Phyotphora infestans* mit seinen Sporen über den Wind ungehindert im ganzen Land ausbreiten. Die Folgen waren verheerend: Knollen verfaulten im Feld, die Menschen hungerten. Doch auch gegenwärtig sind praktisch alle Kulturkartoffelsorten anfällig auf Kartoffelfäule. Der Pilz lässt sich aber durch wiederholte Behandlungen mit Fungiziden* begrenzt in Schach halten.

Pflanzen welche gegen eine bestimmte Krankheit resistent sind, vererben diese Eigenschaft häufig dominant* an ihre Nachkommen. Als dies erkannt wurde, haben moderne Züchter neue Programme entwickelt, um resistente Sorten bei Wildpflanzen zu identifizieren und deren Resistenzeigenschaften in die Kultursorten einzukreuzen. Damit konnten neue Sorten vor Krankheitsbefall geschützt werden. Gleichzeitig wurde dabei entdeckt, dass am geografischen Ursprung einer Pflanze die grösste Vielfalt an wilden Verwandten existiert. Dort gibt es auch die grösste Vielfalt an Krankheitserregern und die zugehörigen Resistenzgene*. Diese Erkenntnisse erleichtern die Arbeit der Züchter, welche in den Ursprungsgebieten wilde Verwandte für die Zucht von neuen Sorten nutzen. Die neuen, nun gegen gewisse Krankheiten resistente Sorten wurden sehr erfolgreich angebaut und halfen, Krankheiten einzudämmen.

Bald wurde Bauern und Züchtern klar, dass es sich dabei nur um einen vorübergehenden Erfolg handelte, denn viele Resistenzen wurden schon nach wenigen Jahren kommerzieller Anwendung von den Pathogenen überwunden. Schwere Epidemien waren das Resultat. Seither wechseln sich Zeiten, in denen die Pflanzen vor der Krankheit geschützt sind, ab mit Zeiten, in denen die Resistenz von einem neuen Stamm der Krankheitserreger durchbrochen wird. Durch die Verbreitung einer neuen Sorte mit einem neuen Resistenzgen* lässt sich die Krankheit wieder einige Zeit kontrollieren. So herrscht ein ständiger Wettlauf zwischen Züchtern und Krankheitserregern. Immer wieder sind neue Sorten mit verbesserten Eigenschaften nötig. Dabei ist es oft schwierig vorherzusagen, wie lange Pflanzen gegen Erreger resistent sind. Der Ausbruch der Weizenbraunrostkrankheit (Abb. 8, S. 9), welche kürzlich durch einen bösartigen Stamm des Pilzes UG99 hervorgerufen wurde, ist ein Beispiel dafür. Der Nobelpreisträger Norman Borlaug meint, diese Krankheit illustriere gut, dass Pflanzenkrankheiten immer noch ein «immenses Zerstörungspotential» hätten[18]. Nach den verheerenden Ernteverlusten zu Beginn und in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts sind die meisten heute angebauten Weizensorten resistent gegen Braunrost. Doch der neue Pilzstamm Ug99, welcher 1999 in Uganda entdeckt wurde, ist viel gefährlicher. Mit dem Wind verbreiten sich die Sporen und damit die Krankheit immer weiter aus. Weil die heutigen Weizensorten gegen diesen neuen Pilzstamm nicht resistent sind, werden ähnlich hohe Ernteverluste wie beim ersten Ausbruch der Braunrostkrankheit erwartet. Die FAO schätzt, dass Ug99 die weltweite Weizenproduktion um 60 Millionen Tonnen verringern könnte. Als erste Gegenmassnahme gegen diese Krankheit werden Pilzvernichtungsmittel eingesetzt. Doch sind diese für die Bauern in den Entwicklungsländern meist zu teuer oder in den nötigen Mengen gar nicht erhältlich. Wer sie dennoch anwendet, kann oft die nötigen Schutzmassnahmen (z.B. Schutzmasken) nicht ergreifen, was zur Beeinträchtigung der Gesundheit führen kann.

Es gibt analog zum Schwarzrost Ug99 weitere Beispiele von aktuellen Krankheitserregern. Die meisten der heute weltweit gegessenen Bananen gehören zur Sorte Cavendish. Diese Banane ersetzte die früher verwendete Sorte Gros Michel, welche 1960 durch die Panamakrankheit, ausgelöst durch den Pilz *Fusarium oxysporum* (Abb. 9, S. 9), völlig verwüstet wurde. Seit etwa dreissig Jahren breitet sich eine neue Pilzkrankheit aus: *Mycosphaerella fijensis* löst die Black Sigatoka Krankheit aus. Black Sigatoka bedroht die Cavendish Bananen und möglicherweise weitere Sorten, welche die Grundnahrung und die einzige Einkommensquelle von Millionen von Menschen sind[19]. Schuld an der Misere sind nicht nur die Monokulturen* und das Vordringen des Pilzes, sondern auch die Tatsache, dass die meisten Bananen steril sind und als Klone* vermehrt werden. Dies macht die Züchtung neuer, resistenter Arten schwierig und erleichtert die Ausbreitung von Krankheiten.

