

## Wachstum in Natur und Kultur

Vortrag bei der Tagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte  
Tübingen, 19. September 2008

Christiane Nüsslein-Volhard, Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie,  
Tübingen

Wer denkt bei Wachstum nicht unmittelbar an die Zunahme der Bevölkerung unserer Erde und den damit zusammenhängenden Problemen: Klima, Verbrauch fossiler Brennstoffe, Hungersnöte, Umweltkatastrophen? In diesem einführenden Vortrag möchte ich einige Aspekte des Themas Wachstums beleuchten, die damit zusammenhängen. Als Biologin werde ich mich dabei auf die belebte Welt beschränken und drei Themenkreise behandeln:

- 1. Wachstum der Artenvielfalt:** Wie ist Leben auf dieser Erde entstanden- welches waren die entscheidenden Schritte im Laufe der Evolution bis zu Homo sapiens?
- 2. Wachstum von Tieren:** Was sind Stammzellen, was ist ihre Funktion, wie können sie therapeutischen Einsatz finden?
- 3. Wachstum der menschlichen Bevölkerung:** Wie entstand die Kultur, die schließlich die Erde so verändert hat, dass wir um ihr Fortbestehen bangen müssen?

### 1. Wachstum der Artenvielfalt:

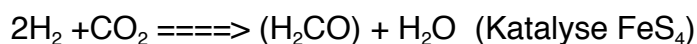
Am Anfang war das Licht- Schöpfungsmythen gibt es in allen Kulturen. Auch die spontane Entstehung von Lebewesen aus totem Material wurde bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts noch geglaubt. Mit den genauen Beobachtungen war es lange so eine Sache, und erst die Fortschritte der Mikroskopie erlaubten im Laufe des 19. Jahrhunderts die Entdeckung, dass Organismen aus Zellen aufgebaut sind, dass diese sich durch Teilung vermehren, und dass sich höhere Organismen im Laufe ihres Lebens von einfachen zu komplexeren Formen entwickeln. Louis Pasteur bewies durch kluge Versuche, dass auch nährstoffreiche Medien nicht "von selbst" Bakterien entstehen lassen. *Omnis vivo ex vivo*. Und sorgfältige Beobachtungen an Froschembryonen führten schließlich Virchow zu dem berühmten Satz: *Omnis cellula e cellula*: Alle Zellen entstehen aus Zellen.

Lebende Wesen haben die Fähigkeit, sich selbst zu vermehren. Das bedeutet, dass Organismen ein Vorbild für Kopien ihrer selbst darstellen. Zellen sind die kleinsten Einheiten des Lebens- sie enthalten sowohl die Gene, aus DNA aufgebaut, die durch ihre Struktur bereits das Rezept der Selbstverdoppelung trägt, als auch die Bausteine und Enzyme sie zu vermehren. Aber auch für Lebewesen gelten die Gesetze der Chemie und Physik, die besagen, dass "von selbst" nur Chaos entsteht. Leben braucht Energie. Es konnte sich auf dieser Erde erst entwickeln als die nötigen Bedingungen vorhanden waren, die erlaubten, Energie in Wachstum von Lebewesen umzusetzen.

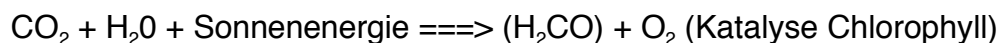
Wenn Zellen nur aus Zellen entstehen, so muss sich im Prinzip jede Zelle jedes heute lebenden Organismus lückenlos auf die erste Zelle dieser Erde zurückverfolgen lassen. In der Tat lassen sich plausible, durch Verwandtschaft bedingte Stammbäume der heute lebenden Organismen auf Grund von DNA Analysen erstellen, die Leben zurückführen auf die einfachsten Zellen. Wie konnte aber eine erste Zelle entstehen? Vor etwa 4 Milliarden Jahren, als die Erde noch jung war?

Notwendige Bedingungen waren flüssiges Wasser, eine lebensverträgliche Temperatur, sowie einfache Kohlen- und Stickstoffverbindungen, Moleküle, die vielleicht durch Meteoriten auf die Erde gekommen waren. Der Start von Lebensprozessen bedarf der Entstehung selbstreplizierender Moleküle, die gleichzeitig als Katalysatoren wirken. Es ist immer noch die große Frage welcher Art die ersten solchen Moleküle waren, ob Proteine oder RNA. Letzteres ist naheliegend, obwohl dagegen eingewandt wird, dass RNA sehr instabil ist. Auch mussten besondere Aggregate von Molekülen, vielleicht lipidähnliche Strukturen, vorhanden sein, um Vesikel zu bilden, die organische Molekülansammlungen zu konzentrieren vermochten.

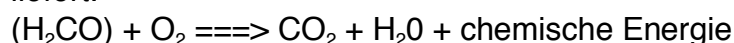
Die ersten und einfachsten heute lebenden Organismen sind Bakterien, die weder einen Zellkern noch andere Organellen enthalten, ein Sack, in dem die DNA lose aufgewunden ist. Etwas komplexer gebaut und vielfältiger sind Archaeen. Diese beiden Gruppen von Organismen, die als Prokaryoten zusammen gefaßt werden, sind morphologisch nicht besonders vielfältig, sind aber Meister in chemischen Reaktionen, und weisen enorme Anpassungsfähigkeit und Toleranz gegenüber extremen äußeren Bedingungen auf. Die Energie zum Leben gewannen diese Organismen ursprünglich wohl aus der chemoautotrophen Oxidation von Wasserstoff.



Ein alles entscheidender Schritt bei der Evolution des Lebens war die "Erfindung" der Photosynthese, das Ausnutzen der Sonne als Energiequelle zur Produktion von organischem Material aus Kohlenstoffdioxid. Sonnenenergie wird zuerst bei Schwefelbakterien genutzt zur Spaltung von H<sub>2</sub>S. In Cyanobakterien und grünen Pflanzen wird unter Beteiligung von Licht - absorbierenden blauen oder grünen Farbstoffen H<sub>2</sub>O gespalten und mit CO<sub>2</sub> zu organischen energiereichen Molekülen umgesetzt.



Es entstehen Zuckerverbindungen, deren Abbau in der formalen Rückreaktion die weitere Energie für den Aufbau und das Wachstum aller höheren Organismen liefert.



Höhere Organismen mit komplex gebauter großer Zelle, die zahlreiche durch Membranen voneinander abgetrennte Kompartimente (Organellen) enthält, entstanden zunächst als Einzeller. Die DNA ist nun in Chromosomen verpackt und in einem Zellkern eingeschlossen. In den Organellen finden arbeitsteilig chemische Prozesse statt- Energieumsatz in Mitochondrien, Verdauung durch Lysosomen, Ausscheidung durch den Golgi - Apparat, Chloroplasten zur Photosynthese, etc. Vermutlich sind einige Organellen ursprünglich durch die Aufnahme, die Phagozytose, von Bakterien in die Zellen gekommen.

