

Warum nur eine intensivierete Pflanzenzüchtung die globale Ernährungssicherung ermöglicht

Peter Stamp (Zürich)

Zusammenfassung

Für eine globale Ernährungssicherung muss die Primärproduktion zwischen 2000 und 2050 verdoppelt werden, dies muss zu 80% über eine erhöhte Flächenproduktivität erfolgen. Um dies zu schaffen, braucht es eine noch stärkere und effizientere Pflanzenzüchtung. Hierfür muss unsere Gesellschaft gewonnen werden, obwohl sie sich bereits mit einer Reihe von weiteren Herausforderungen auseinandersetzen muss. Diese umfassen Klimawandel, schwindende Landreserven, Förderung der Bioenergiegewinnung, Verknappung von Wasser und Phosphat sowie einen steigenden Fleischbedarf, allesamt Gefährdungen für die sichere Ernährung. Zudem beschränkt sich die Züchtung weitgehend auf sehr wenige Hauptkulturarten, selbst bei Selbstbefruchterarten wie Weizen lässt der Zuchtfortschritt nach. Die Öffentlichkeit wird zudem von der Bedrohlichkeit dieses Zukunftsproblems häufig abgelenkt, da Zukunftstechnologien im Bereich der Molekularbiologie für sich alleine herausgehoben als Gesamtlösung aller direkt bevorstehenden Probleme angepriesen werden. Der Fokus hier liegt auf der Diskussion der bestehenden Engpässe und möglichen Lösungsansätzen.

Why just an Intensified Plant Breeding Enables Global Food Security

Plant production must be twice higher in 2050, otherwise there will be not enough food on a global level; for this goal the productivity per area of land must increase by 80%. It can only be achieved by a much stronger and efficient plant breeding than today. This has to be fully supported by the public despite a range of further, partly interacting challenges by further important topics like climate change, on-going losses of arable land, misuse of land for bioenergy generation, lack of affordable water and phosphorous as well as an increased meat consumption. Regarding breeding itself, society has become more vulnerable as breeding investments go to very few major crops and the yield increase in self-pollinating cereals is insufficient to guarantee future food security. New tools will help to speed up breeding, especially offered by molecular biology. However, new breeding technologies are too often highlighted as the miracle means to solve all problems for food security once for all. Tragically, this distracts the public from the utter need to invest heavily in basic breeding research and breeding application. Therefore we need a clear view on the range of obstacles to be overcome and as well as the opportunities available to win the run for global food security by the best germplasm ever.

Schlagwörter: Ackerland – Klimawandel – Wassermangel – Phosphatknappheit – Bioenergie – Molekulare Züchtung

Keywords: arable land – climate change – water scarcity – phosphorous scarcity – bioenergy – molecular breeding

1 EINLEITUNG

Vor mehr als 10 000 Jahren haben die Menschen im Nahen Osten die ersten Kulturpflanzen angebaut. Von dort aus haben Kulturpflanzen die ganze Welt erobert, sieht man von Australien ab. Dort gab es keine für den Anbau geeig-

neten Gräserarten, die sich für eine Lagerhaltung eigneten. Der Übergang zum Ackerbau war unumkehrbar, denn nur so konnten immer mehr Menschen ernährt werden. Dies trug gleichzeitig direkt und indirekt zu einer schnellen kulturellen Entwicklung bei. Nach 45 000 Jahren Menschheitsgeschichte ausserhalb Afrikas soll sich innerhalb von

wenigen tausend Jahren die Idee des Ackerbaus unabhängig voneinander in allen Kontinenten ausser Australien verbreitet haben, so die gängige Theorie. Ich persönlich gehe davon aus, dass bei der Verbreitung mündliche Kommunikation durch Weitreisende oder Schiffbrüchige mit im Spiel war. Diese Menschen mussten ja nicht unbedingt die Samen selbst im Gepäck gehabt haben, sondern Ideen und Wissen.

Die Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln erlaubt seit mehr als hundert Jahren eine gezielte Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, vor allem seit der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts basieren Anbau, Ernährung und Schutz der Pflanzen auf einem gemeinsamen physiologischen Grundlagenwissen, verbunden mit einer technisch ausgefeilten Mechanisierung. Die Landwirte von heute wissen, wie sie die agronomische Umwelt nutzen und gegebenenfalls beeinflussen müssen, um die heute enorm hohen Erträge zu erzielen. Erreicht werden diese zum einen durch eine ganze Reihe von Schutzmassnahmen gegen Pflanzenantagonisten, die je nach gewähltem Anbausystem – von biologisch organisch bis zu intensiv – variiert werden. Zum anderen kommen chemische Massnahmen zum Einsatz, so etwa die gezielte Anpassung von chemischen Bodeneigenschaften wie pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit an den Pflanzenbedarf. Jeder Fortschritt im Anbau von Kulturpflanzen erlaubte auch eine Zunahme der Weltbevölkerung. Jedoch wissen wir seit vielen Jahrzehnten, dass unsere üblichen landwirtschaftlichen Ressourcen für die Ernährung der Weltbevölkerung endlich sind und irgendwann eine Grenze erreichen. Und dieser Zeitpunkt liegt nicht mehr in einer entfernten Zukunft.