Um im Wettlauf mit neuen und alten Erregern weiterhin vorne zu liegen, ist es unabdingbar, dass

kontinuierlich in die Zucht von neuen Sorten investiert wird. Immer wichtiger werden dabei neue Zuchtmethoden und neue Anbaumethoden, welche die Erreger beim Durchbrechen der Resistenz verlangsamen. Grundlage dafür ist weiterhin eine grosse Vielfalt an verschiedenen Resistenzgenen*. Diese Vielfalt ist heute bedroht.

Biodiversität als Herausforderung

Landwirtschaft und Züchtung reduzierten von Anfang an wegen Rodungen und wegen des Anbaus einer einzelnen Sorte auf einem ganzen Feld die Artenvielfalt. Doch der aktuelle Rückgang der Biodiversität* in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten ist alarmierend. Der Verlust der Biodiversität ist nicht nur eine Bedrohung für die Gesundheit unserer Kulturpflanzen sondern auch eine Gefahr für die zukünftige Forschung, da die Anzahl zur Verfügung stehender Kreuzungspartner geringer wird. Schätzungen gehen davon aus, dass auf der Erde rund 400‘000 verschiedene Pflanzenarten vorkommen. Im Laufe der langen Geschichte der Landwirtschaft wurden rund 7000 verschiedene Pflanzen kultiviert. Davon spielen heute noch 150 Pflanzen (2 Prozent) eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft als Nahrungsmittel oder für die Textilherstellung. Und weltweit liefern nur dreissig der heute angebauten Pflanzen 95 Prozent aller Nahrungs- und Futtermittel (Abb. 10, S. 9).

Beängstigend ist zudem die rasche Abnahme der Diversität innerhalb einer einzelnen Art. Immer grössere Flächen werden mit nur einer einzigen modernen Kultursorte bestellt. Zum Beispiel wurde die Reissorte «IR 36» im Jahr 1982 in Asien auf 11 Millionen Hektaren (rund 2,5-mal die Fläche der Schweiz) angepflanzt. Und in China enthalten alle Hybridreissorten*, welche auf 15 Millionen Hektaren angebaut werden, dasselbe Gen, welches für die männliche Sterilität verantwortlich ist. Gar alle modernen Reissorten enthalten weltweit das gleiche Gen für Zwergwuchs. Nicht nur beim Reis werden immer weniger Sorten nachgefragt , sondern auch bei allen anderen Pflanzen. 1949 wurden in China mehr als 10’000 Weizensorten angebaut, doch bereits 1970 sind davon nur noch 1000 Sorten in Gebrauch. Im Jahr 1983 wurden in Bangladesch 67 Prozent aller Getreidefelder mit einer einzigen Sorte bestellt. Auch in Europa ist die Situation nicht besser. Zum Beispiel werden in Irland nur sechs verschiedene Sorten Weizen genutzt und in den Niederlanden sind die drei Hauptsorten einer Kulturpflanze jeweils auf 81 bis 99 Prozent der gesamten Anbaufläche zu finden. Berichte aus den Vereinigten Staaten aus den Jahren 1972 und 1991 zeigen, dass von acht wichtigen Kulturpflanzen jeweils weniger als neun verschiedene Sorten auf 50 bis 75 Prozent der Gesamtfläche angebaut werden. Zwischen 1804 und 1904 wuchsen dort 7100 verschiedene Apfelsorten. Rund 86 Prozent dieser Sorten gingen in den letzten 100 Jahren verloren. Der Verlust der Sortenvielfalt ist gar noch höher beim Kohl (95 Prozent der Sorten gingen verloren), beim Futtermais (91 Prozent der Sorten gingen verloren) und bei den Erbsen (91 Prozent der Sorten gingen verloren). Analog werden heute nur noch 19 Prozent aller bekannten Tomatensorten in Zuchtprogrammen oder zur Produktion genutzt[17].

Dem weiteren drohenden Verlust der Diversität versucht man u. a. mit Samenbanken zu begegnen. In riesigen Bunkern, zum Beispiel in Spitzbergen 120 m tief im Felsen, werden Millionen von Samenproben aus aller Welt gelagert. Dort überleben sie nicht nur den Klimawandel, sondern würden sogar einen Atomkrieg unbeschadet überstehen. In der Schweiz wurde bereits vor 100 Jahren eine Saatgut-Bank angelegt. Darin werden alle Sorten gelagert, welche heute nicht mehr angebaut werden. Schon jetzt gibt es konkrete Anwendungen für diese alten Sorten. Zum Beispiel wurden in Gerstensorten, welche während den 30er- und 40er-Jahren eingelagert wurden, Resistenzen gegen den gefürchteten Pilz Ug99 gefunden. Dieser Pilz befällt nicht nur Weizen sondern auch Gerste. Die robusten alten Sorten aus der Schweiz sollen nun mit den heutigen anfälligen Sorten gekreuzt werden. Vielleicht lassen sich später darin Gene finden, welche unter neuen klimatischen Bedingungen wichtig sein könnten.