Vielzellige Organismen entstanden erst sehr viel später. Vielzelligkeit bedeutet Arbeitsteilung: jede Zelle spezialisiert sich für bestimmte Aufgaben, dadurch ist sie aber gleichzeitig auch in ihren Funktionen eingeschränkt, sie ist differenziert. Kooperation zwischen Zellen erlaubt Reichtum an Formen und Lebensweisen, der bisher noch nicht vorhanden war. Das war ein riesiger Sprung der Evolution, der das Größenwachstum einzelner Organismen erst möglich macht. Groß heißt häufig nicht gefressen werden, und sich besser gegen seine Umgebung abschotten, ist aber nicht notwendigerweise Garant des Erfolges und der Dominanz (darauf komme ich später noch zurück). Die vielzelligen Reiche der Pilze, Pflanzen und Tiere gehen vermutlich auf eine gemeinsame Form zurück.

Das besondere an Pflanzen ist, dass sie enorme Größen erreichen können mit im Prinzip ewigem Wachstum aus Knospen, in denen Stammzellen für den Austrieb sich wiederholender Organeinheiten wie Blätter und Blüten sorgen. Die Blätter bestehen aus flachen Zellschichten, die mit ihrer großen Oberfläche eine bessere Ausnutzung des Sonnenlichts ermöglichen. Tiere dagegen zeichnen sich durch das "Erfinden" von Hohlräumen und einem klar begrenzten Außen und Innen aus. Die Chemie dieses Innenraums, ein primitiver Darm, wird vom Organismus selbst bestimmt. Diese Bauprinzipien ermöglichten die Entwicklung einer ungeheuren morphologischen und funktionellen Vielfalt der Organismen: innerhalb einer vergleichsweise sehr kurzen Zeitspanne, vor 600 Mio Jahren (Cambrische Explosion) waren die Vorläufer aller heute lebenden Tierstämme bereits entstanden, auch einfache Chordatiere. Die Evolution des Bauplans der Wirbeltiere war vor etwa 400 Mio Jahren abgeschlossen. Und die Blütenpflanzen stiegen zu ihrer heutigen Vorherrschaft unter den Pflanzen erst vor etwa 120 Mio Jahren auf.

Obwohl mehr als 90 % der jemals existierenden Arten während der Evolution ihre Probezeit nicht bestanden haben und inzwischen wieder ausgestorben sind, so geht doch der Fortschritt der Evolution weiter, das Bessere ist der Feind des Guten. Der Fortschritt besteht in dem Wachstum, der Zunahme der Komplexität, der Anpassung an veränderte Bedingungen, die Eroberung neuer Lebensräume. Nicht alles was denkbar und "möglich" ist, existiert, es ist durch das beschränkt, was schon da ist. Eine Beeinträchtigung der Umwelt durch die lebenden Organismen war bereits sehr früh präsent: Der Verbrauch von H<sub>2</sub>, Ausscheidungsprodukte wie CO<sub>2</sub> und Sauerstoff veränderten die Atmosphäre, der Verbrauch von begrenzten Vorkommen an Mineralien, Konkurrenz um Nahrung und Licht, sowie zahlreiche Naturkatastrophen bedingten das Verderben ganzer Organismengruppen. Nicht nur der Mensch verursacht Umweltkatastrophen- zum Beispiel hat die Entstehung einer Sauerstoffatmosphäre durch photosynthetische Organismen anaeroben Wesen

zum Aussterben verholten- gut? Schlecht? Unausweichlich. Könnte Leben auch anders aussehen als wir es kennen? Wir wissen es nicht. Es ist zu vermuten, dass die Existenz der Organismen, die im Laufe der Erdgeschichte die Erde "besetzten", andere Lebensformen, die auch möglich und denkbar wären, nicht erlaubte.

## **2. Wie wachsen Tiere? Was sind Stammzellen?**

Die ersten Metazoen - vielzellige Tiere waren lediglich aus zwei Zellschichten aufgebaut, die einen Hohlraum umgaben, der als einfacher, blinder Darm funktionierte. Sie haben bereits ein Außen und Innen, ein Vorne und Hinten, mit Sinneszellen und Abwehrzellen, die Gifte gegen Fraßfeinde produzieren. Ein heute lebender Vertreter ist Hydra, mit hohem Regenerationsvermögen und hauptsächlich ungeschlechtlicher Vermehrung durch Knospen. Im nächsten Schritt entstand der Prototyp der heute lebenden höheren Tiere, eine Art rundlicher Flachwurm, der auch Oben und Unten besaß, und ein mittleres Blatt (Mesoderm), aus dem innere Organe wie Muskulatur und Herz- Blut hervorgingen. Es entwickelte sich ein Generationszyklus mit Sexualität. Obwohl der Aufwand, verglichen mit vegetativer Vermehrung, beträchtlich ist, wird sexuelle Reproduktion bei der Vermehrung der meisten höheren Tiere befolgt. Denn Sexualität bedeutet das Entstehen von Nachkommen durch die Kombination von Ei- und Spermienzelle und damit die Kombination von mütterlichem und väterlichem Erbgut, und verursacht daher höhere Variabilität, damit größere Anpassungsfähigkeit der Nachkommen.

Keimzellen produzieren Eier, im Vergleich zu anderen Zellen riesige Zellen mit hohem Nährstoffgehalt, in denen der entstehende Organismus sich bis zum Larvenstadium entwickelt. Wachstum bei eierlegenden Tieren bedeutet daher zunächst Wachstum der Eizelle im Muttertier: Eier sind 1000 bis zigtausendmal so groß wie eine normale Zelle. Der Embryo entwickelt sich darin durch Unterteilung (Furchungsteilungen) und Strukturierung, ohne Nettowachstum. Nahrungsaufnahme geschieht erst nach dem Schlüpfen, in juvenilen oder Larvenstadien. Dabei nimmt Volumen- und Substanz erheblich zu, bis schließlich die erwachsenen geschlechtsreifen Formen entstehen.

Die maximale Größe, die Tiere einer Art erreichen können, ist sehr unterschiedlich, selbst innerhalb verwandter Arten und Klassen gibt es große Spannen, das bedeutet, dass es bei jeder Art ein besonderes genetisches Programm gibt, das Wachstum und Größe kontrolliert. Dennoch scheint ein wichtiger Zusammenhang zu bestehen zwischen Bauplan des Organismus und seiner maximalen Größe:

In den Stämmen der "Ecdysozoa", der sich häutenden Tiere, geschieht (postembryonales Wachstum) die Größenzunahme der Larvenstadien fast ausschließlich durch ein größer Werden der Zellen, ohne die Zellzahl zu erhöhen. Das Tier muss sich allerdings mehrmals häuten, bis die endgültige Größe erreicht ist. Dieser Modus des Wachstums ohne Unterbrechung der Zellfunktionen durch die aufwendigen Zellteilungen ist sehr leistungsfähig und erlaubt somit sehr kurze Generationszeiten und große Individuenzahlen. Er ist zum Beispiel bei Fadenwürmern und Insekten, die zu den artenreichsten und auch

individuenreichsten Tierklassen gehören, verwirklicht. Diese Tiere haben ein Außenskelett, das ihnen Schutz und Festigkeit verleiht, aber auch die Notwendigkeit der Häutung bedingt. Diese wiederum setzt dem Wachstum eindeutige Grenzen, und Organismen dieser Klassen werden nur in den günstigsten Fällen (Darmparasiten) wirklich groß (mit wenigen aber riesigen Zellen).

