

Sicherung der Welternährung: 2025*

Dr. Manfred Kern
Bayer CropScience AG
Alfred Nobel Straße 50
D-40789 Monheim
manfred.kern@bayercropscience.com

Landwirtschaft war und ist einer der Wege, über den der Mensch seine Lebensgrundlage auf der Erde erhöht hat. Technologien waren dabei immer integrale Bestandteile der Landwirtschaft. Neue Technologien bzw. Entwicklungen haben diese immer wieder entscheidend geprägt. Hierauf wird unsere Landwirtschaft auch in Zukunft basieren. Seit über 10.000 Jahren haben Einfallsreichtum und Einsatz von Agrotechnologien, angefangen bei Holzpflug, Wasserschöpftrad, Drillmaschinen, verbessertem Saatgut, neuen Kulturpflanzen, Pferdeanspannung, Fäkalien-düngung, über chemische Düngemittel, Hybridsaatgut Pflanzenschutzmittel, Traktoren, Vollerntemaschinen bis hin zu gentechnisch veränderten Pflanzen, Satelliten gesteuerter Bodenbearbeitung und Ernte dazu beigetragen, daß wir heute Lebensmittel für mehr als 6 Milliarden Menschen zur Verfügung haben.

1. Bedarf und Produktion von Grundnahrungsmitteln: 2025

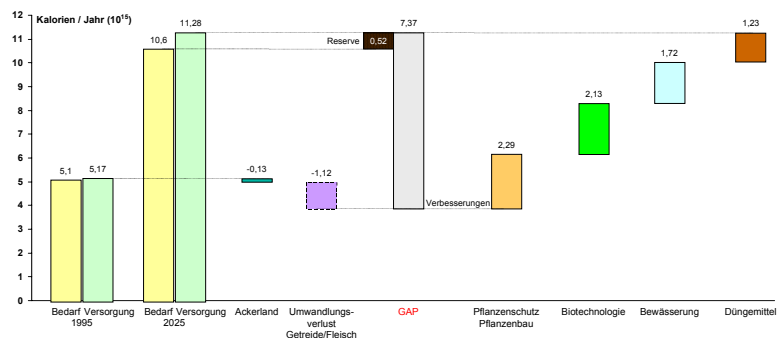
Seit Beginn der Menschheit dürften etwa 106 Milliarden Menschen den Globus bevölkert haben. Um 1850 umfaßte die Weltbevölkerung etwa 1 Milliarde Menschen, 1975 waren es bereits 3 Milliarden Menschen

und am 12. Oktober 1999 waren es 6 Milliarden Menschen. Schätzungen der Bevölkerungsentwicklung zeigen, daß im Jahre 2025 etwa 8 Milliarden Menschen auf der Erde leben werden. Dennoch, die zahlenmäßige Zunahme ist nicht das Hauptproblem zukünftiger Lebensmittelversorgung und zukünftiger Ernährungssicherung. Einen viel größeren Einfluß wird das rapide ökonomische Wachstum in den verschiedenen Regionen der Erde haben. Bis zum Jahre 2050 wird sich die Weltwirtschaft im Vergleich zu heute, um den Faktor 5 erhöhen. Diese schnelle ökonomische Entwicklung verändert rapide auch die Eßgewohnheiten und erhöht signifikant den Konsum von Lebensmitteln – zuerst regional und schließlich auch global. Wenn man sich die Zunahme des Kalorienverbrauchs betrachtet, so gibt es regional signifikante Unterschiede. In der westlichen Welt werden heute ca. 3.400 Kilokalorien pro Kopf und Tag verbraucht. Die Zunahme innerhalb der nächsten 30 Jahre auf 3.470 Kilokalorien ist kaum erwähnenswert. Im gleichen Zeitraum aber wird weltweit die durchschnittliche Kalorienverbrauchsrate von 2.700 auf 3.000 steigen. Hier liegt eine der

großen Herausforderungen. In Asien wird beispielsweise und ganz besonders in China der Kalorienverbrauch von 2.400 Kilokalorien pro Kopf und Tag auf 2.880 im Jahr 2025 ansteigen. Dies bedeutet, daß sich ca. 50% der Weltbevölkerung von dieser niedrigen Kalorienaufnahme zu einer hochwertigen, wenn auch noch nicht auf unserem Niveau liegenden Kalorienaufnahme hin bewegen. Betrachtet man den Lebensmittelbedarf und die Lebensmittelproduktion global, so läßt sich heute eine leichte 'Übersorgung' feststellen. Das Wort 'Überfluß' suggeriert, es gäbe alles im Überfluß. Doch dem ist nicht so: Unseren Energiebedarf können wir gerade decken. 1995 lag der weltweite Bedarf an Kalorien bei $5,1 \times 10^{15}$ Kilokalorien und die Produktion bei $5,17 \times 10^{15}$ Kilokalorien pro Kopf im Jahr. Dies bedeutet, daß 1995 weltweit nur 0,26% mehr Lebensmittel produziert als gebraucht wurden. Unabhängig davon steht die Tatsache, daß man damit noch lange nicht den Hunger in der Welt besiegt hat.

Global geschätzter Nahrungsmittelbedarf im Jahr 2025

Im Jahr 2025 wird die Welt in der Lage sein, mehr als 8 Milliarden Menschen zu ernähren. Die geschätzte Mehrproduktion wird eine kleine Reserve geben, um einen zusätzlichen Fleischverbrauch in Asien zu sichern und für nachwachsende Rohstoffe in den entwickelten Ländern zur Verfügung stehen. Die Biotechnologie wird eine entscheidende Rolle für den Erhalt der globalen Selbstversorgung sowie der Umwelt einnehmen.