Grüne Biotechnologie – eine neue grüne Revolution?

Um unsere Kulturpflanzen zu verbessern, haben Züchter und Bauern jeweils die Pflanzen mit den besten Eigenschaften ausgewählt, diese miteinander gekreuzt und unter einer grossen Anzahl Nachkommen die jeweils besten Kombinationen mit allen gewünschten Eigenschaften ausgesucht. Diese klassische Strategie funktioniert gut, solange es sich um klar definierte Eigenschaften wie zum Beispiel die Blütenfarbe handelt und die Züchtung mit bereits gut angepassten Kultursorten gemacht wird. Sobald es sich jedoch um komplexe Eigenschaften handelt, welche auf mehreren Genen basieren, wie zum Beispiel Ertrag oder Wasserbedarf, oder um die Einkreuzung einer Krankheitsresistenz aus einer verwandten Wildsorte, wird die klassische Züchtung anspruchsvoll. Wildarten enthalten oft viele für die menschliche Nutzung negative Eigenschaften, welche über die Jahrtausende aus unseren modernen Kultursorten weggezüchtet wurden. Nach der Kreuzung mit einer Wildpflanze müssen die Züchter alle diese negativen Eigenschaften wieder

entfernen und gleichzeitig die positiven Eigenschaften der Kulturpflanze erhalten, was sehr zeitaufwendig sein kann.

Die Züchtung von neuen Sorten wäre viel effizienter, wenn man einfach nachschauen könnte, ob eine Pflanze eine bestimmte Erbeigenschaft bereits enthält, oder wenn man eine einzelne Eigenschaft, wie zum Beispiel ein Resistenzgen* gegen den oben erwähnten Schwarzrost, direkt in die Kultursorte einbringen könnte. Die Zucht mit Hilfe von Genmarkern*, die sogenannte «Marker-assisted selection» oder «Präzisionszucht», ist ein erster Schritt in diese Richtung. Dabei werden bestimmte molekulare Markierungen im Pflanzengenom*, welche eng mit der gewünschten Eigenschaft verknüpft sind, als Wegweiser genutzt, so dass sich einzelne Chromosomenabschnitte mit wünschenswerten Eigenschaften in den Pflanzen leichter identifizieren lassen. Die voll automatisierte Suche nach solchen Genmarkern ist schneller, präziser und billiger als das Sichten von vielen Pflanzenphänotypen*. Die dafür nötigen molekularen Marker wurden während der letzten 20 Jahre publiziert. Heute werden in der modernen öffentlichen wie auch kommerziellen Züchtung schätzungsweise 10‘000 molekulare Marker in verschiedenen Kulturpflanzen angewendet[29]. Mit Hilfe der Präzisionszucht wurde beispielsweise ein Weizen entwickelt, welcher gegen Ährenfusariose, eine Pilzkrankheit, resistenter wurde, und bei dem eine 27-prozentige Reduktion der Anzahl infizierter Körner erreicht werden konnte[30]. Auch eine Sojasorte, welche vor Nematoden geschützt ist[31] – und damit auch vor Ertragseinbussen – konnte mit dieser Methode gezüchtet werden. Trotz dieser Erfolge und vieler noch ungenutzter Möglichkeiten wird die Präzisionszucht nicht alle Probleme der modernen Landwirtschaft lösen können. Denn auch mit Präzisionszucht ist es eine grosse Herausforderung, eine Sorte mit komplexen Eigenschaften zu entwickeln, welche auf der Kontrolle verschiedener Gene beruhen.

