

NOVA ACTA LEOPOLDINA

NEUE FOLGE, BAND 108, NUMMER 374

Individuelle und globale Ernährungssituation – gibt es (noch) eine Lösung?

Gottfried Brem (Hrsg.)



Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2010
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

Individuelle und globale Ernährungssituation – gibt es (noch) eine Lösung?

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Herausgegeben vom Präsidium der Akademie

NEUE FOLGE

NUMMER 374

BAND 108

Individuelle und globale Ernährungssituation – gibt es (noch) eine Lösung?

**Gemeinsames Symposium
der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina
und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW)**

vom 30. bis 31. Oktober 2008 in Wien

Wissenschaftliche Vorbereitung und Organisation:

Gottfried BREM (Wien)

Senator der Leopoldina, Korresp. Mitglied der ÖAW

Mit 41 Abbildungen und 21 Tabellen



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2010
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart**

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH

Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland. Jedes Heft ist einzeln käuflich!

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Abkürzung ML hinter dem Namen der Autoren steht für Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten.

© 2010 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften
Hausadresse: 06108 Halle (Saale), Emil-Abderhalden-Straße 37, Tel. +49 345 4723934
Herausgeber: Präsidium der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften
Printed in Germany 2010
Gesamtherstellung: Druck-Zuck GmbH Halle (Saale)
ISBN: 978-3-8047-2800-4
ISSN: 0369-5034
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

FIRCKS, Wolf-Dietrich VON: Begrüßung	7
DENK, Helmut: Grußworte	9
HERZOG, Ulrich: Grußwort	11
BREM, Gottfried: Einleitung	13

Individuelle Ernährungssituation

EDER, Klaus, und RINGSEIS, Robert: Hunger und seine Folgen	23
HAUNER, Hans: Überernährung und ihre Folgen	37
DANIEL, Hannelore: Das Wechselspiel des Genoms mit der Ernährungsumwelt	47

Nahrungsmittelproduktion

QAIM, Martin, und FISCHER, Elisabeth: Das Welternährungsproblem: Ursachen und neue Herausforderungen	51
WENZEL, Gerhard: Wissensbasiert zu optimaler qualitativer und quantitativer Anpassung der Grundnahrungsmittelproduktion	69

Nahrungsmittelströme

GRUISSEM, Wilhelm, und BÄTTIG-FREY, Petra: Magere Zeiten – Die Herausforderungen der modernen Landwirtschaft	89
KRAWINKEL, Michael-Bernhardt: Mangel- und Fehlernährung	111
BRENIG, Bertram: Nahrungsmittel tierischen Ursprungs – Bedarfsgerechtes „Design“ durch optimale Nutzung des genetischen Potentials landwirtschaftlicher Nutztiere	119

Risiken

KIEFER, Ingrid, und MEIDLINGER, Bettina: Möglichkeiten und Grenzen der Ernährungsprävention	137
<i>Poster</i>	
MATIUTI, Marcel: Die autochthonen Tierrassen Transsilvaniens (Siebenbürgen) und die globale Erwärmung	147
HERZOG; Ulrich: Schlusswort	149

Begrüßung

Wolf-Dietrich VON FIRCKS (Wien)

Rektor der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Sehr geehrte Damen und Herren,
lieber Herr Professor BREM,

ich freue mich sehr, Sie im Namen der Universität und im eigenen Namen begrüßen zu können.

Die unterschiedliche Herkunft von Teilnehmerinnen und Teilnehmern sowie Referentinnen und Referenten zeigt, dass Ihr Thema nicht nur von regionalem Interesse ist, sondern durchaus von globalem Interesse und sich dazu eben dann mehrere zusammengefunden haben, die dieses Thema vorantreiben und vertiefen wollen. Insofern haben wir auch ganz herzlich dem Gesundheitsministerium (so nenne ich es jetzt einmal abgekürzt) Österreichs zu danken, hier vertreten durch Herrn Magister HERZOG, das es sich nicht hat nehmen lassen, diese Tagung wiederum zu fördern. Ich finde, das ist sehr erfreulich und deshalb besonders dankenswert, weil diese speziellen Belange eigentlich dort im Ministerium bisher kein eigenes Budget haben. Das Geld musste aus anderen Töpfen zusammengesammelt werden, was natürlich bei den bekannten Eifersüchteleien immer eine besondere Mühe macht.