Nachfolgend möchte ich aufzeigen, warum wir gezwungen sind, die bereits heute meist hohe Flächenproduktivität noch gewaltig zu steigern. Meiner Auffassung nach kann dies nur durch eine verstärkte Pflanzenzüchtung geschehen. Sie verschafft uns die notwendige Zeit, eine friedvolle Koexistenz von Menschen und Ressourcen in einer nachhaltigen Umwelt zu erreichen. Angesprochene Themen umfassen die Ernährungssicherheit und die Pflanzenzüchtung.

2 ERNÄHRUNGSSICHERHEIT

Bei den Planungen und Aktivitäten aller verantwortungsvollen und gut ausgebildeten Agronomen muss die globale Ernährungssicherheit im Vordergrund stehen. Zusammen mit Biologen, Geographen, Ökologen und Wirtschaftsfachleuten sind es die Agronomen, die als die Experten für das

Verständnis der langfristigen Verfügbarkeit der Ressourcen, ihrer Verknüpfungen und Wechselwirkungen, besonders aber auch für die Erhaltung der fruchtbaren Böden und die ständige Anpassung der Pflanzen an alle klimatischen Bedingungen in der Verantwortung stehen. Das erfordert nicht nur eine angemessene Bewusstseinsbildung in der Gesellschaft, sondern auch verstärkte Anstrengungen bei der Ausbildung von Agrarexperten – und dies weltweit. Unglücklicherweise bedroht heute der eklatante Mangel an gut ausgebildeten Pflanzenzüchtern die Umsetzung des enormen Wissensfortschritts auf dem Gebiet der Molekularbiologie in konkrete Züchtungsfortschritte.

Es wurde viel geschrieben über den Stand der weltweiten Ernährungssicherung, dabei richtete sich der Fokus auf die Zeit zwischen 2020 und 2050 (FAO, 2010, World Bank, 2009). Heftig wurde darüber diskutiert, warum schon 2008 die ersten Engpässe erkennbar wurden, obwohl man den Mangel an verfügbarem Ackerland und Erträgen nicht vor 2020 erwartet hatte. 2010 erschreckte ein zweiter rasanter Anstieg der Nahrungsmittelpreise die internationale Gemeinschaft und führte dazu, dass der Weltbank-Präsident vor dem Anstieg extremer Armut für immer mehr Menschen warnte (World Bank, 2011) Es ist mehr denn je von Politik und Wirtschaft gefordert, die effiziente Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in für die Konsumenten spürbare Vorteile zu garantieren. Schon 2375 vor Christus hatte Ptah-Hotep, ein kluger Premierminister in Ägypten, die Erfüllung der Grundbedürfnisse einer Gesellschaft als die Voraussetzung für sozialen Frieden und Stabilität bezeichnet. Soziale Unzufriedenheit habe Gewalt und Terror zur Folge. An diese Prämisse sollten wir uns auch heute noch halten.

Die vielfältigen Herausforderungen an eine überzeugende Strategie der globalen Ernährungssicherung in einer nachhaltig nutzbaren Umwelt werden in diversen wissenschaftlichen Disziplinen mit entsprechend variierendem Fokus diskutiert. Das macht es der Öffentlichkeit und den Entscheidungsträgern nicht immer einfach, angemessen zu reagieren. Zudem ist eine unerwartete neue Dimension dazugekommen: die schockierende Spekulation auf Rohstoffe wie zum Beispiel Weizen und Reis, die die Ärmsten der Welt besonders brutal und in einem bisher ungekannten Ausmass treffen und alle bisher erreichten Anstrengungen zur Reduktion des Hungers in der Welt zunichtemachen können. Wir müssen uns aber mit allen Problemkreisen im Kontext auseinander setzen, um die Teilziele für die Ernährungssicherung ausgewogen zu definieren.

Problemkreis 1: Der Klimawandel hat bereits stattgefunden

Schon im letzten Jahrhundert wurden wir mit der Tatsache konfrontiert, dass CO₂-Gehalt und Temperatur weltweit ansteigen. Durch die Selektion neuer angepasster Sorten aus Populationen mit einer ausreichend breiten genetischen Basis kann solchen Veränderungen zumindest indirekt begegnet werden. Dazu müssen künftige Sorten in zahlreichen klimatisch unterschiedlichen Umwelten geprüft werden.

Für eine direkte Intervention sind die Mittel und Möglichkeiten eher noch grösser. Denn der Züchter kann sich genetisches Material aus Regionen beschaffen, in denen künftig erwartete klimatische Bedingungen schon jetzt herrschen oder neue Kulturarten einführen, die von höheren Temperaturen und einem erhöhten CO₂-Gehalt profitieren. Im ersten Fall können C4-Pflanzen produktiver werden und im zweiten Fall können C3-Pflanzen mehr profitieren.