In vielen Fällen wäre es einfacher, das Gen einer gewünschten Eigenschaft zu isolieren und mit Hilfe der Gentechnik direkt in die moderne Kultursorte einzupflanzen. Dieser Ansatz wird heute sowohl an Universitäten wie in der Industrie oft verfolgt. Auch die Forschungsgruppe von Beat Keller, Professor am Institut für Pflanzenwissenschaften der Universität Zürich, verwendet diesen Ansatz, um pilzresistenten Weizen zu entwickeln[32]. Dazu hat sie verschiedene Varianten eines Resistenzgenes* gegen die Pilzkrankheit Mehltau aus Weizenlandrassen isoliert. Landrassen sind Weizensorten, welche ohne gezielte Züchtung in einem bestimmten Gebiet entstanden sind. Die Erträge von Landrassen sind typischerweise viel tiefer als diejenigen der modernen Weizensorten. Mit Hilfe der Gentechnik können die isolierten Resistenzgene* nicht nur einzeln in die Kultursorten eingebracht, sondern auch in verschiedenen Kombinationen, um die Resistenz gegen den Pilz zu verstärken und ein Durchbrechen der Resistenz zu verzögern. Die gentechnisch veränderten Weizenpflanzen werden nun in der Schweiz in einem Feldversuch überprüft. Nach den erfolgreichen Untersuchungen im Labor soll im Feld getestet werden, ob die Pilzresistenz auch unter natürlichen Bedingungen wirkt. Daneben stehen vor allem Untersuchungen zur Biosicherheit und zu den agronomischen Eigenschaften dieser Pflanzen im Vordergrund. In einem ähnlichen Projekt konnte mit dieser Technik ein Pilzresistenzgen* aus einer wilden mexikanischen Kartoffelsorte in eine Kultursorte erfolgreich eingeführt werden[33]. Dadurch wurde diese resistent gegen verschiedene Stämme von *Phytophthora infestans*, dem Pilz, welcher um 1840 die grosse Hungersnot in Irland ausgelöst hatte, und die Bauern in Europa noch immer plagt.

Mit Hilfe der Gentechnik ist es heute möglich, Gene von Wildpflanzen direkt in moderne Kultursorten einzufügen. Die langwierigen Rückkreuzungen zum Entfernen aller «wilden» Eigenschaften entfallen. Die Gentechnik kann aber noch weiter gehen. Da die Sprache – oder der Code – der Gene universal ist, können auch Gene aus ganz anderen Arten in landwirtschaftlich genutzte Pflanzen eingebracht werden. Dies gelang erstmals vor bereits fast 20 Jahren. Damals wurden die ersten gentechnisch veränderten Pflanzen im Labor entwickelt. Diese Pflanzen erhielten neue Eigenschaften, welche sie vor Schadinsekten, vor Unkraut oder Pflanzenkrankheiten schützten. Sogenannter BT Mais und BT Baumwolle produzieren dank eines zusätzlichen bakteriellen Gens ein eigenes Insektizid, welches sie vor Schädlingen schützt. Sie sind deshalb auf wesentlich weniger Insektizid von aussen angewiesen. Herbizid resistente Pflanzen wie Soja, Baumwolle oder Raps können auch auf ungepflügten Feldern angebaut werden, da sie gegen ein Totalherbizid resistent sind. Dieses Herbizid kann – im Gegensatz zur herkömmlichen Methode – ausgebracht werden, wenn die Pflanzen schon etwas gewachsen sind. Da so der Boden nie offen, also nie ohne Bepflanzung liegt, kann die Erosion dank dieser Pflanzen stark reduziert werden.

Diese ersten gentechnisch veränderten Pflanzen wurden von den Bauern geschätzt, weil sie die ökonomischen Vorteile, aber auch die Vorteile für die Umwelt erkannten. Diese Pflanzen werden nun seit mehr als 12 Jahren weltweit kommerziell

angebaut, aktuell auf mehr als 125 Millionen Hektaren. Dies entspricht ungefähr 30-mal der Fläche der Schweiz (Abb. 11). Gentechnisch veränderte Pflanzen werden heute in Ländern wie Argentinien, Australien, Brasilien, Kanada, China, Indien, Mexiko, den Philippinen, Südafrika und den Vereinigten Staaten angebaut. Von den weltweit 12 Millionen Bauern, welche im Jahr 2007 gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut haben, leben über 90 Prozent in Entwicklungsländern. Diese modernen Pflanzen wurden im Labor und im Feld ausführlich untersucht. Sie sind substanziell gleichwertig wie die entsprechenden Ausgangsorten. Seit mehr als 10 Jahren werden sie von Millionen von Konsumenten jeden Tag ohne negative Folgen für die Gesundheit gegessen, woraus wir schliessen dürfen, dass sie unbedenklich und sicher sind für Mensch und Umwelt.

Die heute angebauten gentechnisch veränderten Pflanzen sind die erste Generation ihrer Art. Gentechnologie ermöglicht jedoch zahlreiche weitere Anwendungen. So könnten zukünftige Kulturpflanzen gesünder sein, weil sie mehr Vitamine, mehr Spurenelemente oder weniger Allergene enthalten. Sie könnten umweltfreundlicher sein, weil sie mit weniger Stickstoff und Wasser auskommen oder auf mit Schwermetall verseuchten Böden wachsen. Sie könnten industrielle Prozesse vereinfachen und beschleunigen, indem beispielsweise Kartoffeln mit nur einer Stärkesorte hergestellt werden oder Tabak, der biologisch abbaubaren Plastik produziert. Gentechnisch veränderte Pflanzen könnten in Zukunft gar Medikamente herstellen, beispielsweise einen Hepatitis-B Impfstoff, der in Kartoffeln hergestellt werden kann. Solche Pflanzen stehen kurzfristig für den kommerziellen Anbau noch nicht zur Verfügung, doch sie sind bereits entwickelt und werden im Labor sowie zum Teil im Gewächshaus studiert. Vor einer möglichen Anwendung würden natürlich auch diese Pflanzen grundlegend und intensiv getestet.