Neben der Freude allgemein, dass Ihre Tagung stattfindet, finde ich es außerdem besonders erfreulich, dass speziell dieses Thema – der Zusammenhang zwischen Produktion der Lebensmittel, Ernährung und Gesundheit – vertieft wird. Wir haben in den letzten Jahren eine Diskussion über die Mission unserer Universität geführt: Was ist eigentlich das Spezifische unserer Einrichtung? Was ist eigentlich das, was rechtfertigt, dass der Steuerzahler eine durchaus teure Ausbildung und Institution, wie unsere, bezahlt? – Das veterinärmedizinische Studium ist immerhin das teuerste weltweit, weil es eben sowohl die Grundlagenwissenschaften als auch das ganze medizinische Spektrum umfasst.

Wir meinen, es ist unsere Aufgabe und auch unsere Lösungskompetenz, für einen gesamtgesellschaftlichen Gesundheitsbegriff einzustehen. Das heißt also für Gesundheit, durchaus ausgehend hier bei uns vom Tier, aber auch im Interesse des Menschen und im Interesse der Entwicklung der Umwelt. Da sieht man, dass gerade die Veterinärmediziner über die Fähigkeit verfügen, speziesübergreifend die Dinge zu betrachten und deshalb sehr, sehr wichtige und gute Beiträge leisten können. Deshalb ist es ja auch traditionell so, dass wir nicht nur für die kurative Behandlung der Einzeltiere zuständig sind, sondern auch für den gesamten Bereich der präventiven Medizin und eben auch den Bereich der Lebensmittelüberwachung. Und wie eng das dann schon hier mit dem Thema zusammenhängt, ist, meine ich, sehr deutlich. Es

geht eben sowohl darum, dass qualitative, gute Lebensmittel im Interesse der Gesundheit ausreichend zur Verfügung stehen und auch gleichzeitig quantitativ hinreichende Lebensmittel. Denn wenn an einer Stelle etwas zusammenbricht, hat das Auswirkungen an anderer Stelle. Auswirkungen auf Gesundheit von Mensch, Tier und auch auf die Entwicklung der Umwelt, bis hin zum Raubbau, der dann wiederum einen Teufelskreis in Gang setzt. Wo zum Beispiel nicht mehr auf entsprechende Wasserqualität geachtet wird, wird eine Kette in Gang gesetzt, die zu Lasten von Mensch und Umwelt geht.

Und daher bin ich sehr dankbar, dass Sie das Thema aufgegriffen haben. Ich glaube, dass genau dieser Blickwinkel, wie die Dinge miteinander zusammenhängen, manchmal in der Betrachtung verloren gegangen ist. Wir sehen es an Fragen zu ernährungsbedingten Krankheiten. Für Amerika las ich eine Statistik, dass etwa jeder dritte Erwachsene einmal pro Jahr eine ernährungsbedingte Krankheitsphase hat. Es wird nicht so sehr in der Öffentlichkeit wahrgenommen, weil das häufig nicht lebensbedrohend ist, aber der Ausfall an Arbeitszeit, die Belastung der Volkswirtschaft dadurch ist sehr beachtlich. Wenn zukünftig durch Knappheit oder durch Klimaveränderung oder durch Qualitätsprobleme zusätzliche Verschärfung eintritt, wird der Schaden deutlich größer. Von daher bin ich allen sehr dankbar, die sich präventiv um diese Fragen kümmern. Wir haben häufig das Problem, dass die Veterinärmedizin sozusagen erst dann im Fokus der Aufmerksamkeit steht, wenn schon ein Skandal eingetreten ist – ganz gleich, ob es sich um Arzneimittelskandale handelt, Antibiotikaverfütterung, Gammelfleisch oder ähnliches. Wir wollen nachhaltige Lösungen und nicht erst Aufmerksamkeit nach Skandalen, sondern wir wollen präventiv, im Interesse der Gesundheit aller unseren Beitrag leisten.

Und hierzu tragen Sie heute alle bei. Glück auf für diese Tagung.

Wolf-Dietrich VON FIRCKS
Veterinärmedizinische Universität Wien
Veterinärplatz 1
A-1210 Wien
Österreich

Grußworte

Helmut DENK ML, wMÖAW (Wien)

Magnifizenz,
lieber Kollege BREM,
meine sehr geehrten Damen und Herren!

Ich habe heute die besondere Freude, Ihnen die Grüße der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften zu überbringen.