Modellierungen haben jedoch gezeigt, dass das globale Geschehen auf regionaler Ebene durchaus differenziert betrachtet werden muss. Denn, ausgelöst von höheren Temperaturen und veränderter Niederschlagsverteilung, kann in bestimmten Phasen der Pflanzenentwicklung abiotischer Stress in ungewohntem Ausmass wirksam werden. Ein Beispiel: während der Blüte reagiert Mais negativ auf Trockenheit. In Zukunft kann aber eine Trockenphase ausgerechnet in dieser Zeit in der Schweiz viel öfter auftreten.

Die grösste Gefahr bringt jedoch die erhöhte Energie im globalen Wettergeschehen mit sich, die wohl zu bislang unbekanntem und unvorhersagbarem, raschem Wechseln von Temperatur, Niederschlag und Hagel führen wird. Dieses Phänomen ist aus Island bekannt, Bäume Eurasiens überleben dort die schnellen Wechsel zwischen +10 und -10 Grad innerhalb von Tagen während des Winters nicht. Bis heute kennt man in produktiven Kulturpflanzen (Hektarerträge von über einer Tonne) keine Mechanismen, die zur Adaption an extrem lang andauernde Trockenperioden oder Überflutungen führen, ohne dass Wachstum und Ertragsicherheit stark zurückgehen. Zusätzliche Probleme bringt die Unregelmässigkeit mit sich, in der Trockenphasen oder Überflutung in unserem gemässigten Klima auftreten. Noch unsicher ist, ob auch die Zunahme von Stürmen eine Anpassung des Pflanzenhabitus erfordert. Beim Hagel wurde bisher keine Notwendigkeit gesehen, die Pflanzen dagegen aufzurüsten, aber das kann in der Zukunft durchaus eine Option für die Ertragsicherheit sein. Es wäre bedauerlich, wenn Ertragszuwächse aufgrund des erhöhten CO₂-Gehaltes dadurch zunichte gemacht würden, dass

der Hagel Grünflächen und Ernteorgane zerstört. Allerdings bleibt die Tatsache bestehen, dass die Investitionen beim Anbau hauptsächlich schon zum Zeitpunkt der Saat getätigt werden und trotz aller Supercomputer Petrus nicht immer online ist.

Problemkreis 2: Ackerland ist zu knapp

Bei allen Debatten zur Ernährungssicherheit ist die Verfügbarkeit von Agrarland, im engeren Sinn von Ackerland, immer ein Thema. Bisher wurden alle negativen Szenarien über die Landverknappung durch den geradezu unglaublichen Anstieg des Ertragspotentials bei den wichtigsten Kulturpflanzen ausgeglichen. Grenzertragsböden können in einigen Kontinenten wie Afrika und Südamerika in Zukunft besser genutzt werden, allerdings sind die ökologischen Langzeitauswirkungen oft unbekannt. Andererseits sind viele Naturwissenschaftler – besonders Agronomen – der Meinung, dass die Gesamtheit aller fruchtbaren und ebenen Ackerflächen schon in Kultur genommen wurde. Der Traum, dass mit dem Klimawandel unser gemässiger Getreidegürtel sich einfach in die nördlichen Waldgebiete Eurasiens und Kanada nach Norden verschiebt, ist nicht nachhaltig, weil die fruchtbaren Lehmböden verlassen und stattdessen Sandböden von sehr zweifelhafter Ertragsicherheit umgenutzt werden müssen. Dies unterstützt meine Meinung, dass die ziemlich dramatisch formulierten Voraussagen über die künftige Landknappheit ernster genommen werden müssen als bisher, wenn wir uns weiterhin von traditionellen, im Boden wachsenden Pflanzen ernähren wollen. Nach neuesten Prognosen werden 2050 20% der Menschheit in Ländern mit knappen Ackerland-Ressourcen leben – und die Schweiz ist eines von diesen Ländern.

In diesem Zusammenhang beunruhigen die rasch fortschreitende Verschlechterung und die Vernichtung guter Böden. Ein Grund dafür könnte einmal die im grossen Rahmen betriebene landwirtschaftliche Nutzung von ehemaligen Regenwäldern sein, ein zweiter die zunehmende kleinbäuerliche Landnutzung von steilen Hängen – verursacht durch die ständig wachsende Bevölkerung – ohne einen, gerade in den vom Monsun geprägten Regionen notwendigen, wirksamen Erosionsschutz. Nicht umkehrbar und darum umso beunruhigender ist auch die Versiegelung des Bodens in Regionen mit guten Ackerböden. Leider kommt niemand, der wirtschaftlich denkt und handelt, auf die Idee, Fabriken, Werkstätten, Büros und Strassen auf steilen Flächen zu planen; gebaut wurde und wird in ebener Lage, wie z.B. dem ehemals für den Ackerbau sehr geeigneten Limmattal. Auf diese Weise wurden im Zuge

der wirtschaftlichen Entwicklung u. a. in Japan und Süd Korea ca. 50% des fruchtbaren Ackerlands versiegelt, ein Prozess, der sich in China gerade rasant wiederholt. Ob in Europa oder Asien: Städte und Verkehrswege werden auf bestem Ackerland gebaut.