Akzeptanz als Herausforderung

Trotz der raschen Verbreitung in den Vereinigten Staaten wurden gentechnisch veränderte Pflanzen nicht überall mit Begeisterung aufgenommen. Verschiedene europäische Umweltgruppen haben die Sicherheit dieser Pflanzen lautstark in Frage gestellt und damit eine grosse international Debatte ausgelöst. Sie vermuten, dass gentechnisch veränderte Pflanzen einen negativen Effekt auf die menschliche Gesundheit und auf die Umwelt haben könnten. Auskreuzungen auf wilde Verwandte oder nicht erwartete Effekte auf Nützlinge seien möglich. Forschende haben diese möglichen Risiken sorgfältig studiert und untersucht. Jede gentechnisch

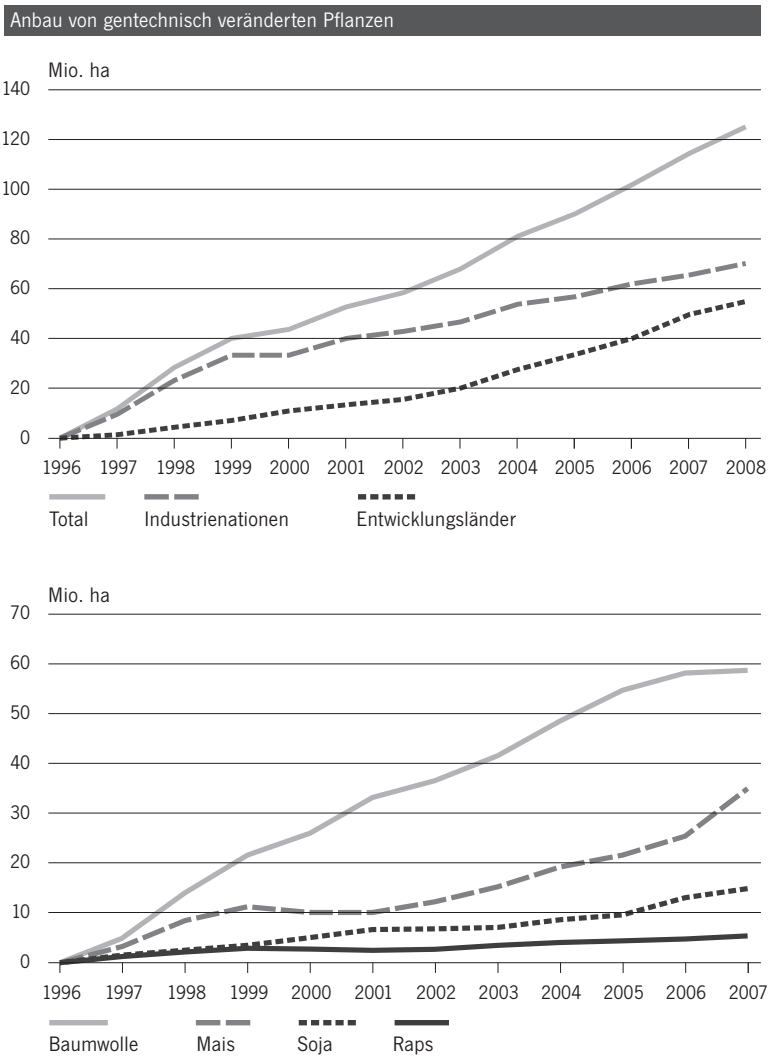


Abb. 11:
Die Produktion von gentechnisch veränderten Pflanzen hat weltweit in den Industrie und Entwicklungsländern rasch zugenommen. Heute werden Pflanzen, welche mit Hilfe der Gentechnik vor Insekten geschützt sind oder gegen ein Herbizid resistent sind, von12 Millionen Bauern verwendet. (Quelle: Clive James, http://www.isaaa.org)

veränderte Pflanze wurde genauer auf mögliche Risiken für Mensch und Umwelt untersucht als jede herkömmliche Pflanze. Daher gibt es bis heute keinen einzigen Fall einer menschlichen oder tierischen Erkrankung, welche mit dem Konsum einer gentechnisch veränderten Pflanze in ursächliche Verbindung gebracht werden könnte. Auch ist bis heute kein einziger Fall belegt, der eine Beeinträchtigung der Umwelt zur Folge gehabt hätte und der spezifisch auf landwirtschaftliche Anwendung von gentechnisch veränderten Pflanzen zurückzuführen wäre. Trotz dieser Fakten ist ein grosser Teil der Bevölkerung in Europa gegenüber gentechnisch veränderten Pflanzen immer noch sehr kritisch eingestellt. Wohl auch deshalb werden Gesuche für Feldversuche in Europa eher restriktiv gehandhabt, verzögert und die Versuchsanlagen von Aktivisten