Bei Wirbeltieren mit ihrem Innenskelett aus Knorpel und Knochen ist dagegen das Wachstum des Individuums durch Zellteilungen vorherrschend. Während der juvenilen Entwicklung finden in allen Organen und Geweben viele Zellteilungen statt, die zu einer genauen Abstimmung der Größen der einzelnen Organe führen – ein faszinierender und bisher noch nicht gut verstandener Prozess der Größenkontrolle, da jedes Organ auf eine andere Weise wächst, und doch die Form des Tieres gleich bleibt. Hier wächst die Zahl der Zellen, und diese werden auch vielfältiger als bei den kleinen Nicht-Wirbeltieren. So gibt es bei dem Wurm nur etwa 10 verschiedene Zelltypen, während im Säugetier mehr als 200 Zelltypen verschiedene Formen und Funktionen annehmen können. Das erlaubt eine Zunahme an Komplexität, die sich auf Körperbau und Größe der Wirbeltiere auswirkt. Allerdings geht das auf Kosten der Zahlen – den mehreren Millionen Arten der Fadenwürmer und Insekten stehen nur etwa 40 000 Arten von Wirbeltieren gegenüber, von der unendlichen Überlegenheit der Individuenzahl ganz abgesehen. Auch birgt die schiere Größe eine Gefahr für das Überleben: Ressourcenknappheit (Etwa durch Kälteperioden oder Einschränkungen des Lebensraums) verbunden mit einer kleinen Zahl von Nachkommen kann wohl zum Aussterben einiger besonders groß werdender Wirbeltiere beigetragen haben.

Bei Wirbeltieren finden auch nach der Furchung in den Anlagen der Organe stetig Zellteilungen statt, bis eine Mindestzahl für jedes Organ erreicht ist, und die Zellen anfangen zu differenzieren. Einige Zellen bleiben undifferenziert und teilungsfähig, sie werden zu Stammzellen, die bei ihrer Teilung zwei unterschiedliche Tochterzellen hervorbringen, von denen eine Stammzelle bleibt, und die andere, nach einigen weiteren Teilungen, zum Wachstum des Organs beiträgt. Diese Stammzellen sind nicht nur für das Größenwachstum in juvenilen Stadien sondern auch für Regenerationsprozesse im Körper der erwachsenen Tiere zuständig und werden deshalb auch adulte Stammzellen genannt. Gewebe, die auch im erwachsenen Tier ständig neue Zellen hervorbringen sind die Haut, die Darmwand und besonders die blutbildenden Stammzellen im Knochenmark. Adulte Stammzellen können einige, aber nicht alle Zelltypen hervorbringen, sie sind "multipotent". Ihre Teilungen sind von ihrer Umgebung bestimmt und im normalen Leben des Organismus streng kontrolliert. Aus der Kontrolle geraten bedeutet in der Regel Krebs: Zellen teilen sich nicht mehr nur bei Bedarf sondern von selbst. Krebs entsteht durch Mutationen in Genen, welche die Abfolge von Zellteilungen kontrollieren. Adulte Stammzellen wachsen nicht in Kultur, ohne ihre Eigenschaften zu verändern. Ihr Einsatz bei Zellersatztherapien wurde vielfach versucht und ist vielfach gescheitert.

Es gibt noch eine andere Art von Stammzellen, die zur Zeit im Zusammenhang mit Zellersatztherapien intensiv diskutiert werden: Die embryonalen Stammzellen. Diese sind bisher nur aus Säugetierembryonen, genau genommen nur aus der

Maus, möglicherweise aus dem Mensch, gewonnen worden. Ihre Existenz beruht auf der eigentümlichen Entwicklung der Säugetiere, bei denen das Ei nicht, wie bei allen anderen Tieren, alle Nährstoffe zur Bildung einer sich selbst ernährenden Larve enthält. Bei Säugetieren ist das Ei sehr klein, gewährt lediglich die Bildung einer Blastozyste aus 100 Zellen mit nur zwei Zelltypen. Das Wachstum, Gestaltbildung und die Differenzierung bis zur Geburt finden im Uterus des mütterlichen Organismus, und von diesem ernährt, geschützt und versorgt, statt.

Die inneren Zellen der Blastozyste sind nicht nur multi- sondern pluripotent- sie können jede Zelle einer Maus bilden, auch die Keimzellen. Sie vermehren sich auch in der Kulturschale, und zwar ohne sich zu differenzieren und ohne ihre pluripotenten Eigenschaften zu verlieren. Bei Zugabe geeigneter Faktoren können sie sich in jede beliebige Form differenzieren. Embryonale Stammzellen der Maus wurden 1981 von Martin Evans beschrieben, er hat dafür 2007 den Nobelpreis bekommen. Menschliche embryonale Stammzellen gibt es seit 1998 in Kultur. Diese pluripotenten Zellen sind im Prinzip sehr geeignet, um Zellen für Ersatztherapien bei degenerativen Erkrankungen zu produzieren. Im Versuch mit embryonalen Stammzellen der Maus sind einige sehr vielversprechende Modelle entwickelt worden, die für die Heilung von Krankheiten wie Diabetes, Multiple Sklerose oder Parkinson Anwendung finden könnten.

Die Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen wirft ethische Fragen auf, da die Zellen aus menschlichen Embryonen, die nach *in vitro* Befruchtung übrigbleiben, gewonnen werden. Sind solche Embryonen bereits Menschen, die nach allgemeiner ethischer Überzeugung nicht für das Leben anderer "geopfert" werden dürfen, oder handelt es sich um Vorstufen, die anstatt zu Grunde zu gehen, und eine Zustimmung der Eltern vorausgesetzt, zu therapeutischen Zwecken dienen können? In Deutschland ist es nach dem Embryonenschutzgesetz von 1991 verboten, embryonale Stammzellenkulturen aus menschlichen Embryonen anzulegen, weil dieses Gesetz aussagt, dass der menschliche Embryo bereits kurz nach der Befruchtung absoluten Schutz genießt, der ihm nach dem Grundgesetz: "die Würde des Menschen ist unantastbar" zukommt. In anderen Ländern wie in England ist die Gesetzgebung weniger restriktiv, und am menschlichen Embryo darf geforscht werden, bis er sich soweit entwickelt hat, daß er sich in den Uterus der Mutter einnisten kann. Nach einem strengen Gesetz, das gerade vor kurzem novelliert wurde, ist die Forschung in Deutschland an solchen aus dem Ausland importierten Stammzellen erlaubt, aber nur sofern sie vor einem bestimmten Stichtag (jetzt 1. Mai 2007) hergestellt wurden. Diese Regelung hat keine ethische Grundlage, und demonstriert damit ein Misstrauen den Forschern gegenüber, die ja sonst solche Zellen quasi auf Bestellung im Ausland herstellen lassen könnten. Es ist klar, dass solche Einschränkungen deutsche Forscher im internationalen Kontext stark behindern, die auf diesem Gebiet sich quasi verabschieden müssen. Auch klar ist, dass Zellersatztherapien, die in Zukunft im Ausland entwickelt werden mögen, eingeführt werden müssen, da sie, aus ethischen Gründen, deutschen Patienten nicht vorenthalten werden dürfen.