Problemkreis 3: Zwei Ressourcen – Wasser und Phosphat – werden sehr knapp

Das Problem der zunehmenden Wasserknappheit steht schon seit geraumer Zeit im Mittelpunkt vieler Übersichtsartikel und Konferenzen. Darum soll hier die Feststellung genügen, dass Wasserverfügbarkeit immer häufiger den Ertrag limitiert. Nur in wenigen Regionen der Welt, meist in den kühl gemässigten Breiten oder in subtropischen/tropischen Breiten, steht meist genügend Wasser zur Verfügung. Man spekulierte viel über die grosse Bedeutung der ausgeklügelten Bewässerungssysteme für die Entwicklung von Hochkulturen im Indus und in Ägypten. Aber nicht nur in der Landwirtschaft wird Wasser benötigt. Die Wasserressourcen werden auch durch den privaten, öffentlichen und industriellen Bedarf in Anspruch genommen. Die Folge: Die Möglichkeiten zur Bewässerung werden sowohl absolut als auch relativ abnehmen.

Phosphor ist ein für das Leben absolut unentbehrliches Element. Sieht man von dem Streit um Spanisch Sahara mit seinen hohen Phosphatvorkommen ab, stand die seit langem bekannte Endlichkeit dieser Ressource nie im Fokus der Öffentlichkeit. Aber die Notwendigkeit nach Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion und der gleichzeitige grosse Mangel an Phosphor in alten tropischen Böden hat das Problem knapper Phosphatreserven in den Vordergrund geschoben. Aus heutiger Sicht ist der Bedarf an leicht und damit billig abbaubarem Phosphat nur noch für etwa 50 Jahre gedeckt. Neue Strategien werden benötigt, um Phosphor als ein für alle - inklusive der armen Länder - zugängliches Gut zur Verfügung zu halten.

Problemkreis 4: Zweckentfremdung von Böden zur Produktion von Biotreibstoff

In der sogenannten guten alten Zeit heizten unsere Vorfahren ihre Häuser mit Holz aus den umliegenden Wäldern, versammelten sich in dem einzigen heizbaren Raum ihrer Behausung um das Feuer. Was für ein Unsinn ist es zu glauben, dass wir im Angesicht der vielen Unwägbarkeiten und Probleme für die globale Ernährungssicherung wieder dahin zurückkehren und das für die Ernährung notwendige Ackerland für eine nennenswerte Produktion von Energie zweckentfremden könnten. Es ist eigentlich unfassbar, dass dieses Vorhaben vor einigen Jahren sogar von der

FAO, der UNO-Organisation für Ernährung und Landwirtschaft, propagiert wurde. Zweifellos ist es sinnvoll, Beiprodukte oder Restprodukte wie Stroh zur Energiegewinnung zu nutzen oder auch zu prüfen, wie man auf allen Ebenen (von Mikroorganismen bis zu Pflanzen) für deren bessere Energieumsetzung durch züchterische Bearbeitung sorgen kann. Aber es ist nicht zu vertreten, dass die so dringend benötigten Kapazitäten der Züchtungsfirmen dafür genutzt werden sollen, reine Energiepflanzen zu entwickeln.

Problemkreis 5: Die vegetarische Lebensweise im Osten nimmt ab

Ernährungswissenschaftler liefern uns Informationen über unsere Nahrungsbedürfnisse und die Zusammensetzung unserer alltäglichen Nahrungsmittel. Diesen Erkenntnissen nach könnten wir rein vegetarisch leben, ohne Schaden an unserer Gesundheit zu nehmen. Aber Menschen lieben Fleisch. Getreide ist perfekt auf die Bedürfnisse von Monogastriern – also von Menschen, aber auch von Hühnern und Schweinen – angepasst. Aber wie bei uns vor 200 Jahren steigen immer mehr Menschen in den bevölkerungsreichen Schwellenländern vom direkt konsumierten Getreide auf damit erzeugtes Fleisch um. Deshalb wird sich der Anteil an der Gesamtgetreidemenge, der verfüttert wird, von 20% im Jahr 2000 auf 40% im Jahr 2040 erhöhen und so zu einer zusätzlichen Nachfrage nach pflanzlichen Produkten führen. Unglücklicherweise ist damit auch eine Zunahme des Wasserverbrauchs verbunden, da die notwendige Wassermenge (in m³) für die Produktion von Nahrungsmitteln stark variiert: Für 1 Kilo Rindfleisch benötigt man 43, für 1 Kilo Hühnerfleisch 3,5 und für 1 Kilo Getreide gerade mal 0,9 (Pimentel et al., 2004).

3 PFLANZENZÜCHTUNG

Die geradezu wunderbaren Leistungen, die unsere Kulturpflanzen jedes Jahr aufs Neue vollbringen, sind für uns heute eine Selbstverständlichkeit.