gar zerstört. Damit werden die Forschung in diesem Bereich erschwert und Innovationen verhindert. Auch die Feldversuche der bereits erwähnten Gruppe von Beat Keller wurden im Sommer 2008 trotz verschiedener Sicherheitsmassnahmen teilweise zerstört. Getroffen wurden dabei vor allem die Versuche zur Biosicherheit, denn die meisten Messungen zur Pilzresistenz waren bereits vor der Zerstörung Mitte Juni abgeschlossen.

Von der Öffentlichkeit vielfach unbeachtet bleiben die positiven Erfahrungen mit gentechnisch veränderten Pflanzen. So haben diese von 1996 bis 2006 zusätzlich zum Ertrag aus traditionellem Anbau genügend Kohlenhydrate produziert, um 467 Millionen Menschen während eines Jahres zu ernähren. Um den Ernteertrag im Jahr 2006 ohne gentechnisch verändertes Saatgut zu erhalten, wären zusätzliche 4,6 Millionen Hektar Soja, 2 Millionen Hektar Mais und 0,15 Millionen Hektar Raps nötig gewesen.

Mit dem Anbau der gentechnisch veränderten Pflanzen wurde nicht nur wertvolles Land gespart. Mehr Ertrag auf weniger Fläche bedeutet unter anderem auch weniger Fahrten mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen und damit eine erhebliche Reduktion von Treibhausgasemissionen. Allein im Jahr 2006 wurde dank dem Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen so viel Treibhausgas eingespart, wie wenn 6.6 Millionen weniger Autos auf unseren Strassen gefahren wären[34].

Wir werden in Zukunft mehr Nahrung für mehr Menschen auf einem endlichen Stück Erde nachhaltig produzieren müssen. Deshalb wäre es unverantwortlich, wenn neue landwirtschaftliche Konzepte und die modernen gentechnisch veränderten Sorten aufgegeben würden. Der neueste Bericht der FAO zeigt, dass im Jahr 2007 immer noch 923 Millionen Menschen hungerten. Das sind über 80 Millionen Menschen mehr als in den Jahren 1990 bis 1992[34]. Damit die vielen Millionen hungernder Menschen heute und in Zukunft ernährt werden können, müssen alle Möglichkeiten der modernen Landwirtschaft ausgeschöpft werden. Nur so lässt sich unter den in Zukunft erschwerten Bedingungen genügend Nahrung produzieren.

Ernährungssicherheit – eine wissenschaftliche Herausforderung

Ernährungssicherheit ist nicht nur ein Problem der Entwicklungsländer. In unserer modernen, industrialisierten und stark vernetzten Welt ist dies schon lange ein globales Problem. Auch wenn die aktuelle Finanzkrise etwas von den Sorgen um die Energie- und Nahrungsmittelknappheit abgelenkt hat, wird die Bereitstellung von genügend Nahrung und genügend Rohstoffen für die Agrotreibstoffproduktion* zweifellos eine zentrale Herausforderung unserer Zeit bleiben. Zur Sicherstellung der globalen Nahrungskette braucht es gemeinsame, ausgewogene und dauerhafte Massnahmen. Regierungen, Industrie und die Öffentlichkeit müssen erkennen, dass es dringend nötig ist, langfristig in die Pflanzenforschung, in Züchtungsprogramme und in die Biotechnologie zu investieren, um die drohende Hungerkatastrophe zu vermeiden. Forschende könnten dann neue Kultursorten entwickeln, welche vor Krankheiten geschützt sind, welche unter schwierigen und rasch ändernden klimatischen Bedingungen gedeihen, und welche die nötigen Rohstoffe liefern, um die rasch schwindenden fossilen Brennstoffe zu ersetzten.

Die moderne Landwirtschaft braucht wegen der drohenden Nahrungsknappheit und zum Schutz der Umwelt eine neue grüne Revolution. Bereits im 18. Jahrhundert sagte Thomas Robert Malthus voraus, dass wir wegen der exponentiell wachsenden Bevölkerung bald verhungern werden, und der Club of Rome prophezeite im Jahr 1972, dass wir bis 1990 alle Erdölreserven verbraucht hätten. In Tat und Wahrheit hat sich die landwirtschaftliche Produktion seit 1961 mehr als verdoppelt, es werden immer weniger Kinder geboren und die Erdölreserven sind noch nicht aufgebraucht. Die Vorhersagen von Malthus und des Club of Rome haben das menschliche Streben nach Verbesserungen und technischem Fortschritt vernachlässigt. Doch klar ist auch: Nur wenn wir gemeinsam und mit vollem Einsatz verantwortungsbewusst alle Möglichkeiten der modernen Landwirtschaft nutzen, wenn wir in innovative Projekte investieren und Raum für neue Ideen lassen, werden wir auch in Zukunft nachhaltig genügend Nahrung und genügend Rohstoffe herstellen können.