Dieses Szenarium erinnert fatal an die Situation, in der sich die deutschen Forscher in den achtziger Jahren befanden, als die Gentechnik neu war und erste

kommerzielle Anwendungen im Ausland entwickelt wurden. Übrigens waren es deutsche Forscher, die Tübinger Biochemiker Seeburg und Ullrich, meine Kommilitonen, die als DFG Stipendiaten in San Francisco die menschlichen Gene für Insulin und Wachstumshormon isoliert hatten. Die Firma Genentech stellte dann seit 1982 das Humaninsulin gentechnisch her. Obwohl diese Form wegen besserer Verträglichkeit und größerer Sauberkeit den tierischen Präparaten weit überlegen ist und heute auch in Deutschland bei der Behandlung von Diabetes fast ausschließlich zum Einsatz kommt, hat es 14 (vierzehn!) Jahre gebraucht bis es auch hier hergestellt werden konnte. Wer gibt das noch zu? Die zuständigen Politiker sicher nicht, sie scheinen noch nicht einmal zu verstehen, dass der Schaden nicht nur ökonomisch riesig und folgenschwer war, sondern dass diese feindliche Atmosphäre damals die Forschung sehr beeinträchtigt hat und zum Auswandern (heute "brain drain" bezeichnet) vieler deutscher Forscher und der Verlagerung von Arbeitsplätzen der Pharmaindustrie ins Ausland geführt hat. Statt aus unseren Fehlern zu lernen, sind wir gerade dabei, sie zu wiederholen, und zwar nicht nur beim unlogischen und forschungsfeindlichen Duktus des Stammzellgesetzes. Wir sind auch dabei, eine (oder mehrere) Generation Forscher, die sich der Entwicklung und Züchtung von Nutzpflanzen mit gentechnischen Methoden gewidmet haben, aus dem Lande zu treiben. Dazu später noch einige Anmerkungen.

Forschung ist international. Wir haben schließlich auch das Grundgesetz, das Forschungsfreiheit garantiert. Erfolgreiche und originelle Forschung hat viel mit Motivation zu tun, die am höchsten ist, wenn das Forschungsprojekt selbst gewählt wurde, und mit der Verantwortung für das, was man selbst entschieden hat. Forschungsfreiheit bedeutet, dass die Wissenschaftler an Universitäten und Forschungsinstituten selbst verantwortlich sind – sowohl für den Gegenstand als auch für die Signifikanz ihrer Forschung. Das hat gute Gründe, denn die gezielte Forschungssteuerung durch die Politik oder den Druck der Öffentlichkeit führt meistens zu teurer und schlechter Forschung, wenn nicht Schlimmerem. Wer kann im voraus sagen, welcher Weg der bessere, der schnellere und der sicherere ist, der Politiker doch nicht, doch eher der Forscher.

### **3. Wachstum der menschlichen Bevölkerung:**

Der Mensch als Primat mit aufrechtem Gang ist vor 5 Mio Jahren erstmals nachweisbar, der moderne Mensch Homo Sapiens entstand nach heutigem Wissen vor etwa 200 000 Jahren aus einer kleinen Population in Afrika. Als Kulturwesen verfügt der Mensch über den Gebrauch des Feuers, Werkzeuge, Kunst, und Sprache. Dadurch errang er sich Überlegenheit gegenüber Großtieren, die er allein auf Grund seiner körperlichen Möglichkeiten nicht bewältigen könnte. Als Jäger und Sammler haben Menschenhorden sicher bald ihre eigenen Beutegründe erschöpft, sind weiter gezogen, und haben sich schließlich über die ganze Welt verbreitet. Dabei lebten sie, wo sie konnten, von damals auf der ganzen Welt vorhandenen Herden von Großtieren, von denen viele durch den Menschen zum Beispiel in Amerika schließlich weitgehend ausgerottet wurden, wie die Pferde und die Mammuts. Das Wachstum der Jäger- und- Sammler- Gruppen war relativ langsam,

da das Nomadendasein eine dichte Geburtenfolge, die durch Notwendigkeit des Tragens des Säuglings begrenzt war, nicht erlaubte.

Das Sammeln von Feldfrüchten, insbesondere Getreide, als Nahrungsvorrat hat schließlich zur Entwicklung des Ackerbaus und zur Sesshaftigkeit geführt. Ackerbau und Viehzüchtung entstand unabhängig in mehreren Gebieten, die sich durch die Anwesenheit von endemischen domestizierbaren Pflanzen und Tieren auszeichneten. Landwirtschaft ist zuerst vor etwa 11 000 Jahren in Kleinasien, im Gebiet des fruchtbaren Halbmonds entstanden, dort waren viele Gräser heimisch, aus denen im Laufe der Zeit die Kulturformen des Weizen und der Gerste entstanden. Diese Getreide, wie auch der Mais, der Reis, die Hirse und einige andere liefern nährstoffreiche Körner, die als Vorrat gesammelt, aber auch in umhegten und gepflegten Federn wieder ausgesät wurden. Bald machte sich der Mensch Mutationen der Gräser zu Nutze, erbliche Veränderungen, die höhere Erträge brachten. Interessant ist, dass weltweit lediglich wenige hundert Pflanzenarten von den insgesamt 200 000 Arten kultiviert werden konnten. Die 12 Nahrungslieferanten, die zusammen 80 % der Welternährung liefern, sind die Getreide: Weizen, Mais, Reis, Gerste, Hirse, dann die Sojabohne, die Knollengewächse Kartoffeln, Maniok, Süßkartoffeln, sowie Zuckerrohr, Zuckerrübe und Banane.

Tiere wurden gehalten und gezüchtet, deren Fleisch gegessen, deren Milch getrunken wurden, deren Wolle oder Federn zu Schutz und Wärmen diente, und die Lasten befördern und Menschen tragen konnten. Auch hier fällt auf, dass es nur etwa 14 verschiedene große Haustiere gibt, von denen die meisten aus Kleinasien stammen. Die überwiegende Zahl der großen Säugetiere (ca 14000 Arten) haben sich als nicht domestizierbar erwiesen. In ihrer Bedeutung für den Ackerbau nicht zu unterschätzen war die Gewinnung von Fäkalien der Haustiere und des Menschen, durch die dem Ackerboden entzogenen Mineralien wenigstens teilweise als Dünger zurückgegeben werden konnten.