Quelle: Kern, M., 1996

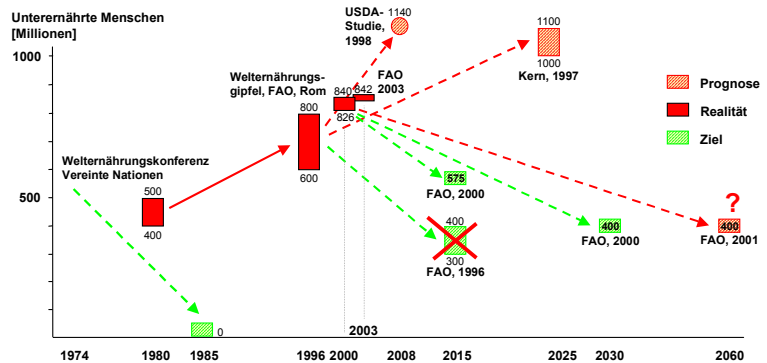
1996 fand der Welternährungsgipfel in Rom statt. Zu diesem Zeitpunkt gab es ca. 800 Millionen Hungernde auf dieser Welt. Selbstbewußt verkündete man, daß man die Anzahl der Hungernden bis zum Jahr 2015 halbieren wolle (300 bis 400 Millionen). Nur 4 Jahre danach, Ende 2000, hat man dieses 'unrealistische Ziel' aufgegeben, hoffte man auf nur 575 Millionen Hungernde im Jahre 2015 und 300 bis 400 Millionen Hungernde im Jahre 2030. Im Jahr 2003 stieg die Zahl der Hungernden auf 842 Millionen Menschen. Das 1996 gesteckte Ziele, bis 2015 die Halbierung des Hungers in der Welt, wurde von der FAO auf 2060 verschoben. Immer wieder werden im Zusammenhang mit dem Hunger in der Welt irreführende Zahlen publiziert – Entscheidungsträger und letztlich die Bevölkerung erhalten falsche Botschaften.

Die Zielvorgaben sind zwar verlockend, aber wenn sie zu einer falschen strategischen Beurteilung der Lage führen, kommt es zu falschen Entscheidungen. Eine USDA-Studie (1998) weist bis zum Jahre 2008 schon 1,14 Milliarden Hungernde aus. Fehlt der politische Wille, so wird im Jahre 2025 bestenfalls die Anzahl der Hungernden bei einer Milliarde Menschen liegen. Der Hunger in der Welt ist zwar auch, aber nicht ausschließlich, ein Verteilungsproblem. Die Sicherung der Welternährung wird künftig ohne die effiziente Nutzung vorhandener und die konsequente und zeitgerechte Verwirklichung neuer Agrotechnologien langfristig nicht möglich sein. Priorität müssen technologische Entwicklungen haben, mit deren Hilfe zukünftig, die global notwendige Produktion von kalorienhaltigen und gesunden Nahrungsmitteln sichergestellt werden kann. Es gilt weiterhin festzuhalten, daß sich weltweit in den nächsten 30 Jahren der Bedarf an Lebensmitteln verdoppeln wird und daß mehr als eine Verdopplung in der landwirtschaftlichen Produktion bzw. Versorgung not-

wendig ist. Im gleichen Zeitraum muß man die Problematik von abnehmenden Ackerlandflächen, zunehmender Wasserknappheit und das Übergleiten von ehemals pflanzlicher zu mehr fleischlicher Ernährung berücksichtigen.

Gunstgebieten als auch auf imaginären Standorten. In Anbetracht der Aufgaben, die eine nachhaltige Landwirtschaft an uns stellt, wird die Gentechnik kombiniert mit verbesserten konventionellen Produktionstechnologien einen

Weltweite Unterernährung: Ziele, Prognosen und Realität



Quelle: Böckle et al. (1983), Weltbank (1993), FAO (1996), USDA (1998), Kern (1997/99), FAO Report: Towards 2015-2030 (2000), FAO: Committee on the World Food Security (2000), <http://www.fao.org/sof/sofi/>, 2001, 2003

In den nächsten 30 Jahren werden wir weltweit mehr Nahrungsmittel zu produzieren haben als in den gesamten letzten 10.000 Jahren zusammen. Der Schwerpunkt wird dabei auf einer nachhaltigen und umweltgerechten Produktion liegen. »Den Bedürfnissen der Gegenwart zu entsprechen und dabei nicht die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu beeinträchtigen« ist die Zielsetzung nachhaltiger Entwicklung, wie sie im Brundtland-Kommissions-Bericht von 1987 als auch in der Agenda 21, dem Aktionsprogramm für nachhaltige Entwicklung, in Rio de Janeiro 1992 sowie in Johannesburg 2002, in den Millennium-Zielen aufgezeigt wurde. In den Entwicklungsländern wie auch in den entwickelten Ländern bedeutet Nahrungsmittelsicherung, das heißt die Verfügbarkeit von Lebensmitteln für alle Menschen zu jedem Zeitpunkt, die Grundlage für ein aktives und gesundes Leben. Um den steten Zugang zu Nahrungsmitteln in den Entwicklungsländern zu gewähren, bedarf es einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Entwicklung sowohl in

wichtigen Beitrag leisten, die Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffe auf den bereits landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen zu sichern und zu erhöhen. Dabei gilt es, die Ressourcen sinnvoller zu nutzen. Nachhaltige Entwicklung bedeutet ständige Innovationen, Verbesserungen und Einsatz umweltfreundlicher Technologien mit dem Ziel, Umweltprobleme und Ressourcenverbrauch drastisch zu senken. Eine Verbesserung von nachhaltiger Landwirtschaft bedeutet letztlich die Reorganisation von Ressourcen (erreiche mehr mit weniger).

2. Folgen von Urbanisierung und Überalterung der Bevölkerung

Landwirtschaft war einstmals das Gebiet, auf dem die Mehrheit der Menschen beschäftigt waren und lebten. Gegenwärtig sind jedoch 55% der Weltbevölkerung nicht in die Agrarwirtschaft involviert. Innerhalb der nächsten 6 Jahre wird mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung, etwa 3,3 Milliarden Menschen in Städten leben.