–

Glossar

Bio-/Agrotreibstoff — Bio- oder Agrotreibstoffe sind flüssige oder gasförmige Treibstoffe, welche aus pflanzli-chen Rohstoffen hergestellt wurden. Bioethanol wird zum Beispiel durch Vergärung und Destillation von Getreide, Mais oder Zuckerrüben hergestellt und kann Benzin als Treibstoff ersetzen. Die Verwendung von Biotreibstoffen ist CO_2 neutral.

Biodiversität — Die Biodiversität umfasst die Vielfalt der Arten, die Vielfalt der Gene innerhalb einer Art und die Vielfalt der Ökosysteme oder Lebensräume.

Biopolymere — Ein Polymer ist eine chemische Verbindung, welche aus miteinander verknüpften, gleichen Einheiten besteht. Entstehen diese Polymere in der Natur, so spricht man von Biopolymeren.

Dominant / rezessiv — Die meisten Organismen, die sich sexuell fortpflanzen, sind diploid, das heisst, sie enthalten je einen kompletten Gensatz von der Mutter und einen vom Vater. Nachkommen erhalten demnach die mütterlichen als auch die väterlichen Variante eines Gens. Diese Gen-Varianten können dominant oder rezessiv sein. Unter der Annahme, dass dass die rote Blütenfarbe dominant vererbt wird, weisse aber rezessiv, werden Pflanzen, die von ihren Eltern sowohl eine weisse als auch eine rote Genvariante geerbt haben, rote Blüten haben. Nur diejenigen Pflanzen, welche von beiden Elternpflanzen je die Genvariante Weiss bekommen haben, werden weisse Blüten tragen.

Fungizid — Ein Fungizid ist ein chemischer oder biologischer Wirkstoff zur Bekämpfung von schädlichen Pilzen in der Landwirtschaft.

Genmarker — Ein Genmarker ist ein kurzer, bekannter Abschnitt auf der DNA, dessen Ort im DNA-Molekül genau bekannt ist. Falls dieser eng mit einer für die Landwirtschaft positiven Eigenschaft verknüpft ist, kann dieser bei der Züchtung von Kulturpflanzen eingesetzt werden.

Genom — Als Genom wird die Gesamtheit aller Gene eines Lebewesens bezeichnet. Diese sind in Form von DNA in jeder Zelle enthalten.

Hybridpflanze — Eine Hybride ist eine Pflanze, welche aus der Kreuzung von zwei unterschiedlichen reinerbigen Zuchtli-nien entstanden ist. In der Pflanzenzüchtung sind dies meist Inzuchtlinien. Hybriden sind vitaler und leistungsfähiger, weshalb sie in der Landwirtschaft eine wichtige Rolle spielen. Ein Nachteil von Hybridpflanzen ist, dass sie für jede Aussaat neu gekreuzt werden müssen, da sich die nachfol-gende Generation bei der Wiederaussaat genetisch aufspaltet. Damit werden auch die guten Eigenschaften aufgespalten. Deshalb können Bauern aus Hypridpflanzen kein eigenes Saatgut herstellen.

Klon — Ein Klon entsteht durch ungeschlechtliche Vermehrung und ist eine exakte Kopie seines Vorfahrens. Bei der Pflanze entstehen Klone zum Beispiel bei der vegetativen Vermeh-rung, wie sie zum Beispiel bei der Vermehrung von Kartoffeln durch Knollen üblich ist.

Monokultur — Von einer Monokultur spricht man, wenn auf einer grossen Fläche nur eine einzelne Pflanzenart angebaut wird. Neben Vorteilen wie der einfacheren und effizienteren Handhabung eines solchen Anbaus, birgt eine Monokultur auch Gefahren, da sich Krankheiten in solchen Feldern sehr rasch ausbreiten können.

Phänotyp — Der Phänotyp einer Pflanze ist das Erscheinungsbild der Pflanze und besteht aus allen inneren (z. B. Ölgehalt im Samen) und äusseren Merkmale (z. B. Blütenfarbe). Diese werden sowohl durch die Gene, wie auch durch die Umwelt beeinflusst.

Resistenzgen — Ein Resistenzgen ist ein Gen, welches das Lebewesen vor einer Krankheit schützt. Ein Pilzresistenzgen kann zum Beispiel eine Pflanze vor Pilzbefall schützen.