Wildpflanzen müssen regelmässig vitale Samen produzieren, sonst verschwinden sie; in Wildgetreidebeständen reagieren Pflanzen daher sehr sensibel auf die wechselnde Verfügbarkeit von Ressourcen, um jedes Jahr nicht hohe, sondern sichere Zahlen von überlebensfähigen Körnern zu produzieren, mit Erträgen von ca. 1 t/ha. Seit Ende des 19. Jahrhundert haben wir agronomisch positive Gene in den Kulturpflanzen akkumuliert, damit sie Erträge von 6 bis 10 t/ha erreichen – eine Ertragshöhe, die heute unerlässlich für die Sicherstellung der Ernährung ist. Ausserdem

haben wir das Saatgut unserer Kulturpflanzen rund um den Globus verfügbar gemacht. Weil es nicht mehr unbedingt notwendig war, lebensfähiges Saatgut am gleichen Ort zu produzieren, wurde die Auswahl anbaubarer Kulturpflanzen grösser. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Kulturarten, die schon vor mindestens 2000 Jahren in Kultur genommen wurden. Sogenannte neue Kulturarten wie Zuckerrüben oder Raps sind zwar erst seit 200 bzw. 40 Jahren in der heutigen Qualitätsform im Anbau, gehen aber auf bereits lange bekannte Kulturarten zurück. Die Mehrzahl der rund 5000 Arten, die die Menschen im Laufe der Geschichte angebaut haben – ein Kulturgut der Menschheit – hat die zunehmende Globalisierung fast zum Verschwinden gebracht. Nur etwa 120 Arten haben im nationalen Massstab eine Bedeutung, 30 versorgen uns mit 90% unserer Nahrungskalorien.

Problemkreis 6: Pflanzenzüchtung muss sich wirtschaftlich auszahlen

Private Züchtungsfirmen sind die Global Player innerhalb des internationalen Saatgutgeschäfts, und ihr Geld setzen sie für die Hauptkulturarten ein. Von den weltweiten Gesamtausgaben für Saatgut gingen im Jahr 2007 67% (14,8 Milliarden \$) an die 10 grössten Saatgutfirmen: so erhielt Syngenta als drittgrösste Firma 9% (2 Milliarden \$). Keine dieser Firmen beschäftigte sich mit der Züchtung von Alternativen Kulturarten. All die Appelle aus dem Jahr 2010, dem UNO-Jahr der Biodiversität, sind obsolet. Zurzeit ist nur die Produktion von Hybridsaatgut wirklich rentabel. Der Fokus liegt auf Mais, ein nicht unbedingt notwendiges PLUS für diese Pflanze. Das hat auch zur Folge, dass die Firmen das Interesse an anderen Hauptkulturarten wie Weizen verlieren, zumal die Landwirte zunehmend ihr eigenes Saatgut dieser selbstbestäubenden Pflanze nutzen: bei den sich rasch ändernden biotischen und abiotischen Umweltverhältnissen ein gefährliches MINUS für diese Kulturart hinsichtlich ihrer künftigen Leistungsfähigkeit

Problemkreis 7: Wirtschaftliche Gründe und das Konsumverhalten führen zu einer geringeren Vielfalt auf unseren Tellern.

Dass die «Grossen Drei» Weizen, Reis und Mais uns heute mit 50% unserer direkt konsumierten Nahrungsenergie versorgen, birgt ein hohes Risiko und macht uns verletzlich. Erschwerend kommt dazu, dass die Vorratshaltung von Getreide pro Kopf in den letzten Jahren abgenommen hat (World Watch Institute, Vital Signs, 2011). Gründe für die Vorherrschaft der «Grossen Drei» sind zum einen das Ernährungsverhalten sowie der Erfolg der Grünen Revo-

lution, vermittelt durch die beiden ersten CGIAR Institute CIMMYT in Mexiko und IRRI auf den Philippinen. Dies ist keine Entschuldigung, sondern erklärt sich aus der Tatsache, dass die Konsumenten weltweit diese Kulturarten bevorzugen, wenn sie für sie erreichbar sind. Es ist allerdings auch wirklich erstaunlich, wie viele ganz unterschiedliche Lebensmittel wir alleine aus Weizen herstellen können: angefangen von Hunderten von Brotsorten und Kuchenarten bis hin zu den unterschiedlichsten Pastaformen. Dies gilt es, als grundlegenden Teil unserer Esskultur zu berücksichtigen.

Das vorhandene Züchtungspotential ist enorm, denn alle Hauptkulturarten sind an die verschiedensten Klimazonen angepasst. Aber dies bürdet uns auch eine grosse Verantwortung auf. Wir müssen dafür sorgen, dass die «Grossen Drei» – Weizen, Reis und Mais – Jahr für Jahr vital und gesund erhalten werden. Einen Unterbruch können wir uns nicht leisten. So verbreitete sich die Schwarzrost-Epidemie beim Weizen, hervorgerufen durch die UG99 Rasse des Rostpilzes, in den letzten Jahren rasant von Uganda bis Pakistan. Dies sollte uns eine Warnung sein, allerdings war es auch ermutigend, zu verfolgen wie schnell die Experten des CIMMYT reagierten.