Ackerbau und Viehhaltung führten dazu, dass bereits wenige Menschen Nahrung für Viele beschaffen konnten. Dadurch wurde Sesshaftigkeit möglich gemacht, mit allen guten und weniger guten Konsequenzen, jedenfalls bedeutete diese Änderung der Lebensweise einen gewaltigen- einen revolutionären- Schub für das Wachstum der menschlichen Populationen. Die sozialen Bedingungen veränderten sich dramatisch. Das Leben in Siedlungen ermöglichte das Entstehen verschiedener Gewerke, die nichts mit dem Nahrungserwerb zu tun hatten: Handwerk, Medizin, Schulen, Religion, Herrscher und Soldaten. Nicht zuletzt erlaubte die Sesshaftigkeit kürzere Geburtenintervalle, was zu einem Schub im Bevölkerungswachstum führte. Immer mehr Land wurde durch Kultivierung urbar gemacht, und Wälder wurden durch Brandrodung vernichtet, oder gefällt um Häuser, Paläste, Kirchen und Schiffe zu bauen. Allerdings war bei den meisten Kulturvölkern Sesshaftigkeit mit einer nicht nachhaltigen Bewirtschaftung des Landes verbunden, die auf die Dauer zur Verarmung der Böden führte. Abholzung von Wäldern beeinträchtigte den Wasserhaushalt und führte zur Erosion der Böden und Verlust von Ackerland durch Abschwemmung und zur Verkarstung. Die Folgen waren Hungersnot,

Völkerwanderung, Eroberung, Kriegsführung, Auswanderung, aber auch der Untergang von ganzen Völkern.

Der große deutsche Chemiker Justus von Liebig hat in seinem grundlegenden 1840 zum ersten mal erschienen Werk über Agrikulturchemie die Zusammenhänge zwischen Aufstieg und Fall von Kulturen und ihrer Form des Ackerbaus ausführlich erörtert. Darin schildert er das Unwesen des Raubbaus, wenn nämlich die dem Boden in Form der Ernte entnommenen Mineralien nicht in genügendem Maße zurückgegeben werden. Er erklärte den Zweck des Düngens mit Fäkalien, die in China zB zu einer über lange Zeiten einigermaßen nachhaltige Bewirtschaftung der Flächen geführt hatte, und große Bevölkerungsdichten ermöglichte, im Gegensatz zu anderen Kulturen, zum Beispiel der Maya, in denen die durch Brandrodung gewonnenen Ackerflächen bald durch mangelnde Düngung entschieden unfruchtbar geworden waren.

*"Es gibt kein Gewerbe, was sich an Wichtigkeit dem Ackerbau, der Hervorbringung von Nahrungsmitteln für Menschen und Tiere vergleichen lässt, in ihm liegt die Grundlage des Wohlseins, der Entwicklung des Menschengeschlechts, die Grundlage des Reichtums der Staaten, er ist die Grundlage aller Industrie."*

*"Als Prinzip des Ackerbaus muss angesehen werden, dass der Boden in vollem Maße wieder erhalten muss, was ihm genommen wird, in welcher Form dies geschieht....dies ist wohl ziemlich gleichgültig"*

*"eine Wirtschaft, die diesen Ersatz nicht oder nicht vollständig leistet, ist Raubbau"*

*"Alle großen Völkerwanderungen gehen von einem unfruchtbar gewordenen Lande aus nach fruchtbareren Ländern hin"*

Justus von Liebig war es, der erkannte, dass die grünen Pflanzen aus dem Kohlendioxid der Luft mit Wasser organisches Material aufbauen und dabei Sauerstoff freisetzen. Neu und revolutionär war seine Erkenntnis, dass Pflanzen keineswegs die organischen Substanzen aus dem Humus entnehmen, sondern dass der Kohlenstoff zu ihrem Wachstum aus der Luft kommt. Die Fruchtbarkeit des Bodens wird im Wesentlichen durch anorganische Salze, Kalium, Phosphat, Spurenelemente, Stickstoffverbindungen bedingt. Seine sorgfältigen Messungen und Beobachtungen führten schließlich zur Entwicklung von Mineraldüngern, die bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts sehr wesentliche Ertragssteigerungen in erschöpften Böden ergaben. Zur Stickstoffdüngung verwendete man damals (zusätzlich zu Jauche und Fruchtwechsel mit Leguminosen) aus Südamerika importierten Vogeldung, Guano, oder Chilesalpeter, und Liebig selbst hat bereits sehr deutlich auf die Endlichkeit dieser Vorkommen hingewiesen. Stickstoff in der Luft kann von den meisten Pflanzen nicht aufgenommen werden, er ist in vielen Böden wachstumslimitierend. Das Problem der Stickstofffixierung wurde durch Fritz Haber gelöst, der entdeckte, dass sich Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff bei hohen Drücken und Temperaturen gewinnen ließ (1918 mit dem Nobelpreis geehrt). Das großtechnische Haber-Bosch Verfahren war damals von immenser wirtschaftlicher Bedeutung weltweit. Stickstoffhaltige Kunstdünger haben zur Beseitigung vieler Hungersnöte beigetragen, brauchen zu ihrer Herstellung

allerdings hohe Energiemengen. Auch kann durch Überdüngung eine Verseuchung der Gewässer verursacht werden.

Allerdings ist es nicht allein die Qualität der Böden, die Fruchtbarkeit bedingen. Pflanzenzüchtung, basierend auf Variation und Auslese besonderer Formen, genannt Varietäten, Spielarten oder "Sports" hat die Kulturvölker stets begleitet. Besonders wichtige Veränderungen der Getreide waren die Entwicklung größerer Körner und längerer Ähren, der Verlust der Spindelbrüchigkeit, sowie frühe, gleichzeitige Reife. Diese Eigenschaften erleichtern das Ernten, schwächen aber die Züchtungspflanze, die in freier Wildbahn ohne Schutz durch den Menschen kaum Überlebenschancen hat. Um besonders leistungsfähige Anbaupflanzen zu bekommen, wurden Nutzpflanzen durch Kreuzungen zwischen unterschiedlichen Arten erzeugt (Bastarde, das sind zum Beispiel Weizen, und Raps). Kreuzungen zwischen reingezüchteten Sorten der gleichen Art führen in vielen Fällen zu sehr robusten, ertragreichen Formen, genannt Hybride, die nur den Nachteil haben, dass ihre Nachkommen häufig ganz anders aussehen als ihre Eltern, und die guten Eigenschaften zum größten Teil verloren haben.

Die Ursachen dieser verwirrenden Unstabilität, "Aufspalten" der Hybride hat Gregor Mendel in seinem brillanten Beitrag: "Versuche über Pflanzenhybriden" erklärt. Er züchtete Erbsen mit reinerbigem Saatgut, die sich jeweils in nur wenigen Eigenschaften klar unterschieden. Er zeigte, dass bei einer Kreuzung mit Eltern unterschiedlicher Merkmale die Nachkommen alle gleich sind, während es bei der nächsten Generation durch unabhängige Kombination von mütterlichen und väterlichen Faktoren wieder unterschiedliche Pflanzen gibt, auch solche, die eine neue Kombination von Anlagen tragen.