Tetraploid/Hexaploid — Tetraploide Pflanzen enthalten vier komplette Chromosomensätze, hexaploide Pflanzen enthalten sechs Chromosomensätze. In den meisten Fällen sind Pflanzen, wie Menschen, diploid und enthalten nur zwei komplette Chromosomensätze, je einen von jedem Elternteil.

▶

Referenzen

1. *United Nations 2007, World Populations Prospects – The 2006 revision, http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/WPP2006_Highlights_rev.pdf*

2. *World Agriculture: towards 2015/2030, An FAO perspective, FAO, 2003, http://www.fao.org/docrep/005/Y4252E/y4252e00.htm*

3. *Agriculture for Development, World Development Report 2008, World Bank, October 2007*

4. *The 2008 World Factbook, Central Intelligence Agency, https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/*

5. *S.J. Scherr and Y. Satya., 1996. "Land Degradation in the Developing World: Implications for Food, Agriculture, and the Environment to 2020." Washington, DC: International Food Policy Research Institute Discussion Paper 14*

6. *World Agriculture: towards 2015/2030, An FAO perspective, FAO, 2003, http://www.fao.org/docrep/005/Y4252E/y4252e00.htm*

7. *S. Postel, Pillar of sand–Can the irrigation miracle last? 1999, W.W. Norton Publisher*

8. *S. Wood, K. Sebastien and S.J. Scherr, Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystem, 2000, International Food Policy Research Institute. http://www.ifpri.org/pubs/books/page/agroeco.pdf*

9. *F. Ghassemi et al., Salinisation of Land and Water Resources. Human Causes, Extent, Management & Case Studies, 1995, CAB International*

10. *Z.W. Kundzewicz et al., 2007. "Freshwater Resources and their Management." In M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, eds. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 173–210.*

11. *B.D. Smith, The emergence of agriculture, 1995, Scientific American Library*

12. *G.C. Hillman and M.S. Davies, 1999. Domestication rate in wild wheats and barley under primitive cultivation. In Prehistory of agriculture, new experimental and ethnographic approaches." P.C. Anderson, ed. University of California, p. 70–102*

13. *Hedden, The genes of the Green Revolution, Trends in Genetics 19: 5–9, 2003*

14. *J. Huang, C. Pray and S. Rozelle, Enhancing the crops to feed the poor, Nature 418: 678–684, 2002*

15. *Heinrichs, E.A. 1998. Management of Rice Insect Pests. http://ipmworld.umn.edu/chapters/heinrich.htm*

16. *FAO, The Sixth World Food Survey. Rome, 1996. http://www.fao.org/ES/ESS/wfs.asp*

17. *FAO, Report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture, Rome, 1996. http://www.fao.org/docrep/007/y5609e/y5609e02.htm*

18. *NewScientist, 03 April 2007 (http://www.newscientist.com/article/mg19425983.700)*

19. *The Scientist, 30 May 2008 (http://www.the-scientist.com/news/display/54710/)*

20. *W.R. Cline, 2007. Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Washington, D.C.: Center for Global Development and Peterson Institute f. International Economics*

21. *http://www.basf.com/group/corporate/en/content/news-and-media-relations/news-releases/P-07-187*

22. *http://www.fao.org/wairdocs/TAC/Y5198E/y5198e02.htm*

23. *J.D. Cure and B. Acock, 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. Agric. For. Meteorol. 38: 127–145*

24. *J. Fuhrer, 2003. Agroecosystem responses to combination of elevated CO2, ozone, and global climate change. Agriculture, Ecosystems and Environment, 97: 1-20.*

25. *D.B. Lobell et al., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science 319: 607-610*

26. *B. Dale, 2008. Biofuels: thinking clearly about the issues. J. Agric. Food Chem. 56: 3885-3891*

27. *http://www.govtrack.us/congress/billtext.xpd?bill=h110-6*

28. *http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008PC0019:EN:NOT*

29. *R. Bernardo, 2008. Molecular markers and selection for complex traits in plants: learning from the last 20 years. Crop Science, Vol. 48*

30. *J.A. Anderson, S. Chao and S. Liu. 2008. Molecular breeding using a major QTL for Fusarium head blight resistance in wheat. Crop Science. 47: 112-119*

31. *V.C. Concibido, B.W. Diers and P. R. Arelli. 2004. A decade of QTL mapping for cyst nematode resistance in soybean. Crop Science. 44:1121-1131*

32. *http://www.konsortiumweizen.ch*

33. *J. Song et al., 2003. Gene RB cloned from Solanum bulbocastanum confers broadspectrum resistance to potato late blight. Proceedings of the National Academy of Science 100: 9128-9133*

34. *The State of Food Insecurity in the World, FAO, Rome, 2008, http://www.fao.org/docrep/011/i0291e/i0291e00.htm*