Wie können wir mit dieser Situation umgehen? Unter den meisten Experten herrscht Einmütigkeit darüber, dass die Produktion von Getreide in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts verdoppelt werden muss, ungeachtet aller Einschränkungen. Berücksichtigt man alle im vorherigen Kapitel angesprochenen Problemkreise, so ist es notwendig, den Ertrag um 80% pro Hektar zu steigern.

Im letzten Jahrhundert wurde vor allen auf ein zentrales Merkmal selektiert: einen möglichst hohen Anteil der Kornmasse am gesamten oberirdischen Aufwuchs, der mittlerweile über 50% beträgt, zu erzielen, bezeichnet als Ernte-Index. Dies war meist verbunden mit einer Halmverkürzung. Auf diesen Veränderungen beruhte zum grossen Teil der Ertragsfortschritt durch die Grüne Revolution. Das Thema Züchtungs- und Ertragsfortschritt wurde 2010 umfassend in einem lesenswerten Review von den Experten Toni Fischer und Greg Edmeades (Fischer & Edmeades, 2010) behandelt. Eine ernüchternde Lektüre: Ihrer Ansicht nach muss der jährliche Ertragszuwachs durch Züchtung in Zukunft 2,5fach höher sein als es heute der Fall ist, wenn wir das Ziel einer Verdoppelung der Produktion bis 2050 erreichen wollen. Dafür stehen nur noch weniger als drei vollständige Züchtungszyklen zur Verfügung – von der Kreuzung bis zur fertigen Sorte. Die Autoren legen Beweise dafür vor, dass die Züchtung auf eine verbesserte

Lichtausnutzung (RUE) in der Zeit rund um die Blüte – ein neues Ziel in der Züchtung – eine Chance bietet. Denn die in letzter Zeit erreichten Fortschritte scheinen mit einer erhöhten Photosynthese-Rate rund um die Blüte einher zu gehen. Ist das nächste Zuchtziel tatsächlich die Verbesserung der Photosyntheseleistung? Der Weg wird vermutlich dornig sein, denn hohe Temperaturen und Dürre lassen die Photorespiration zunehmen, wogegen ein erhöhter CO₂-Gehalt die RUE ansteigen lässt. Bislang gibt es noch keine einfache Züchtungsmethode, um die RUE direkt zu beeinflussen (Reynolds, 2010). Kürzlich wurden verschiedene Möglichkeiten zur Steigerung der Lichtausnutzung theoretisch durchgespielt (Zhu et.al., 2010). Grundsätzliche Erwägungen führen auch diese Autoren zur Ansicht, dass eine Erhöhung des Ernte-Index in der Getreidezüchtung nicht weiter möglich ist und dass auch die Lichtabsorption an ihre Grenzen gestossen ist. Damit bleibt als dritte Komponente nur die Umwandlung der absorbierten Lichtenergie in Biomasse übrig. Durch eine fundamentale Optimierung Milliarden Jahre alter Abläufe wird eine 200%ige Erhöhung des Biomassenpotentials für möglich erachtet. Das klingt vielversprechend, aber es ist eher ein Silberstreif am Horizont als eine Lösung für das Problem, zehntausende von angepassten Getreidesorten bis 2050 zu erschaffen.

Dies führt uns zu den modernen Werkzeugen für die Pflanzenselektion. Eine etwas verklärte Sichtweise glaubt an die Fähigkeiten der Bauern, die besten (Land-) Sorten von einer Saat zur nächsten Saat zu erkennen. Dies wurde schon von Marcus Terentius Varro, 1. Jahrhundert n. chr., beschrieben «Um die besten Körner für die nächste Aussaat zu erhalten, dresche man die besten Ähren separat». Moderne Züchtung basiert hingegen auf einer Vielzahl von Strategien und Werkzeugen. Noch vor 200 Jahren war es in botanischen Kreisen verpönt, Sexualität bei Pflanzen überhaupt zu erwähnen. Heute ist es selbstverständlich, mit der Auswahl der Eltern und deren Verkreuzung zu beginnen. Dem ersten Schritt, der gezielten Erschaffung genetischer Variabilität, folgen dann die vielen weiteren Massnahmen, den richtigen Genotyp zu erkennen. Zur Bearbeitung von zehntausenden Parzellen müssen Spezialmaschinen eingesetzt werden und es bedarf komplexer Statistikprogramme, damit der Genotyp der Wahl innerhalb der Phänotypen erkannt werden kann und vieles mehr. Ohne perfekte Handhabung aller dieser Werkzeuge kann keine Züchtungsfirma von Rang mehr bestehen.

Wir wissen heute um die Bedeutung der genetischen Ressourcen, nachdem zunächst durch die rasche und bereit-

willige Umstellung auf neue Sorten viele verloren gegangen sind (Abb. 1).