Mendel hat seine scharfsinnigen Überlegungen zu einer Zeit angestellt, als Gene und Chromosomen noch nicht entdeckt waren. Die Arbeit, 1866 veröffentlicht, wurde allerdings zunächst nicht verstanden, und musste erst 1900 unter anderem von dem Tübinger Botaniker Correns wiederentdeckt werden, um Anwendung in der Züchtungsforschung zu finden. Die Züchtung und Erhaltung guter stabiler Sorten hatte in Deutschland eine sehr gute Tradition. Die Gesellschaft für Vererbungsforschung, aus der GDNÄ hervorgegangen, bestand überwiegend aus Pflanzenzüchtern.

Hybridbildung spielt in der Pflanzenzüchtung eine große Rolle. Da Hybride nicht "reinerbig" sind, werden sie vegetativ vermehrt um Nachkommen mit den gleichen guten Eigenschaften zu erhalten, durch Ableger, wie bei Erdbeeren, Stecklinge bei Kartoffeln, oder durch Pfropfen bei Weinreben und Obstbäumen. Die Überlegenheit von Hybriden wird auch beim Anbau von Mais, einer der wirtschaftlich wichtigsten Kulturpflanzen der Welt, ausgenutzt: Hier wird das Saatgut durch Kreuzung von zwei seit 500 Jahren getrennt gehaltenen reinerbigen Parentalformen angebaut. Solche Hybridpflanzen sind außerordentlich robust und ertragreich, der Ertrag nimmt aber in der nächsten Generation stark ab. Aus ihren Nachkommen lassen sich aber neue Sorten durch Auswahl besonderer Merkmale züchten. Die besten und ertragreichsten Anbausorten vieler Kulturpflanzen, wie Mais, aber auch

Weizen, Reis und Raps, sind häufig Hybride, die von Saatgutfirmen in raffinierten Kreuzungen im großen Stil hergestellt werden.

Durch Mutation, Kreuzungen und Selektion waren für die wichtigsten Kulturpflanzen ungiftige und leichter erntbare Sorten entstanden, die bei guter Pflege hohe Erträge brachten, aber auch anfällig gegen Fraßfeinde und Pathogene ("Schädlinge") sowie Konkurrenz ("Unkräuter") waren. Gute Pflege wurde um so notwendiger, je stärker die Pflanzen von ihren ursprünglichen Wildformen abwichen, denn bei der Selektion wurden Eigenschaften bevorzugt, die sie nicht nur für den Menschen, sondern auch für alle Fraßfeinde attraktiver machten- sie hatten Abwehrstrukturen und Giftstoffe verloren. Immerhin sind mehr als 90 % aller wilden Pflanzenarten für den Menschen giftig, einige sind erst nach Kochen oder fermentieren genießbar und nur wenige lassen sich durch Züchtung entgiften. Viele der Gene, die den Wildformen Widerstandsfähigkeit und Robustheit unter schwierigen Bedingungen (Trockenheit, Kälte, Befall mit Würmern, Pilzen, Viren, Insekten, Konkurrenz durch "Unkraut", magere Böden) verleihen, sind in diesen Kulturpflanzen mutiert, verändert, nicht mehr funktionsfähig.

Vor der Einführung von chemischen oder biologischen Pflanzenschutzmitteln wurden durch Schädlinge, denen die neuen Kulturpflanzen, wie zum Beispiel die Kartoffeln, die aus wirtschaftlichen Gründen in großflächigen Monokulturen angebaut wurden, nicht gewachsen waren, große Hungersnöte verursacht. Zum Beispiel sind in Irland durch die Kartoffelfäule, einer Pilzkrankheit, zwischen 1845 und 1849 mehr als eine Million Menschen verhungert.

Um die gewünschten hohen Erträge zu erzielen, muss die Kulturpflanze von außen durch das Ausbringen von Insektiziden, Fungiziden und Herbiziden geschützt werden, auch im sogenannten ökologischen Anbau. Solche Behandlungen sind in sofern problematisch, als sie nicht sehr spezifisch sind, und nicht nur die Schädlinge der Kulturpflanzen getroffen werden, sondern auch durch breitflächige Anwendung zum Beispiel andere Insekten, die wiederum eine wichtige Nahrungsquelle für Vögel darstellen, stark dezimiert werden.

Bei der Pflanzenzüchtung spielen daher nicht nur Eigenschaften der Verwertbarkeit, Gesundheit und des Ertrags, sondern auch der Resistenz gegen Schädlinge eine große Rolle. Zur Erhaltung guter resistenter Sorten ist ständige Zucht notwendig, da die Schädlinge sich anpassen, je länger die Sorte angebaut wird, und dadurch mit der Zeit die Widerstandsfähigkeit in einer Sorte verloren geht. Bei der Kultivierung von Mais tritt ein weiteres Problem zutage: eine in Europa beheimatete Motte ist dessen schlimmster Feind, gegen den die aus Südamerika stammende Pflanze von vorneherein keine natürlichen Abwehrmechanismen hat. Bei der Züchtung kann deshalb nicht auf die Selektion ursprünglich vorhandener Merkmale zurückgegriffen werden. In südlichen Ländern vernichtet der Maiszünsler regelmäßig ganze Ernten eines Jahres, wenn nicht massiv mit Pflanzenschutzmitteln gespritzt wird.

Die konventionelle Pflanzenzüchtung stößt an mehrere Grenzen, da einerseits weggezüchtete oder nicht vorhandene Eigenschaften (wie beim Mais) keine Basis

für Selektion sein können, andererseits die durch mehrere Züchtungsgenerationen bedingten Zeiten, die bis zur Entwicklung einer neuen Sorte vergehen, durch die kurze Generationszeit der Schädlinge überholt werden. Bis zur Zulassung einer neuen Sorte vergehen bei vielen Pflanzen 8 bis 10 Jahre, während die Empfindlichkeit gegenüber Mehltau zum Beispiel innerhalb von weniger als 3 Jahren entstehen kann.

Viele dieser Züchtungsverfahren können mit gentechnischen Methoden vereinfacht, verbessert oder verkürzt werden. Die Genome der meisten Kulturpflanzen sind inzwischen weitgehend entziffert, das hilft sehr beim Verfolgen der interessanten Merkmale über die Züchtungsgenerationen hinweg. Beim dem "smart breeding" werden Resistenzgene (oder Gene für andere wichtige Eigenschaften, die der Kulturpflanze verlorengegangen) in den Wildformen aufgespürt und in Kreuzungen durch mehrere Generationen in die Züchtungsformen eingeführt. Geeignete DNA Analysen erleichtern die Auslese der Individuen mit bestimmten Genen, die dann in Feldversuchen auf ihre Eigenschaften getestet werden.