Bis 2025 wird dies für fast zwei Drittel der Weltbevölkerung gelten. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine Stadt in den armen Ländern, in der öffentliche Investitionen für neue Unterkünfte, effiziente Abfallbeseitigungssysteme, neue Straßen, Verkehrswege oder andere infrastrukturelle Elemente ausreichend sind, um dem stetigen städtischen Wachstum der letzten drei Jahrzehnte zu begegnen; eine Aussicht auf Besserung für die nahe Zukunft ist nicht abzusehen. Etwa eine Milliarde Menschen lebt zusammengedrängt in Slums, mindestens 220 Millionen Städter haben nur unzureichenden Zugriff zu sauberem Trinkwasser, mehr als 420 Millionen haben noch nicht einmal Zugang zu einfachsten Toiletten oder hygienischen Minimalstandards für ein menschenwürdiges Dasein. Dies hat beträchtliche Konsequenzen für die Lebensqualität und Gesundheit der Städter bzw. Slumbewohner. Dies trifft auch auf den Bereich Nahrungsmittelsicherheit zu: die städtische Bevölkerung ist nicht in der Lage, sich durch Selbstversorgung zu ernähren. Darüber hinaus unterscheiden sich ihre Ernährungsgewohnheiten signifikant von denen einer ländlichen Bevölkerung. Die Menge an hochwertigem, transportierbarem und lagerfähigem Getreide wie Reis und Weizen, tierischem Eiweiß sowie Gemüse dominiert in dieser Art von Ernährung, der Anteil an traditionellen Lebensmitteln nimmt zunehmend ab.

Viele Städter sind mit landwirtschaftlichen Produktionssystemen nicht vertraut, weder hier bei uns noch in den Entwicklungsländern. Ihre Erfahrungen sind meist nur noch lückenhaft bzw. von virtueller Natur. Unabhängig davon erwarten sie ein uner-schöpfliches Angebot und eine freie Auswahl von günstigen, gesunden und vielseitigen Lebensmitteln zu jedem Zeitpunkt rund um die Uhr. Dies ist

noch nicht einmal annäherungsweise in den Entwicklungsländern bzw. in den am wenigsten entwickelten Ländern der Fall.

Generell läßt sich sagen »Die Reichen werden reicher, die Armen haben Kinder, und die Alten werden älter«. Heute leben in Deutschland z.B. etwa 82 Millionen Menschen, im Jahr 2050 werden es nur noch 70 Millionen sein. Heute kommen auf 100 Erwerbstätige etwa 40 Menschen, die älter als 60 Jahre sind.

Dieses Verhältnis wird sich nach Aussagen des *Statistischen Bundesamtes* in 50 Jahren auf 100 zu 80 verdoppeln. In Deutschland gibt es heute etwa 7.000 Hundertjährige, im Jahre 2025 sollen dies bereits 100.000 Hundertjährige sein. Weltweit kommt es im Zuge von demographischen Veränderungen zu überalterten Populationen. Dies gilt vorrangig für hoch industrialisierte Länder, wird zukünftig aber auch für Entwicklungsländer gelten, zumal sich global in den nächsten 50 Jahren das durchschnittliche Lebensalter von heute ca. 26 auf über 44 Jahre erhöhen wird. Weltweit ist die Lebenserwartung innerhalb der letzten 50 Jahre mehr gestiegen als in den gesamten vergangenen 5.000 Jahren zusammen.

Mehrere Faktoren wie eine alternde Bevölkerung, stetig steigende Gesundheitspflegekosten sowie die zunehmende Verbrauchernachfrage nach gesünderen Nahrungsmitteln, sind Katalysatoren für die Entwicklung und Integration von 'Functional Foods'.

Das Interesse an solchen Produkten wächst mit rasanter Geschwindigkeit. Der 'moderne Verbraucher' verlangt nach Lebensmitteln, die nicht nur dem reinen Überleben dienen. Die traditionelle Rolle eines Lebensmittels verändert sich von der 'Notwendigkeit zum Überleben und Genußmittel' hin zum Nahrungsmittel als Medizin.

Antioxidantien, wie Carotinoide, Vitamin E und C, Flavonoide und Glutathione, welche eine wichtige Rolle für die körpereigene Abwehr gegen beispielsweise die kardiovaskuläre Krankheit, Krebs, Arthritis sowie Augenleiden spielen, werden künftig ein bedeutendes Arbeitsgebiet für die 'Functional-Food'-Industrie darstellen. Zurzeit besitzen solche Nahrungsmittel unterschiedlichste Bezeichnungen: Nutraceuticals, Funktionale Nahrungsmittel, Ernährungsergänzungsmittel, medizinische Lebensmittel, Aufbaustoffe, Gesundheitslebensmittel, pharmakologische Nahrungsmittel, Pflanzeninhaltsstoffe, bioaktive Nahrungsmittel, Bio-Pharmaceuticals.

Unter den Schlagworten 'Gene-Farming', 'Molecular Farming', 'Bio-Pharming' oder 'Molecular Pharming' verbirgt sich die Produktion von xenogenen Substanzen in transgenen Pflanzenproduktionssystemen.

Dabei wird mit 'Farming' in der Regel ein pflanzliches Produktionssystem beschrieben, mit 'Pharming' die Produktion von pharmazeutisch wirksamen Produkten wie Antigenen, Vakzinen, Peptide oder Sekundärmetaboliten mit medizinischer Wirkung. Da auch das Einkommen verschiedener städtischer Bevölkerungsgruppen steigt, erhöht sich zudem die Nachfrage nach fleischlichen Produkten. Dies wiederum erhöht die Nachfrage und Produktion von Futtermitteln und benötigt zusätzlich eine größere landwirtschaftliche Nutzfläche.

Menschen, die in Städten leben, sind zu 90% von einer permanenten Nahrungsmittelversorgung abhängig. So bedarf es für jede Person, die vom Land in die Stadt abwandert, notwendigerweise einer zusätzlichen Marktversorgung um den Faktor 2. Die derzeitig etwa 400 Millionen Subsistenz-Landwirte sind schon heute nicht in der Lage, 1,5 Milliarden Städter zu ernähren; die voraussichtlich 800 Millionen

Subsistenz-Landwirte im Jahre 2025 werden auch nicht in der Lage sein, die fast 4 Milliarden Städter zu versorgen. Dies bedeutet, daß die künftige Nahrungsmittelproduktion durch eine duale Landwirtschaft getragen sein muß. Die Subsistenz-Landwirtschaft wird auch weiterhin die Lebensgrundlage für Menschen sein, die in benachteiligten bzw. wenig entwickelten Gebieten leben. Eine moderne Agrarwirtschaft mit entsprechend hoher Produktivität und Produktion wird letztlich die Stadtbewohner versorgen müssen. Die Verbesserung des Lebensstandards im ländlichen Raum wird der Landflucht bzw. Emigration entgegenwirken und so den sozialen und ökonomischen Druck auf die städtischen Gebiete reduzieren.