Für mich als Mediziner ist die Thematik dieses Symposiums besonders erfreulich und wichtig. Die Ernährung ist nicht nur ein wesentlicher, die Gesundheit erhaltender Faktor, sondern spielt auch zusammen mit der genetischen Konstitution eine große Rolle bei der Entwicklung von Krankheiten. Ich möchte daher Herrn Kollegen BREM gratulieren und danken, dass er dieses hochaktuelle Thema aufgegriffen hat. Es ist natürlich einerseits unser aller Aufgabe, Fehl- und Mangelernährung aufzuzeigen und zu bekämpfen. Andererseits müssen wir uns aber bewusst sein, und der Herr Rektor hat ja schon darauf hingewiesen, dass heute in vielen Ländern, und nicht nur in den sogenannten westlichen Industriegesellschaften, auch die Überernährung für die Entwicklung von Krankheiten verantwortlich ist. Darauf wird in diesem Symposium besonders eingegangen. Die Überernährung kann beim Menschen zum metabolischen Syndrom führen, eine Situation, die durch Adipositas, also Fettsucht, Hyperlipidämie und Diabetes mellitus Typ 2 charakterisiert ist und mit kardiovaskulären Störungen und Lebererkrankungen einhergeht. Wir wissen, dass diese Form der Leberschädigung bereits einen recht hohen Prozentsatz unserer Bevölkerung betrifft und über die noch harmlose Fettleber zur Leberentzündung (Steatohepatitis), Leberzirrhose und auch zum hepatozellulären Karzinom führen kann. Und dies gilt nicht nur für Erwachsene, sondern zeigt sich in zunehmendem Maße bereits bei Kindern und Jugendlichen. Neben den äußeren Einflüssen, d. h. also Überernährung, spielt natürlich auch der genetische Hintergrund, auf den in diesem Symposium ebenfalls eingegangen wird, eine wichtige modulierende Rolle, basierend auf der Tatsache, dass schwerwiegende Erkrankungen nur bei einem relativ geringen Prozentsatz der betroffenen Personen entstehen.

Helmut Denk

In diesem Sinne wünsche ich diesem Symposium einen erfolgreichen Verlauf; ich bin überzeugt, dass die Teilnehmer bereichert nach Hause gehen.

Prof. Dr. Helmut DENK
Medizinische Universität
Institut für Pathologie
Auenbruggerplatz 25
A-8036 Graz
Österreich
Tel.: +43 31 63852228
Fax: +43 31 6384329
E-Mail: helmut.denk@meduni-graz.at

Grußwort

Ulrich HERZOG (Wien)

Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend

Meine sehr geehrten Damen und Herren,
lieber Gottfried,

ich möchte mich eingangs bei Dir bedanken. Du hast diesmal die Initiative für dieses Symposium ergriffen. Das Thema „Individuelle und globale Ernährungssituation – gibt es (noch) eine Lösung?“ bedarf einer Beleuchtung von vielen Seiten. Obwohl auf den ersten Blick andere Ressorts zu diesem Thema mehr beitragen könnten als das Gesundheitsministerium, ist es richtig und notwendig, sich hier zu engagieren. Es ist unbestritten, dass wir in den letzten Jahren eine gute Zusammenarbeit bei der Ausrichtung diverser Symposien – auch zu heiklen Themen wie z. B. BSE – bewiesen haben.

Aus zweierlei Gründen unterstützt das Bundesministerium für Gesundheit dieses Symposium. Einerseits bildet die individuelle Ernährungssituation der Menschen einen Arbeitsschwerpunkt, der in allen Gesundheitssystemen der westlichen Welt an Bedeutung gewinnt. Gesunde, maßvolle und ausreichende Ernährung ist ein zentraler gesundheitspolitischer Aspekt.

Andererseits ist das Gesundheitsressort für die Festlegung der diversen Regularien verantwortlich. Produktionsstandards, gemäß denen die Sicherheit oder die Kennzeichnung von Produkten der Lebensmittelkette gewährleistet wird, sind auch laufend zu überprüfen und zu hinterfragen. Sind die Maßstäbe und die Methoden noch dem Stand der Wissenschaften entsprechend, oder sind die Grenzwerte noch adäquat? Diesen Fragestellungen ist nachzugehen, und diese Parameter sind auch laufend zu hinterfragen.