Diese Kreuzungen können abgekürzt werden, indem solche Resistenzgene von außen in die Pflanzen eingeführt werden, die Pflanze ist dann "genetisch modifiziert" oder "transgen". Die Methode, fremde Gene in Pflanzen einzuführen, wurde in Belgien und Deutschland von Jeff Schell und Mitarbeitern in den 80er Jahren entwickelt. Die Methode beruht auf einem Agrobacterium, das auch in der Natur Gene auf Pflanzen überträgt. Sie findet inzwischen weltweite Anwendung in der Züchtungsforschung. In USA, Argentinien und Kanada sind bereits mehr als 80% der Kulturfläche mit auf diese Weise widerstandsfähig gemachten gentechnisch veränderten Nutzpflanzen (Mais, Sojabohne, Baumwolle) bewirtschaftet. Seit 1996 hat die Anbaufläche gentechnisch behandelte Kulturpflanzen weltweit um den Faktor zehn zugenommen, von 10 auf über 114 Mio Hektar. Auch in Australien, Indien, Brasilien und China werden wegen ihrer guten Eigenschaften und Wirtschaftlichkeit immer mehr solche "GMO" Kulturpflanzen angebaut.

In Anbausorten von Mais zum Beispiel wurde ein Gen eines Bodenbakteriums (*Bacillus thuringiensis*) eingeführt, welches das Bt Toxin produziert, ein Protein, das sehr spezifisch für bestimmte Insekten, auch den Maiszünsler, giftig ist, aber für den Menschen, Säugetiere und andere Insekten nicht. Andere Pflanzen, besonders Sojabohne, pflanzlicher Proteinlieferant Nummer 1, werden gentechnisch gegen ein Unkrautvernichtungsmittel resistent gemacht, sodaß sie unbeschadet aus Behandlungen gegen Konkurrenten hervorgehen kann. In diesem Fall ist das Herbizid ein Hemmstoff eines Pflanzenenzym, das zur Synthese einer essentiellen Aminosäure notwendig ist, das Transgen trägt ein modifiziertes Gen für dieses Enzym, das auf den Hemmstoff nicht anspricht. 95% des Sojaanbaus geschieht inzwischen mit solchen Pflanzen.

Transgene Verfahren sind in ihrer Anwendung auf den Ackerbau in Deutschland durch unser Gentechnik- Gesetz so erschwert, dass die Entwicklung und Nutzung solcher robusten Anbausorten weitgehend woanders auf der Welt stattfindet. Der Grund dafür ist eine tiefsitzende Angst vor möglichen Gefahren einer neuartigen

Technologie. Das war wohl vor 20 Jahren, als es noch wenig Erfahrung gab, vernünftig, aber inzwischen weiß man so viel mehr, dass es an der Zeit ist, diese Einstellung gründlich zu revidieren.

Wovor haben wir Angst? Längst ist erwiesen, dass das Fremdgen, genau wie die Gene der Pflanzen selbst (jede Pflanze hat etwa 20 000 Gene), nicht vom menschlichen oder tierischen Körper eingebaut werden kann, sondern den Weg aller Nahrung, nämlich der Verdauung geht. Übertragung von Genen aus Nutzpflanzen in die Natur ist dauerhaft ganz unwahrscheinlich (und bisher nicht nachgewiesen), da die Nutzpflanzen ohne Schutz gar nicht in der Lage sind zu überleben. Im Falle von Bt Toxin werden im ökologischen Landbau die Bakterien bzw ihre Sporen selbst versprüht, und treffen damit nicht nur die Schädlinge, die die Pflanze befallen haben, sondern auch alle anderen Insekten. Das Wissen und die Erfahrung mit den Technologien haben in den letzten zehn Jahren ungeheuer zugenommen. Es ist leicht zu sehen, dass die Dimension des Anbaus von genetisch modifizierten Kulturpflanzen (über 100 Mio Hektar, das Dreifache der Fläche Deutschlands) weltweit sehr sichere Schlüsse über Verträglichkeit mit Ernährung und Umwelt zulassen. Alle Einwände konnten mit diesen im Ausland durchgeführten freiwilligen überdimensionierten Kontrollversuchen überprüft und entkräftet werden, zusätzlich zu zahlreichen vom BMBF und der EU geförderten Untersuchungen.

Es ist kein einziger Fall bestätigt worden, der einen durch grüne Gentechnik auf die Menschen und die Umwelt verursachten Schaden dokumentiert. Dagegen bietet sie allein durch das Einsparen von Insektiziden und wiederholter Spritzungsabläufe große ökonomische und ökologische Vorteile. Diese machen die höheren Kosten des Saatgutes bei weitem wett. Trotzdem werden bei uns ungestraft genehmigte Versuche zerstört und auf illegitime Weise jegliche Anstrengungen, hierzulande eigene moderne Züchtungen durchzuführen und neue zukunftsreiche Sorten zu entwickeln, blockiert. Kein Wunder, dass viele traditionsreiche Saatgutfirmen ihre Forschung und Entwicklung mitsamt den daran gebundenen Arbeitsplätzen ins Ausland verlagert haben. Wir sind dabei, hervorragend ausgebildete Forscher statt hochentwickelte Saatgüter und innovative Agrartechnologien zu exportieren.

In Deutschland ist noch nicht hinreichend akzeptiert, dass die Anwendung der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung ein noch unausgeschöpftes Potential für den ökologischen Landbau, für verbesserten Umweltschutz, die Erhaltung der Artenvielfalt und die Gesundheit bietet. Pflanzen, die resistent gegen Motten, Pilzbefall, Viren und Nematoden sind, müssen nicht gespritzt werden. Pflanzen, die besser an ungünstige Wachstumsbedingungen, Salzböden, Karst, Trockenheit, angepasst sind, können so gezüchtet werden und angebaut werden um verödetes Land wieder fruchtbar zu machen.

Pflanzen mit besserem Nährwert können erzeugt werden. Ein Beispiel ist der "goldene Reis", der so verändert ist, dass er Vitamin A in den Körnern enthält, und dadurch die sehr verbreiteten Mangelkrankheiten, die bei proteinarmer Ernährung entstehen, vermindern kann. Auf diesem Sektor eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten, die interessante Anwendungen erwarten lassen.