3. Schlüsseltechnologien einer Hohertragslandwirtschaft in modernen Industriestaaten

Technologische Entwicklungen sind zentrale Katalysatoren für die Gestaltung der Landwirtschaft. Folgerichtig ergibt sich die Frage: *Welches sind die Schlüsseltechnologien, die eine Hohertragslandwirtschaft nachhaltig und entscheidend vorantreiben?* Solche werden sicherlich sein:

Präzisionslandwirtschaft, Saatgutentwicklung unter Einbindung der Biotechnologie (Gentechnik und funktionale Genom-Abschnitte) sowie chemische Pflanzenschutzmittel.

3.1. Präzisionslandwirtschaft

Unter Präzisionslandwirtschaft versteht man eine Strategie, bei der der Einsatz von Produktionsmitteln gezielt durch präzise und standortspezifische Informationen bestimmt wird.

Präzisionslandwirtschaft ermöglicht langfristig eine Produktivitätssteigerung bei gleichzeitiger Verringerung des Aufwands, d.h.

sie ermöglicht eine nachhaltigere Landwirtschaft. Dies bedeutet, sowohl den präzisen Einsatz von Herbiziden, Insektiziden, Fungiziden und Düngemitteln als auch das genaue Ausbringen des Saatguts, Präzisionslandwirtschaft ist in einigen landwirtschaftlichen Kreisen derzeit zum Schlagwort geworden. Sie berücksichtigt u.a. eine umsichtige Bodenbearbeitung und ein präzises Pflanzenschutz-Management, welches den unterschiedlichen Standorten entsprechend angepaßt ist. Sie basiert im Wesentlichen auf dem Einsatz von 'geographischen Informationssystemen' (GIS), 'globalen Positionierungssystemen' (GPS) sowie auf dem 'Nah-Infrarot-Vegetations-Index (NVI) - System'. Landwirte haben bereits Zugang zu Systemen, die Daten über Satelliten verwalten, lokale Informationen übertragen und Daten unterschiedlichster Herkunft bereitstellen können. Der Landwirt kann entweder selbst diese satellitengestützten Informationen abrufen oder aber Unternehmen beauftragen, die diese Aufgabe gegen Gebühr übernehmen. GPS z.B. greift auf ein Satellitensystem zurück, das in naher Zukunft eine Auflösung im Bereich von Quadratzentimetern haben wird und somit sehr präzise standortspezifische Informationen liefern wird. Ein solches System ermöglicht es:

- lokale Bodenproben und die entsprechenden Bodenanalysen im Rahmen einer präzisen Kartierung abzubilden,
- die Menge an Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln standortangepaßt zu berechnen und zu minimieren,
- eine Anpassung von entsprechenden Kulturmaßnahmen auf unterschiedlich beschaffenen Ackerböden vorzunehmen, und
- Erntedaten über die gesamte Anbaufläche hinweg zu registrieren und auszuwerten.

Der zusätzliche Wert, den der Landwirt durch Präzisionslandwirtschaft erzielen kann, liegt in einer effizienten Schädlingsbekämpfung, einer fristgerechten Bodenbestellung sowie in der Kenntnis über entsprechende Erntemengen. Alle diese Vorteile zusammen ermöglichen es dem Landwirt, seine gesamte Pflanzenproduktion kosteneffizienter zu gestalten. Der breite Einsatz von satellitengestützter Aussaat, Düngung und Ernte (2010) sowie die durch Roboter kontrollierte Kultivierung, Ernte, Sortierung und Nach-Erntemaßnahmen (2014-2018) ist gemäß der Delphi-Studie des *Fraunhofer Instituts* schon bald Realität. Diese digitale Technologie wird schon bald völlig neue ökonomische Perspektiven im ländlichen Raum eröffnen.

3.2. Biotechnologie (Grüne Gentechnik) in der Praxis

Im Jahr 2003 waren weltweit mehr als 90 transgene Pflanzen registriert. Bis heute wurden weltweit mehr als 35.000 Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen durchgeführt. Mehr als 1.000 verschiedene Pflanzen, die gentechnisch verändert wurden, wachsen in vielen Ländern entweder in Laboratorien und Gewächshäusern oder werden bereits im Freiland getestet. 14 neue gentechnisch verbesserte Sorten wurden Anfang 2004 in den USA zugelassen.

Die *erste Welle* von gentechnisch veränderten Pflanzen steht seit einigen Jahren im Feld. Sie bieten den Bauern eine Vielzahl von ökonomischen Vorteilen, die ihm unter anderem den Anbau von Pflanzen erleichtern und auch profitabler machen. Hinzu kommt, daß die gentechnisch veränderten Pflanzen einen Beitrag zur nachhaltigen Landwirtschaft leisten. Die Bauern verwenden weniger Pflanzenschutzmittel, erhalten die Bodenkrume, sparen Wasser