Inzwischen gibt es weltweit grosse Genbanken, in denen diese für kommende Generationen aufbewahrt und erhalten werden. Dies gilt insbesondere für die Hauptkulturarten. Doch diese Ressourcen wurden bisher selten in grösserem Massstab für die Züchtung genutzt. Denn die Züchter haben mit der Einkreuzung von Landsorten in agronomisch hoch optimiertes Zuchtmaterial zu viele negative Erfahrungen gemacht. Heute aber gibt es durch die Anwendung moderner molekularbiologischer Verfahren Wege zur gezielteren Nutzung genetischer Ressourcen, die zum Umdenken veranlassen werden. Die Potentiale molekularbiologischer Methoden konnten in den vergangenen Jahrzehnten nur allmählich im Züchtungsalltag eingesetzt werden. Jedoch hat es in den letzten Jahren gewaltige Fortschritte in der Methodik gegeben, die dem gezielten und zugleich billigen Einsatz zum Durchbruch verhelfen könnten. Unglücklicherweise konzentrieren sich die Länder des Westens, inkl. ihrer Politiker, ausschliesslich auf die Gentechnik, wodurch der Blick auf die grossen Möglichkeiten anderer molekularbiologischer Methoden verstellt wird.

Hier ist nicht der Platz dieses Thema zu vertiefen, zu viel wurde darüber geschrieben und endlos diskutiert. Ein Zitat von Max Planck verdeutlicht die momentan festgefahrene Situation in Europa: «Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflügt sich nicht in der Weise durchzusetzen, dass ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, dass ihre Gegner allmählich aussterben und dass die heranwachsende Gene-



Abb. 1. Ehemaliger Sortengarten in Eschikon/Lindau 2007. Heute als «Virtueller Sortengarten» nur einen Mausclick entfernt: www.sortengarten.ethz.ch.

ration von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist» (Planck, 1948). Unsere aktuellen Sorten werden auch weiterhin durch die Selektion der besten Genotypen einer gezielten Kreuzungsnachkommenschaft entstehen. Unseriöse Mitteilungen haben in den Köpfen einiger Leute eine Art Homunculus-Glauben entstehen lassen: Völlig neue Sorten oder gar Arten im Baukastenprinzip werden noch lange Illusion bleiben. Wenn aber eine erwünschte und/oder erforderliche Qualitätseigenschaft oder Resistenz in einer Kulturart fehlt, muss es gesellschaftlich möglich und akzeptabel sein, sie auf dem Wege der Gentechnik in diese Kulturart einzuführen. Beeinflusst von Anbauverböten in der EU in den letzten Jahren, zögerten und zögern einige Entwicklungsländer, die vom Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen hätten profitieren können, solche Pflanzen anzubauen. Inzwischen haben das CIMMYT und die anderen CGIAR-Institute ihre Haltung geändert und schlagen diesen Ländern vor, alle vorhandenen Möglichkeiten zu nutzen, um die globale und nationale Ernährungssicherheit zu gewährleisten. So war der «Goldene Reis» der ETH Zürich ein Glücksfall, denn er bot die Möglichkeit, das Defizit an Vitamin A in Entwicklungsländern zu verringern. Die Marker-unterstützte Selektion (MAS) ist auf dem Weg, eine Standardmethode in der Pflanzenzüchtung zu werden. Sie ermöglicht es, in kürzerer Zeit die beste Allelkombination für polygen vererbte Merkmale zu ermitteln und damit ein gestecktes Ziel viel früher zu erreichen. Physiologische und biochemische Vorgänge können heute auf der Ebene der Gene verstanden werden – eine Tatsache, von der wir Kulturpflanzenwissenschaftler mit unserer mehr deskriptiven Arbeitsweise vor Jahrzehnten nur hatten träumen können. Wohin auch immer die Entwicklung geht, die MAS kann und wird die Testung auf dem Feld in verschiedenen Umwelten nicht völlig ersetzen können. Doch durch diese neue Methode kann die Entwicklung von Sorten, die hunderte von günstigen Merkmalen in sich vereinigen, eventuell bald schneller und rationeller erreicht werden.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Es gibt eine Reihe vielversprechender Ansätze zur Sicherung der Ernährung. Hierzu zählen auch hier nicht abgehandelte sozioökonomische Ansätze und Massnahmen zur Verringerung der Verluste nach der Ernte (World Watch Institute, 2011). Es wurde auch viel getan, um eine nachhaltige Langzeit-Lagerung von genetischen Ressourcen international und national zu ermöglichen (Svalbard

Global Seed Vault (SGSV), die Genbank von Agroscope ACW, Changins und die Genbank am Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, Gatersleben Deutschland)

Es gibt (zu) viele Probleme bei der nötigen Verdoppelung der Primärproduktion von Nahrungsmitteln bis 2050, als dass wir es uns leisten könnten, auch nur einen Moment zu verlieren, um alle privaten und öffentlichen Kräfte bei der Förderung und Beschleunigung der Pflanzenzüchtung zu bündeln. Einige Irrwege – so meine Auffassung – werden hoffentlich bald verlassen werden. Ich denke da vor allem an die Nutzung von gutem Ackerland zur Energieerzeugung. Ein weiterer Verlust von Ackerland durch Versiegelung scheint dagegen nur schwer aufzuhalten zu sein.