Ich glaube – und dessen sollten wir uns bewusst sein –, dass wir das Thema Ernährung und Überernährung aus einer häufig sehr theoretischen und europabezogenen Sichtweise diskutieren. Für mich war beeindruckend, als ich vor einem Jahr die Möglichkeit hatte – im Rahmen einer Reise mit dem Landwirtschaftsminister nach China –, eine neue Sichtweise der Ernährungsfragen erleben zu dürfen. In einem Gespräch mit dem chinesischen Landwirtschaftsminister erklärte er uns, dass China vor dem Problem steht, mit 9% der Getreideanbaufläche weltweit 20% der Weltbevölkerung ernähren zu müssen. Durch den steigenden Wohlstand und das Verlangen nach mehr – auch nach mehr Nahrungsmitteln – vergrößert sich dieser Widerspruch in China laufend und stellt das Land vor ganz neue Herausforderungen.

Es gibt den Konsens in der westlichen Welt, dass der Lebensstandard aller Menschen steigen soll. Fast täglich wird im Zuge der politischen Reden über die großen Themen der Weltpolitik ausgeführt, dass Schwellenländer unserem Standard nahe kommen sollen, dass Entwicklungsländer zu unterstützen sind, um auch mehr Wohlstand zu erreichen. Dies be-

deutet, dass weitere Ressourcen, wie Boden, Wasser und *Know-how*, zur Verfügung gestellt werden müssen, damit die angesprochenen Länder auch dann den gestiegenen Ernährungswünschen nachkommen können.

Es stellt sich somit die legitime Frage, wo denn die diversen Lebensmittel produziert werden sollen. Wenn wir heute von Lebensmittelimporten aus den Entwicklungsländern in die Europäische Union sprechen, so müssen wir uns bewusst sein, dass vielfach einige Großunternehmen davon profitieren. Diese Unternehmen sind meistens auch in europäischer Hand, weil alle lokalen Unternehmer oft die erforderlichen Auflagen für den Lebensmittelexport nach Europa gar nicht erfüllen können.

Ein zweiter Problembereich muss Berücksichtigung finden. Seit vergangener Zeit leben, weltweit betrachtet, mehr Menschen in der Stadt als auf dem Land. Das bedeutet auch, dass immer weniger Leute eine Vorstellung besitzen, wie ein Lebensmittel entsteht, was man alles dafür benötigt, damit am Ende ein Produkt herauskommt, welches im Supermarkt verkauft wird. Ein weiterer Aspekt ist, dass immer mehr Menschen nicht mehr in der Lage sind für ihre eigene Ernährung im Rahmen der Eigenversorgung zu sorgen. In Entwicklungs- und Schwellenländern führt daher das rasche Wachstum der Städte auch zu großen logistischen Herausforderungen.

Das waren nur zwei Beispiele, die ich – *pars pro toto* – für die Vielfältigkeit des Ernährungsthemas angeführt habe, um auch die wirtschaftliche Dimension zu verdeutlichen. Das heutige Programm spiegelt die Vielzahl an Facetten wider, die in der Diskussion beleuchtet werden können. Ich hoffe, dass dieses Symposium ein erster Anlauf für eine breiter geführte Diskussion über das Thema Ernährung und Ernährungssicherung ist.

In diesem Sinne wünsche ich uns spannende eineinhalb Tage und möchte abschließend auch dem Hausherrn noch ein herzliches Dankeschön dafür aussprechen, dass wir in den Räumen der Veterinärmedizinischen Universität tagen dürfen.

Mag. Ulrich HERZOG
Bundesministerium für Gesundheit
Sektion II – Verbrauchergesundheit und Gesundheitsprävention
Radetzkystraße 2
A-1030 Wien
Österreich

Einleitung

Gottfried BREM ML, kMÖAW (Wien)

Magnifizenz!
Liebe Studierende!
Sehr verehrte Damen!
Sehr geehrte Herren!

Mein Herzliches Grüß Gott und Guten Morgen! Ich begrüße Sie alle zu unserem kleinen aber feinen Symposium. Wenn Sie sich wundern sollten, dass Sie sich trotzdem im größten Hörsaal unserer Universität befinden, sei zur Entschuldigung angemerkt: selten aber manchmal doch ist es so, dass man große Dinge leichter bekommt als kleine – zumindest temporär.