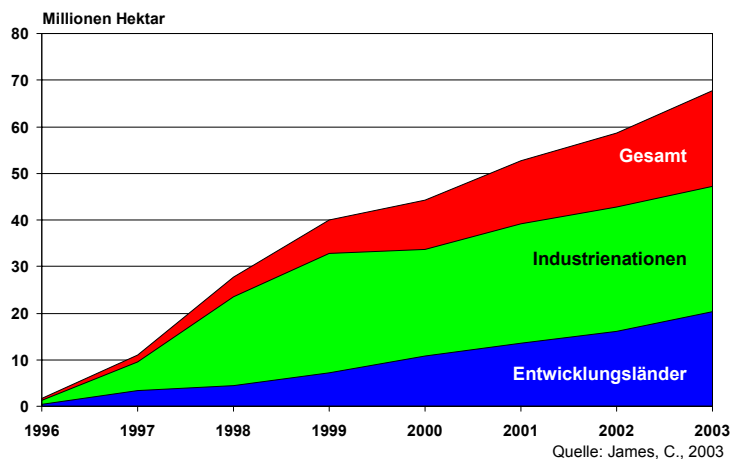
und reduzieren den Einsatz von Kraftstoff. Des Weiteren trägt die grüne Gentechnik entscheidend zu einer *Integrierten Pflanzenproduktion* bei und fördert damit die Dematerialisierung der Landwirtschaft, eine Präzisionslandwirtschaft und somit eine nachhaltige Landwirtschaft. Die notwendige Dematerialisierung basiert auf dem besseren Verstehen von landwirtschaftlichen Systemen und ermöglicht eine optimale Nutzung von knappen und teuren Betriebsmitteln, sie führt zu größerer Effizienz und minimiert die Menge an Abfallprodukten. Es ist ganz offenkundig, daß die Bauern und viele Experten in vielen Teilen der Erde von den Möglichkeiten der grünen Gentechnik überzeugt sind, andernfalls wäre die Implementierung wesentlich langsamer verlaufen. Allein in Nordamerika (1996-2003) wurden auf mehr als 60% der gesamten Anbaufläche gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut. Im Jahre 2003 betrug die gesamte Anbaufläche von gentechnisch veränderten Pflanzen bereits 67,7 Millionen Hektar.

Im Zeitraum von 1995 – 2003 wurden auf über 300 Mio. Hektar Ackerland gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut – das entspricht etwa dem 18-fachen der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Deutschland.

Das weltweite Marktvolumen von transgenem Saatgut lag im Jahr 2003 bei etwa 4,5 Milliarden US \$ und wird Schätzungen zufolge bis 2005 bis auf über 5 Milliarden US \$ ansteigen. In Nord- und Südamerika, Australien, Indien, Südafrika und China ist der kommerzielle Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen schon voll im Gange. In Europa verzögert sich der gesamte Prozeß durch unschlüssige politische Beratungen.

Die *zweite Welle* von gentechnisch veränderten Pflanzen wird die Felder etwa zwischen 2002-2005 erreichen; die qualitativen (Output) Merkmale werden bis dahin zum

Weltweite Anbaufläche mit transgenen Pflanzen, 1996 - 2003



Tragen kommen. Diese Merkmale werden die Natur der Pflanzen ändern. 'Hauptkulturen' (Weizen, Mais, Raps, Sojabohne, Reis) werden sowohl eine bessere Qualität als auch einen höheren Marktwert haben. Es ist nur noch eine Frage der Zeit, bis diese neuen Pflanzen und Produkte an den Markt gelangen.

Die *dritte Stufe*, d.h. gentechnische Produktion von durch Pflanzen produzierten Nahrungsmitteln, Probiotika oder sogar Medikamenten sind nach dem Jahr 2005 zu erwarten. Um das Jahr 2010 wird es gentechnisch veränderte Pflanzen geben, die Spezialchemikalien produzieren, beispielsweise Kartoffeln, die dann zur Papierherstellung, Biokleber- oder Waschmittelproduktion eingesetzt werden.

3.3 Biotechnologie (Genomforschung) in der Forschung

Unter Genomforschung versteht man die Kartierung und Sequenzierung von Genen (strukturelle Genomforschung) sowie die Aufklärung der dazugehörigen Funktion (funktionale Genomforschung). Die Genomforschung und ganz speziell die funktionale Genomforschung wird zukünftig ein Schlüsselgebiet innerhalb der vielversprechenden grünen Gentechnik sein. Durch diese neue

Technik wird es in der Saatgutentwicklung möglich sein, präziser, leichter und schneller entsprechende qualitative Veränderungen in den Pflanzen weltweit zu erzielen und damit den Lebensstandard für Millionen von Menschen zu verbessern. Die Vielzahl an Möglichkeiten ist beeindruckend: 1.000 Gramm DNS, gelöst in einem Kubikmeter, würde eine größere Speicherkapazität haben als alle Computer, die jemals gebaut wurden oder aber eine 100-Milliarden-fach größere Speicherkapazität besitzen als das menschliche Gehirn. 30 Gramm DNS arbeiten hundert mal schneller als der schnellste Computer unserer Zeit. Der genetische Code ist ein gigantisches biologisches Manuskript, das wir gerade erst zu entschlüsseln begonnen haben. Eine der Hauptziele ist es, die Genfunktion *in silico*, *in vitro* und *in vivo* zu bestimmen. Was wird innerhalb der nächsten Jahre erreicht werden?

- Genkarten zur Identifikation und Lokalisierung von bestimmten Merkmalen auf den Chromosomen.
- Zytologische Karten, um Chromosomen und merkmalszugehörige Abschnitte sichtbar zu machen sowie Gene auf der DNS zu lokalisieren.

- Physikalische Karten, die gesamte Nukleotidsequenz wiedergeben.

Die Genforschung wird es ermöglichen, neue Wirkorte für Insektizide, Herbizide, Fungizide und Nematizide zu identifizieren sowie die spezifische Wirkungsweise von neuen Wirkstoffen zu bestimmen. Dies wird deshalb besonders wichtig sein, da Pflanzenschutzmittel entscheidend dazu beitragen werden, die notwendige Produktion von Nahrungsmitteln sichern zu helfen. In Zukunft wird eine nachhaltige Schädlingskontrolle zunehmend von neu zu entwickelnden Strategien und Taktiken abhängig sein, bei der die funktionale Genomforschung ein effizientes Werkzeug darstellt. Sie wird uns in die Lage versetzen, neue Gene und Genfunktionen zu erkennen und damit neue Merkmale zu entdecken, die für eine Optimierung von Saatgut gebraucht werden. Über 140 Organismen wurden bereits genetisch voll entschlüsselt, 700 weitere Organismen sind in Bearbeitung. Das Genom von mehr oder weniger allen wichtigen Pflanzen wird innerhalb der nächsten 5 bis 10 Jahre analysiert sein. Die funktionale Genomforschung wird helfen zu verstehen, wie das Genom den Phänotyp bestimmt. Maker-unterstützte Saatgutentwicklung wird ein elementares Instrument für zukünftige Saatgutverbesserungen sein.