Möglichkeiten der Molekularbiologie wie die Marker gestützte Selektion (MAS) machen die Pflanzenzüchtung in einem bisher unbekanntem Ausmass zielgerichteter und präziser, und die Gentechnologie bietet eventuell Lösungen auf der Suche nach Methoden, neue Qualitäts- und Resistenzmerkmale beschleunigt zu erreichen.

Zur Verbesserung der selbstbestäubenden Kulturarten wie Weizen und Reis, bei denen der erzielte Ertragsfortschritt hinter den vorgegebenen Zielen herhinkt, müssen grosse Anstrengungen unternommen werden. Unglücklicherweise hat die Züchtung dieser Arten bei den grossen Züchtungsfirmen an Priorität verloren, denn die Lizenz-einnahmen sind zu gering, wenn die Landwirte ihr eigenes Saatgut für den Nachbau verwenden.

Der erwartete Klimawandel wird die Bedeutung der abiotischen Toleranz verstärken. Allerdings kann keine Züchtung erreichen, dass die Pflanzen gegen Extremereignisse von Überflutung und Dürre, Sturm und Hagel, aussergewöhnlicher Hitze und Kälte gewappnet sind.

Zurzeit haben wir zwar Ölreserven, aber keine Getreidereserven. Das muss sich ändern. Wir sollten von den alten Hochkulturen lernen. Weil Ferntransporte selten möglich waren, entwickelten sie ausgeklügelte Systeme zur Vorrats-haltung und vermieden so Engpässe in schlechten Zeiten.

Auch wir sollten alternative Wege zur globalen Ernährungssicherheit jenseits des traditionellen Ackerbaus erkunden. Zehntausend Jahre haben die Bauern ca. 1 Tonne Korn pro Hektar geerntet. Innerhalb von weniger als drei Generationen haben wir den Ertrag auf 5 bis 10 Tonnen gesteigert und erwarten noch höhere Erträge. Aber wir können nicht sicher sein, dass wir diese intensive, ressourcenverbrauchende Art der Produktion auf dem Acker für die nächsten 1000 Jahre und länger beibehalten können.

Vielleicht unterschätzen wir die Intelligenz kommender Generationen. Hoffentlich werden bestens ausgebildete Fachleute die zu erwartenden Probleme mit ganz neuen Ansätzen lösen helfen.

5 ANMERKUNG

Dieses Manuskript ist eine erweiterte Fassung der Abschiedsvorlesung von Prof. Peter Stamp: Das 21. Jahrhundert – das Jahrhundert der Pflanzenzüchtung, gehalten am 23.03.2011 an der ETH Zürich (<http://www.multimedia.ethz.ch/speakers/lecture/?doi=10.3930/ETHZ/AV-144eb7bd-c970-454e-b100-ba8ccd48b382&autostart=false>)

6 VERDANKUNGEN

Dieser Beitrag wäre nicht möglich gewesen ohne die grosse fachliche Unterstützung durch Dr. Susanne Stamp; Barbara Starck bin ich sehr dankbar, dass sie den Text in eine verständliche deutsche Sprache umgesetzt hat.

7 LITERATUR

FAO 2009. How to feed the world in 2050 (http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)

FISCHER R.A., EDMEADES G.O. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Sci.* 50:85-98

PIMENTEL D., BERGER B., FILIBERTO D., NEWTON, M., WOLFE, B., KARABINAKIS, E., CLARK, S. POON, E., ABBETT, E. & NANDAGOPAL, S. 2004. Water Resources, Agriculture and the Environment. College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, USA (http://ecommons.cornell.edu/bitstream/1813/352/1/pimentel_report_04-1.pdf)

PLANCK, M., 1948. Wissenschaftliche Selbstbiographie. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, S.22

REYNOLDS, M.P. (ed.), 2010. Climate change and crop production, CABI Climate Change Series vol.1, Wallingford, UK

WORLD BANK 2009. WORLD DEVELOPMENT REPORT 2010. Development and Climate Change, ISBN: 978-0-8213-7987-5

WORLD BANK 2011. Press Release No:2012/PREM/048, World Bank 2011

WORLD WATCH INSTITUTE, 2011. STATE OF THE WORLD 2011: Innovations that Nourish the Planet, Washington DC, USA

WORLD WATCH INSTITUTE, 2011. Vital Signs, pp 56-58, Washington DC, USA

ZHU X.G., LONG S. P. & ORT D. R., 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater Yield. *Ann.Rev.Plant Physiol.Plant Mol.Biol.* 61:235-61

Prof. Dr. emer. Peter Stamp, Institute of Agricultural Science, ETH Zürich, Universitätsstrasse 2, 8092 Zürich