Was den Ablauf betrifft, muß ich zwei Änderungen bekannt geben: Herr Kollege KREIL ist leider so schwer erkrankt, dass er nicht kommen kann. Es ist das erste Mal seit 35 Jahren dass er eine gegebene Zusage zurücknehmen muss, und er wäre wirklich sehr gerne gekommen. Wir wünschen ihm von ganzem Herzen eine gute Verbesserung seiner Gesundheit. Kollege DENK hat sich freundlicherweise bereit erklärt, an seiner Stelle die Moderierung der ersten Sitzung zu übernehmen.

Die zweite Änderung betrifft den Vortrag von Kollegen SCHURR heute Nachmittag. Herr SCHURR musste leider aus internen dienstlichen Gründen kurzfristig absagen. Wir werden also den Vortrag von Kollegen WENZEL vorziehen. Ich hoffe, Sie werden mir gestatten, dass ich von der freiwerdenden Zeit einige Minuten für eine verlängerte Einleitung verwende. Wir werden Sie aber auf alle Fälle früher entlassen. Die anwesenden Studierenden wird das sowieso freuen, und unseren Gästen wird es sicher nicht schwerfallen, dieses herrliche Wetter – Magnifizenz besten Dank für diese perfekte Planung – in unserer traumhaften Stadt zu genießen und dabei an den braven Soldat SCHWEJK zu denken und seinen Ausspruch: „Es hat alles einen tiefen Sinn.“

Vom philosophierenden Überlebenskünstler SCHWEJK zu einem Philosophen, der seine Arbeit nicht überlebt hat: „Wir leben nicht, um zu essen, wir essen, um zu leben“, äußerte SOKRATES (470–399 v. Chr.). Nebenbei bemerkt, die tiefe Wahrheit dieser Aussage wurde ihm – wie bekannt – damals nicht zum Verhängnis, sondern sein Einfluss auf die Jugend. Heutzutage empfinden wir seine Sentenz auch in den diversen abgewandelten Formulierungen als Allgemeinplatz. Wir tun uns eben leicht in unserem allgegenwärtigen Überfluss an Nahrungs- und Genussmitteln. Was aber sagen wir denjenigen, die gerne essen würden, um zu überleben, und denjenigen, die essen und damit nicht leben können.

Ziel unseres Symposiums ist es, wissenschaftliche Daten und Untersuchungen zu diesen Phänomenen in ihrer Ursächlichkeit und Gegensätzlichkeit aufzuzeigen. Wir wollen versuchen zu hinterfragen, welche globalen und individuellen Handlungsalternativen wir haben, und aufzuzeigen, was wir tun können, um den globalen Hunger zu bekämpfen, und was wir tun müssen, um die individuelle Situation in den Griff zu bekommen.

Vor zwei Generationen war die Erklärung zur globalen Situation noch simpel. In einer vom späteren deutschen Bundeskanzler Willi BRANDT in den 1960er Jahren organisierten Tagung wurde dies auf die Kurzformel „Reicher Norden – armer Süden“ gebracht. Die globale Ernährungssituation war geprägt von Fragen zur Nahrungsmittelproduktion und den Nahrungsmittelströmen – also den regionalen Verfügbarkeiten von Nahrungsmitteln. Das hat sich gewandelt, aber das grundsätzliche Problem hat sich verschärft.

In den letzten Jahrzehnten war der Nahrungsmangel in vielen Ländern dieser Welt ein Problem der Nahrungsmittelverteilung. Insgesamt gab es genug Nahrungsmittel, aber sie waren nicht so verteilt bzw. verteilbar, dass sie den Bedarf hätten decken können. Diese Erkenntnis wurde von einem unbekanntem Autor wie folgt präzisiert: „Erst wenn der letzte Hunger auf der Welt gestillt ist, haben wir gelernt, alles, was gewachsen ist, richtig zu verteilen.“

Beim Millenniumsgipfel in New York wurde vor acht Jahren als Ziel formuliert, bis 2015 den Anteil der hungernden Menschen an der Bevölkerung auf dieser Welt zu halbieren. Jetzt ist Halbzeit; das Ziel halb erreicht haben wir bei weitem nicht, wir sind offensichtlich weiter davon entfernt als je zuvor!

Der Schweizer Soziologe Jean ZIEGLER (*1934) führte aus: „Der Hunger tötet weltweit täglich ungefähr 100 000 Menschen. Kaum jemand spricht über diesen Völkermord, von Abhilfe ganz zu schweigen. Vor diesem Hintergrund und angesichts des zügellosen Neoliberalismus der Finanzmärkte entlarvt sich das Reden der Mächtigen von christlichen Werten, von Solidarität und Gerechtigkeit als pure Heuchelei.“ Als Herr ZIEGLER diesen in Bezug auf den Neoliberalismus der Finanzmärkte fast prophetischen Satz in seinem 2003 veröffentlichtem Buch niedergelegt hat, konnte er sich das Ausmaß der Erschütterungen des Bankensystems der letzten Wochen wohl noch nicht vorstellen.