Sie wird die Entwicklungszeiten für Saatgut von 10-12 Jahren auf 2-4 Jahre verkürzen. Die Möglichkeit, verbesserte Eigenschaften in Hochertragssorten schneller einzubringen, wird ein wichtiger Faktor der zukünftigen Saatgutverbesserung sein.

Ein ganz neuer Ansatz ergibt sich auf dem Gebiet der Nanobiotechnologie.

Wissenschaftler aus Thailand können atomar veränderte Organismen 'AVO' (Reispflanzen) herstellen. Dabei werden über Nano-Kanäle in den Zellmembranen spezifische Atome in der

DNA ausgetauscht. Dies bedeutet, daß mit dieser neuen Technik es möglich es möglich ist, die Qualität des Saatguts atomar zu verändern. Ein spezifischer Gentransfer von Gensequenzen aus anderen Organismen wäre damit nicht mehr notwendig.

3.4. Chemische Pflanzenschutzmittel

Durch Verbesserungen im Pflanzenschutz sind in den Industrieländern die Ernteverluste in den letzten 30 Jahren überdurchschnittlich gesunken. Heute gehen im globalen Vergleich 50%, in West-Europa dagegen nur noch gut 20% der Ernte durch Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter verloren. Mit Pflanzenschutzmitteln im Wert von ca. 25 Milliarden Euro sichert die weltweite Landwirtschaft jährlich Ernteerträge im Wert von 135 Milliarden Euro. Effiziente Wirkstoffe, die in einem Dosierungsbereich von nur wenigen Gramm Wirkstoff pro Hektar eingesetzt werden, besitzen bei sachgerechtem Einsatz eine gute Umweltverträglichkeit und ermöglichen ein Maximum an Anwender- und Verbrauchersicherheit. Die heute eingesetzten Pflanzenschutzmittel gehören zu den am besten untersuchten Chemikalien, mit denen der Mensch und die

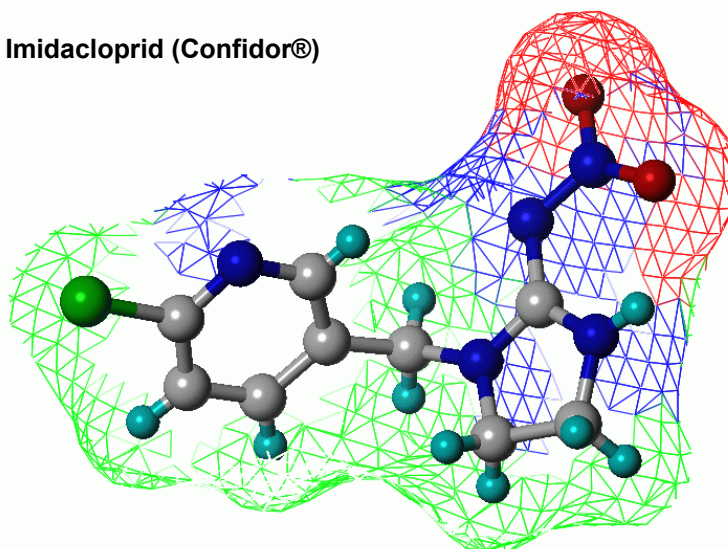
Umwelt in Berührung kommen. Stetter und Lieb (2000) sprechen von "gläsernen" Wirkstoffen.

Die innovativen Durchbrüche im chemischen Pflanzenschutz der Gegenwart lassen sich an den folgenden Wirkstoffklassen bzw. Produkten beispielhaft aufzeigen:

Glufosinat (Basta®) im Bereich der Unkrautbekämpfung, Neonicotinamide (Confidor®) im Bereich der Insektenbekämpfung sowie Strobilurine-/Methoxyacrylate (Discus®, Flint®) im Bereich der Pilzbekämpfung. Der Einsatz solcher neuen Qualitäten hat mit dazu beigetragen, daß in Deutschland nur noch weniger als 2,6 kg Aktivsubstanz pro Hektar ausgebracht werden.

Dennoch gibt es natürlich eine Vielzahl von Perspektiven für neue Pflanzenschutzmittel, an denen viele Forscher der chemischen Industrie arbeiten. Diese Perspektiven lauten: besser, d.h. kostengünstiger für den Anwender, günstigere toxikologische und ökobiologische Eigenschaften, bessere Abbaubarkeit, geringeres Versickerungsverhalten, effiziente Resistenzbrechung, geringere Aufwandmenge, zusätzliche systemische Eigenschaften, bessere Nützlingsschonung, bessere Selektivität, bessere Kombinierbarkeit mit anderen Pflan-

Imidacloprid (Confidor®)



Quelle: Bayer CropScience

zenschutzmitteln, Kombinierbarkeit mit gentechnisch veränderten Kulturpflanzen und bessere Ressourcennutzung. Fortschritte wird es auch bei den Ausbringsystemen für Pflanzenschutzmittel geben. Es wird verkapselte Formulierungen geben, welche die Verbindungen feuchtigkeits- oder temperaturgesteuert zu einem Zeitpunkt im Feld freisetzen, zu dem Schadereger und Unkräuter in den Kulturpflanzenbeständen bekämpft werden müssen. Die Zielsetzung für zukünftige Pflanzenschutzformulierungen läßt sich wie folgt definieren:

- Beeinflussung der Spritztröpfchengröße zur gezielten Applikation (Vermeidung von Abdrift),
- Lösungsmittelarme oder –freie Formulierungen (Suspensions- anstelle von Emulsionskonzentraten),
- staubarme Formulierungen (wasserdispergierbare Granulate anstelle von Pulvern),
- Verbesserung der Saatgutbeize (z.B. durch Gele),
- Einsatz von Additiven (Wirkungsoptimierung) und
- wiederverwertbare Container sowie wasserlösliche Verpackungen.