Andere Zukunftsvisionen befassen sich mit Pflanzen zur Energiegewinnung. Biodiesel ist bereits in aller Munde, das aus Ölpflanzen, Raps (in Deutschland) oder Ölpalme (in den Tropen) gewonnen wird. Diese biologischen Kraftstoffe sind aber nicht sehr wirtschaftlich und auch, trotz hoher ideologischer Akzeptanz, nicht unbedingt umweltschonend. Neuere Technologien setzen auf die Vergärung von Stärke- oder Zuckerhaltiger Biomasse wie Zuckerrohr, Hirse und Mais zu Ethanol, der den Kraftstoffen zugesetzt wird. Dabei ist die Energieausbeute höher, aber auch in sofern problematisch, als auch hier, wie bei den Ölpflanzen, wertvolle Kulturlflächen den Nahrungspflanzen weggenommen oder gar Urwälder dem lukrativen Anbau von Energiepflanzen geopfert werden. In der Entwicklung befinden sich Verfahren, Pflanzen zu nutzen, die bei minimalen Ansprüchen ungeheure Mengen an Biomasse produzieren. Stauden, die also nicht ausgesät werden müssen, sondern jährlich neu aus einem Wurzelstock austreiben, wie Chinaschilf, werden erprobt. Schnell wachsende Bäume wie Pappeln und Weiden produzieren ebenfalls bei geringem Düngeranspruch auch in kälteren Gegenden sehr viel Biomasse. Diese Pflanzen, die unter Bedingungen wachsen, die den Nahrungslieferanten nicht gut genug sind, sind sehr effiziente "Sonnenkollektoren". Jetzt bedarf es noch der Verfahren, die Biomasse in Form der pflanzlichen Strukturmoleküle Cellulose und Lignin, die sehr stabil und chemisch nicht einfach angreifbar sind, in Kraftstoffe zu verwandeln. Darin besteht eine große Herausforderung für die Wissenschaft im interdisziplinären Kontext. Organische Katalysatoren, aber auch Mikroorganismen aus den Mageninhalten Holz- und Zellulose- fressender Organismen, wie der Pansen der Rinder, der Mageninhalt von Termiten werden dazu erforscht.

Inzwischen ist die gesamte Erde "besetzt". Nicht nur in Europa, auch in anderen Teilen der Welt gibt es praktisch keine "naturbelassenen" Flächen mehr (bis auf Bergspitzen, Meerestiefen und kleine Reste von Urwald, deren Tage gezählt sind). Jeder Quadratmeter ist durch Menschenhand bestimmt, benutzt oder beeinflusst. Feuchtgebiete sind trockengelegt, Flüsse begradigt, Hänge terrassiert, um möglichst viel Land wirtschaftlich zu nutzen. Interessanterweise sind die heutigen Anbauflächen fast nicht überlappend mit jenen, in denen Ackerbau entstanden ist, in denen also die Kulturpflanzen beheimatet sind. Diese sind inzwischen über die ganze Welt verbreitet und es läßt sich wohl ohne Übertreibung sagen, dass auch in Deutschland fremde Pflanzen- Mais, Kartoffel, Weizen- überwiegen. In den Gegenden, die früher "Kornkammern" waren, sind durch übermäßige Beanspruchung die Böden längst verarmt, durch Abholzen Landschaften verkarstet. Der Anteil an Trockenflächen und Wüsten nimmt bedrohlich zu. Nicht alles ist Menschen - gemacht, aber bei der hohen Bevölkerungsdichte sind Naturkatastrophen besonders folgenschwer. Das rasante Wachstum der menschlichen Bevölkerung hält an mit den damit verursachten Problemen- verursacht durch die natürliche Tendenz zum Wachstum bis zur Katastrophe.

Es gibt auch kein zurück- wir müssen versuchen, die Erde nachhaltig zu "bewirtschaften" und auf diese Weise ein erträgliches Auskommen denen bieten, die bereits da sind. Auch wenn bessere Ernährung oft einen Wachstumsschub verursacht hat, ist es angesagt, menschenverträgliche Bedingungen zu fördern und

zu erhalten. Sehr gründliche Überlegungen sind anzustellen, wie in Zukunft die Ernährung einigermaßen sichergestellt werden kann, ohne noch mehr naturbelassenes Land zu kultivieren. Es gilt, brachliegende Flächen wieder in "Kultur" oder "Natur" zu nehmen, zu verhindern, dass noch mehr verkarstet und versteppt, noch mehr in Städte, Autobahnen umgewandelt wird, und die fruchtbaren Gegenden so nachhaltig und effizient wie irgend möglich zu nutzen. Hier in Deutschland ist der ökologische Anbau in der Landwirtschaft großgeschrieben, der sich besondere Verdienste im Erforschen und Entwickeln nachhaltiger Verfahren erwirbt. Wir alle können daher sehr vielfältige landwirtschaftliche Produkte von hoher Qualität erwerben. Aber für die Ernährung der Population von Millionenstädten ist Öko-Landbau nicht wirtschaftlich, was die Flächennutzung anbetrifft. Wir müssen alle Anstrengungen dahin setzen, dass auch die Nahrungsmittel für jedermann von hoher Qualität und gesund sind. Hier ist modernste Pflanzenzüchtung gefragt, die sowohl verhelfen kann, langfristig und nachhaltig beste Erträge von Nahrungsmitteln zu produzieren, als auch neue Energiequellen, auf Pflanzen und damit Sonnenenergie basierend, zu erschließen.

Mein persönliches und besonderes Anliegen ist der Naturschutz. Es ist schon gut, sich gegen die Abholzung tropischer Regenwälder einzusetzen, aber was lassen wir vor unserer eigenen Haustür geschehen? Auch in Deutschland, wo Naturliebe und Umweltschutz vergleichsweise großgeschrieben sind, sind viele Arten im Aussterben begriffen oder ernsthaft bedroht. Es ist zu kurz gegriffen, den Rückgang vieler Vogelarten, zum Beispiel der Störche oder auch der Zugvögel, auf den Klimawandel zu schieben: woher soll denn ein Storchenpaar die 4 kg Frösche pro Tag finden, die sie für die Aufzucht ihrer Brut brauchen, wenn jeder Zipfel Boden landwirtschaftlich genutzt und trocken gelegt ist? Wenn das Land in kleine Parzellen aufgeteilt ist, die größeren Tieren einfach nicht genügend Lebensraum belassen. Durch das Sprühen mit Insektiziden und die saubere Feldwirtschaft ohne jedes Unkraut verhungern scharenweise die Zugvögel in Europa auf dem Weg zurück in die Heimat. Bei der Lösung der Probleme, wie in Zukunft mit den Kulturflächen umzugehen, wie sie nachhaltig zu bewirtschaften und trotzdem Artenvielfalt und gute Umweltbedingungen zu schaffen und dauerhaft zu schützen, kann Forschung und Entwicklung viel beitragen, obwohl viele Probleme dieser Welt politischer Natur sind. Konkurrenz, Verteilung, Armut in vielen Ländern, die - auf sehr verständliche Weise- den Raubbau an den unverbrauchten Flächen fortsetzt, weil diese kostbare Ressourcen darstellen. Armut ist der Umwelt großer Feind, nicht nur der Reichtum, der die Ressourcen verschwendet. Denn gemeinnützige Maßnahmen und nachhaltige Bewirtschaftung sind zunächst kostspielig, das können- und das müssen sich die reichen Länder leisten. Wir als Wissenschaftler aber haben die Verpflichtung und Verantwortung, auf die anstehenden Probleme und ihre Lösungen aufmerksam zu machen und gegebenenfalls mit Nachdruck Maßnahmen anzumahnen.