Zur Zeit ändert sich die ohnehin schon schwierige Nahrungsmittelsituation dahingehend dramatisch, dass wir mit der Nutzung von Ackerböden für den *Non-Food*-Bereich Entwicklungen sehen, die dazu führen können, die globale Nahrungsmittelverfügbarkeit rasant zu gefährden. Subventionierte Eingriffe in Nahrungsmittelmärkte führen zur Destabilisation und Vernichtung von lokalen Produktionsformen in Entwicklungsländern und verstärken die genannten Effekte. Man könnte dies auch auf die zynische Kurzformel bringen: „Früher hatten wir Schwierigkeiten bei der Verteilung, heute haben wir Probleme bei der Produktion.“

Wie vielschichtig die Problematik ist, will ich an einem Beispiel aufzeigen, das unmittelbar gar nichts direkt mit unserem Thema zu tun hat. Laut Welternährungsorganisation FAO arbeiten zurzeit weltweit ungefähr 500 Millionen Arbeitstiere im Dienste des Menschen. Zur Erhöhung der Produktivität der Landwirtschaft könnte man versucht sein zu überlegen, diese tierische Arbeitskraft durch Maschinen zu ersetzen, wie wir das in den Industrieländern erfolgreich praktiziert haben. Das würde auch erlauben, das Futter, das diese Arbeitstiere verzehren, direkt oder indirekt der menschlichen Ernährung zuzuführen.

Diese Zug- und Tragtiere haben eine gemeinsame Leistung von etwa 250 Millionen PS und einen Wert von 150 Milliarden Dollar. Um diese Tiere durch Traktoren zu ersetzen, wäre eine Investition in der Höhe von mindestens 350 Milliarden Dollar nötig. Die jährlichen laufenden Betriebskosten und Umweltauswirkungen sind dabei noch nicht einmal subsummiert.

Apropos Umwelt. Thema Nummer eins in den letzten Jahren war und ist der Klimawandel, doch der globale Mangel an Trinkwasser und Nahrungsmitteln ist aktuell viel bedrohlicher. Unsere Welt befindet sich im Klimakterium, und das meine ich nicht in semantischer Verballhornung des Begriffs Klimawandel, obwohl der mit eine Rolle spielt. Der Befund Klimakterium leitet sich aus dem griechischen *klimaktér* „Stufenleiter, kritischer Zeitpunkt im Leben“ her. Im Gegensatz zum Körper einer Frau in den Wechseljahren, die nach dieser Stufe wieder in ein ruhigeres Leben gleitet, müssen wir bei unserer Welt im ursprünglichen Sinn des Begriffes damit rechnen, dass hier die Krisis direkt in die Katastrophe führt.

Folgt man aber den medialen Schwerpunkten, scheinen bei uns die Beschäftigung mit den sozialen und Ich-Bedürfnissen der Menschen die zentralen Fragen zu sein.

Abraham MASLOW (1908–1970), ein amerikanischer Psychologe, ordnete die menschlichen Bedürfnisse nach einer bestimmten Rangordnung in einer Bedürfnispyramide. Erst wenn die Bedürfnisse einer Stufe gestillt sind, strebt der Mensch nach Bedürfnissen der nächst höheren Stufe. Die größten Leistungen erbringt der Mensch dort, wo er seine größte Bedürfnisbefriedigung erfährt.

Primäre Bedürfnisse wie Wasser, Luft, Nahrung, Unterkunft, Schlaf sind gegebene biologische Grundbedürfnisse. Sekundäre Bedürfnisse beginnen mit dem Streben nach Sicherheit und reichen über soziale und Ich-Bedürfnisse bis hin zur Selbstverwirklichung. Sie sind psychischen bzw. sozialen Ursprungs und werden im Laufe der Entwicklung erlernt.