All diese Verbesserungen werden dazu beitragen, eine noch höhere Sicherheit für den Anwender, den Verbraucher sowie die Umwelt zu gewährleisten. Chemische Pflanzenschutzmittel werden in den nächsten 20 Jahren einen signifikanten Beitrag leisten, zur Sicherung der Welternährung als auch der nachhaltigen Produktion von gesunden Nahrungsmitteln.

4. Elemente einer Landwirtschaft der Zukunft

Zunächst ist ein Schlüsselement einer künftigen Landwirtschaft weltweit der 'Integrierte Pflanzenbau' (IP). Mit

diesem Konzept läßt sich eine nachhaltige Entwicklung sowie eine nachhaltige und profitable Landwirtschaft realisieren, ohne die Umwelt zu zerstören und die natürlichen Ressourcen künftiger Generationen zu gefährden. Es handelt sich um ein dynamisches System, welches die jeweils neuesten Kenntnisse aus Forschung, Technologie und praktischer Erfahrung im Hinblick auf regionale Bedingungen einsetzt, um überall auf der Welt die Nahrungsmittelproduktion zu optimieren, Energie zu sparen und Umweltbelastungen zu minimieren. IP bildet die Grundlage für eine Integrierte Ressourcenschonung sowie auch für 'Integrierte Pflanzenernährungssysteme', die alle kontrollierbaren landwirtschaftlichen Anbaumethoden aufeinander abstimmen, um die nachhaltige Produktion von gesunden Lebensmitteln umweltverträglich zu sichern.

Einer derzeit allgemein angenommenen Schätzung zufolge verdanken 1,7 Milliarden Menschen ihre Nahrung der Verwendung von Düngemitteln, weitere 1,7 Milliarden der intensiven Bewässerung und 2,4 Milliarden dem Pflanzenschutz, der Pflanzenproduktion sowie den Fachkenntnissen und Erfahrungen der Landwirte. Dieses Bild wird sich ändern. Im großen und ganzen wird die Verwendung von Düngemitteln dramatisch steigen, insbesondere in den Entwicklungsländern – in Westeuropa dagegen nicht. Hier wird bereits mit etwa 100 Kilogramm Stickstoff pro Hektar gedüngt, was bereits an der optimalen Grenze liegt.

Bewässerungssysteme werden zunehmen – die wichtigsten Staudammprojekte überall auf der Welt sind gut bekannt. Im Jahre 2025 werden schätzungsweise 1,6 Milliarden Menschen (18-20%) ihre Nahrung der Verwendung gentechnisch veränderter Organismen verdanken. Insektenresistenz, modifizierte Fettsäurespektren in Pflanzen, Toleranz gegenüber biotischen und nicht-biotischen

Faktoren sowie erneuerbare Rohstoffe in der Form von Stärkemodifikationen, Biokunststoffen oder Biodetergenzien sind nur einige Beispiele dafür.

Es ist sinnlos, ohne die Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer, politischer, sozialer, ethischer und demographischer Faktoren das Augenmerk nur auf technische Aspekte zu richten. Durch eine intelligente Kombination aller landwirtschaftlichen Techniken sowie günstigen sozialen und politischen Rahmenbedingungen würde es technisch möglich sein, ausreichende Nahrungsmittel zur Verfügung zu stellen und regional den Hunger bedeutend zu reduzieren. Dazu müssen Landwirte, Wissenschaftler, die Wirtschaft, NRO, Politiker und Verbraucher einen konstruktiven und kooperativen Dialog in Gang setzen, wobei alle Beteiligten bereit sein müssen, Zugeständnisse zu machen. Armut und Hunger müssen an vielen unterschiedlichen Fronten bekämpft werden. Neue Arbeitsplätze in ländlichen Gebieten sind ebenso wichtig wie eine wirkungsvolle Familienplanung.

Der Privatsektor wird neue Problemlösungen für den Markt entwickeln, die kurz- oder mittelfristig profitabel sein müssen. Zu diesem Zweck müssen Marktstrukturen bereits existieren oder aber leicht zu etablieren sein. Ein ausreichender Investitionsschutz muß sichergestellt sein. Die Privatforschung besonders aus den Industrieländern wird zunehmend in die Pflicht genommen, neue Techniken zu entwickeln und daran mitzuwirken, daß diese an die örtlichen Bedingungen in den Entwicklungsländern angepaßt werden. Um die Technologie des Privatsektors an die Erfordernisse der Entwicklungsländer anzupassen, müssen folgende Voraussetzungen vorhanden sein:

- Ein ordentliches Zulassungswesen zur Sicherung weltweiter Deregulierungsnormen,
- Ein durchsetzbarer Schutz von geistigem Eigentum,
- Infrastrukturen für den nationalen und internationalen Technologietransfer inklusive analytische Verfahren für die GVO-Überwachung,
- Entwicklungsinvestition und
- Eine nationale oder regionale Saatgut-Industrie.

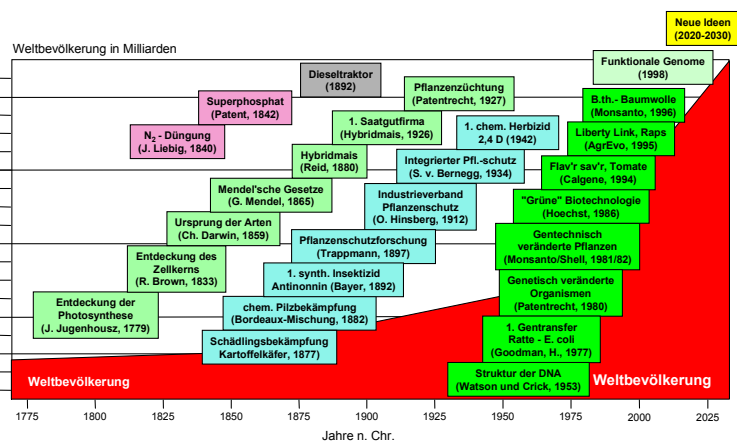
Aufgabe der Regierungen wird es ein, einerseits öffentliche Forschungseinrichtungen zu unterhalten, andererseits aber auch den Privatsektor – die Industrie – für die Zusammenarbeit zu gewinnen. Saatgutzüchter, Biotech- und viele andere Firmen sind dabei, Partner zu werden. Nur wenn alle zusammenarbeiten, wird es gelingen, entsprechende Lösungsansätze für die nachhaltige Produktion ausreichender Nahrungsmittel zu finden. Durch die Integration aller Technologien – darunter auch Biotechnologie und Gentechnik – wird es möglich sein, den erhöhten Bedarf an Nahrungsmitteln zu decken, ohne die Landwirtschaft in artenreiche Regionen auszuweiten, und Landwirtschaftssysteme zu entwickeln, die den Artenreichtum innerhalb des Agrarsystems aufrechterhalten. In Zukunft kann man eine nachhaltige Landwirtschaft erwarten, die Grundlage für bessere Nutzpflanzen, bessere Ernährung, aufgewertete Arbeitsplätze sowie einen besseren Lebensunterhalt in einer intakten Umwelt bildet.