Die Bedürfnisse der Menschen unserer Zeit haben sich gewandelt, aber mit diesem Wandel kann sich nur der Teil der Weltbevölkerung wirklich auseinandersetzen, der seine biologischen Grundbedürfnisse zu decken vermag. Die Bereitschaft, zum Erreichen eines bestimmten Zieles einer höheren Stufe, eine Zeitlang Hunger, Durst oder Schlafmangel zu ertragen, ist sehr limitiert, weil unter biologischen Beeinträchtigungen nur sehr eingeschränkt soziologischen Prämissen Folge geleistet werden kann.

Was sind die Ursachen für unsere globale Ernährungsmisere? Die Zeiten, als Hunger quasi als „Gott gegeben“ hingenommen werden konnte, sind vorbei; so leicht dürfen wir es uns nicht machen. Schauen wir uns kurz schlaglichtartig an, was die Wissenschaft zu diesem Thema zu sagen hat bzw. gesagt hat. Bei den ausgewählten Beispielen wird die globale Ernährungssituation direkt an der Bevölkerungsentwicklung festgemacht.

Der britische Ökonom Thomas MALTHUS (1766–1834) war der erste, der nachweislich eine Bevölkerungstheorie formulierte. In seinem 1798 veröffentlichtem Buch *Essay on the Principle of Population* steht die Überbevölkerung als Problem einer sich entwickelnden Ökonomie und Gesellschaft im Zentrum seiner Überlegungen. MALTHUS ging davon aus, dass die Bevölkerungszahl exponentiell steige, die Nahrungsmittelproduktion in derselben Zeit aber nur linear. Vor MALTHUS ging man generell davon aus, dass mit wachsender Bevölkerung eine größere wirtschaftliche Leistungsfähigkeit eines Landes erreicht wird. Aus der malthusianischen Bevölkerungstheorie ergibt sich allerdings, dass das Bevölkerungswachstum stärker als das wirtschaftliche Wachstum ist und es somit zu Verarmung und Verelendung des Landes kommt. Diese wirtschaftswissenschaftliche Betrachtung der Bevölkerungstheorie von MALTHUS wird auch als Bevölkerungsfalle interpretiert. Der Biologe Charles DARWIN (1809–1882) wurde übrigens sehr stark von MALTHUS beeinflusst. Er übernahm viele Aspekte für die Entwicklung seiner Evolutionstheorie.

Ausgehend von der auch heute gültigen Annahme, dass die Hebung des allgemeinen Bildungsstandards zu einem Geburtenrückgang führen werde, empfahl MALTHUS eine Bildungsoffensive für die unteren Schichten. Er behielt, wenn wir die europäische Ernährungssituati-

on betrachten, insofern recht. Die Hebung des Bildungsniveaus in Europa hat wesentlichen Anteil an der Reduktion von Armut und Hunger in unseren Breitengraden. Wie aber steht die Chance, diesen Prozess erfolgreich zu globalisieren?

Und zeigt uns die Entwicklung der Industrieländer nicht schon den Trend zur nächsten Phase? Oder können wir Effekte der Bildung einfach ignorieren, wenn wir über die individuelle Ernährungssituation diskutieren. Ist unser Umgang mit dem „Zuviel“ an Nahrungsmitteln nicht auch ein Bildungsproblem?

MALTHUS unterschätzte die Geschwindigkeit des technischen Fortschritts, die vor allem in der Landwirtschaft die Produktivität erheblich erhöhte. Die erhöhte Effizienz der Produktivität ging im Wesentlichen auf drei Mechanismen zurück:

- Arbeitsteilung und Massenproduktion;
- Innovationen;
- sozial institutionalisierte Regeln, welche die ersten beiden Punkte unterstützten.

Diese Mechanismen wurden durch eine anwachsende Bevölkerung erst ermöglicht und notwendig. Durch die Erhöhung der Produktivität wurde der beschränkte Ressourcenspielraum enorm erweitert. Auch ging das Bevölkerungswachstum der Industrieländer in Folge steigender Einkommen und Bildung zurück. Man darf dabei nicht übersehen, dass die Produktivitätssteigerung der Landwirtschaft in den Industriestaaten auch durch den vermehrten Import billigen Viehfutters aus Entwicklungsländern bewirkt wurde und wird.

Wie lange wird sich das Credo des anhaltenden Wachstums fortsetzen lassen? Was können wir tun, um unsere landwirtschaftliche Nahrungsmittel-Produktionsleistung nachhaltig zu erhöhen? Ich denke hier insbesondere an den Reizbegriff Gentechnik und die sich daran entzündenden Fragen und die dazugehörige Verantwortung: Was können und müssen wir tun, und was dürfen wir unterlassen oder verhindern. Verantwortung ist nicht teilbar! Man muss nicht nur verantworten, was man tut, man muss auch das verantworten, was man unterlässt und dadurch anderen Schaden zufügt. Von uns als Akteuren wird Verantwortung – zu Recht – eingefordert, wo aber bleibt die Verantwortung der Verhinderer!