In knapp 12 Jahren wird sich die Weltwirtschaft einmal, in 25 Jahren noch ein zweites Mal verdoppelt haben. Bis zum Jahre 2025 werden weltweit mehr als 30% aller Nahrungsmittel entweder Export- oder Importprodukte sein. Während die neuen Agrotechnologien an

Bedeutung gewinnen oder sogar die oberste Priorität genießen, wird der Handel auch eine Schlüsselposition einnehmen, indem er den Menschen die Nahrungsmittel in ausreichender Menge und in optimaler Qualität zur Verfügung stellt. WTO-Verhandlungen, GATT-Verbarungen und Schutz des geistigen Eigentums werden einen entscheidenden Einfluß auf Kulturpflanzen, Beschäftigung und Lebensunterhalt haben.

funktionale Genomforschung als strategisch bedeutend. Zukünftig ist eine effizientere Verwendung von Boden, Energie und Material, mithin eine höherwertige 'Industrielle Ökologie' notwendig. Die Aufgabe für die Zukunft besteht nicht darin, alles zu tun, was technisch möglich wäre, sondern alles zu tun, was notwendig ist. In den letzten Jahrzehnten ist die Forschung in unterschiedlichsten Zweigen in einem nie da gewesenen Tempo vorange-

Eckdaten für landwirtschaftliche Fortschritte



Zum Schluß soll eine Meßlatte für den Fortschritt in der Landwirtschaft betrachtet werden. Die Veränderungen schreiten nicht linear fort, sondern beschleunigen sich dynamisch nicht-linear.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Agrotechnologien durchgesetzt haben, paßt glücklicherweise zum exponentiellen Wachstum des globalen Nahrungsbedarfs und dient zur Nahrungssicherung sowohl heute als auch morgen. In diesem Kontext ist Platz für eine optimistische Weltanschauung. Positiv denkende, weitsichtige Menschen haben erkannt, daß die Agrotechnologien vielversprechende langfristige Potenziale besitzen, die dazu beitragen, die Welternährung zu sichern, Armut zu lindern, Völkerwanderungen zu vermeiden und die natürlichen Ressourcen zu schonen. Aus sozio-ökonomischer Sicht gelten die Biotechnologie und die

schritten, auch in der Landwirtschaft.

Heute kann man auf ein Wissen von über 6 Milliarden Menschen (1850 nur 1 Milliarde) zurückgreifen, daß für morgen notwendig ist. Dabei gilt es, Entwicklungen in der Landwirtschaft in der Vergangenheit richtig zu verstehen, Wissen und Technologien aber zukunftsorientiert zu erarbeiten und zum richtigen Zeitpunkt zu nutzen. Man sollte dabei nicht, wie fast alle Generationen, den Fehler begehen, das eigene Innovationspotential, das heißt neue Ideen und Erfindungen, zu unterschätzen.

Richtungsweisende Fragen müssen zeitgerecht beantwortet werden: »Sollte Europa durch den richtigen Einsatz entsprechender Wissenschaften und Technologien nicht eine Führungsrolle darin übernehmen können, einem immer weiter wachsenden Prozentsatz der Erdbevölkerung ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen, ohne die Öko-

sphäre zu zerstören? Was wäre die kurz-, mittel- und langfristigen Prioritäten einer solchen Zielsetzung und wie könnte die weltweite Gemeinde der Wissenschaftler und Technologieentwickler diese am besten einsetzen, um den Grundbedürfnissen und Hoffnungen der 8 Milliarden Menschen entgegenzukommen, die unseren Planeten im Jahre 2025 bewohnen werden?«

Es stellt sich auch für uns die Frage: Müssen wir in Deutschland, das nach der Wiedervereinigung politisch und sogar militärisch weltweit in die Pflicht genommen wird, nicht auch unsere Landwirtschaft, unsere landwirtschaftlichen Ressourcen, unser landwirtschaftliches Technologie- und Produktionspotential global mitverantwortlich einsetzen?

Durch fachgerechten und umsichtigen Einsatz aller verfügbaren Agrotechnologien wird es im Jahre 2025 möglich sein, die dann lebende Bevölkerung nachhaltig zu ernähren. Dabei werden wir vielfach an die Grenzen des Notwendigen herangehen müssen.

Der auszugsweise vom 'Global Cooperation Council' 2000 publizierte Aufruf zum Handeln sei abschließend in Erinnerung gerufen:

»Sie braucht eine geistige Führung, die vorausschaut und nicht einfach reagiert, die inspiriert und nicht nur das Machbare angeht, die langfristig für die kommenden Generationen denkt, von denen wir die Gegenwart nur geliehen haben. Die Welt braucht Anführer, die gestärkt werden von einer Vision, getragen von ethischen Überlegungen, und die politische Courage besitzen, über den Tellerrand der nächsten Wahlen hinaus zu schauen.«

* verändert nach Kern, M.(2003), Havichhorster Gespräche 2002, Kultur-Gut e.V. Gut Lenninghausen

Grafiken: Jürgen Geiß