1972 erschien die Studie *Die Grenzen des Wachstums* zur Zukunft der Weltwirtschaft. Das im Auftrag des *Club of Rome* benutzte Weltmodell diente der Untersuchung von fünf Trends mit globaler Wirkung:

- Industrialisierung;
- Bevölkerungswachstum;
- Unterernährung;
- Ausbeutung von Rohstoffreserven;
- Zerstörung von Lebensraum.

Es wurde mit unterschiedlich hoch angesetzten Rohstoffvorräten der Erde gerechnet, oder eine unterschiedliche Effizienz von landwirtschaftlicher Produktion, Geburtenkontrolle oder Umweltschutz angesetzt. Die zentralen Schlussfolgerungen des Berichtes waren 1972: Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht.

Das 30-Jahre-*Update* der Studie im Jahre 2004 geht auch auf die Entwicklung von 1972 bis 2002 ein und beschreibt u. a. eine Zunahme des sozialen Gefälles (20 % der Erdbevölke-

rung verfügten über 85 % des globalen BIP), die Veränderung der Bodenqualität, indem 40 % der Ackerflächen übernutzt werden, und die 75 %ige Überfischung.

Die Autoren nehmen an, dass die Kapazität der Erde, Rohstoffe zur Verfügung zu stellen und Schadstoffe zu absorbieren, bereits im Jahr 1980 überschritten worden sei und im Jahr 2004 schon um ca. 20 % überschritten war. Unter dem „Ökologischen Fußabdruck“ wird die Fläche verstanden, die notwendig ist, um den Lebensstil und Lebensstandard eines Menschen bei heutigen Produktionsbedingungen dauerhaft zu ermöglichen. Das schließt neben der Nahrungsmittelproduktion Flächen zur Produktion von Kleidung, Bereitstellung von Energie, Abbau des Mülls oder zum Binden von CO₂ mit ein. Danach werden beim gegenwärtigen Verbrauch pro Person 2,2 ha benötigt – es stehen aber lediglich 1,8 ha zur Verfügung. Europa benötigt 4,7 ha pro Person, hat aber nur 2,3 ha selber zur Verfügung. Dies bedeutet eine Überbeanspruchung der europäischen Biokapazität um über 100 %. Die Volksrepublik China und Indien beanspruchen derzeit erst 1,6 ha und 0,7 ha für eine Person.

Auch bei energischem Umsetzen von Effizienzstandards kann diese Tendenz oft nur abgemildert, aber nicht mehr verhindert werden. Erst die Simulation einer überaus ambitionierten Mischung aus Einschränkung des Konsums, Kontrolle des Bevölkerungswachstums, Reduktion des Schadstoffausstoßes und zahlreichen weiteren Maßnahmen ergibt eine nachhaltige Gesellschaft bei knapp 8 Mrd. Menschen. Wir leben nach dem Prinzip Hoffnung: Keiner glaubt an Wunder, aber alle hoffen wir darauf.

Joseph Alois SCHUMPETER (1883–1950), international bekannter österreichischer Ökonom und Politiker, studierte Anfang des vorigen Jahrhunderts hier in Wien Rechtswissenschaften und arbeitete u. a. über lange Wellen in der ökonomischen Entwicklung. Er benutzte dazu die Bezeichnung Kondratjew-Zyklus. Nikolai Dmitrijewitsch KONDRATJEW (1892–1938), ein russischer Wirtschaftswissenschaftler, war einer der ersten Vertreter der zyklischen Konjunkturtheorie. Basisinnovationen und ihre wichtigsten Anwendungsfelder wie die Entwicklung der Dampfmaschine, der Eisenbahn und Stahlindustrie, der Elektrotechnik und Chemie, des Automobils und der Petrochemie bis hin zur Informationstechnik haben die ersten fünf Kondratjew-Zyklen angetrieben und jeweils fast 50 Jahre getragen.

Leo A. NEFIODOW (*1939), ein deutscher Wirtschaftstheoretiker, sieht den Gesundheitsbereich als den neuen Megamarkt des 21. Jahrhunderts und 6. Kondratjew-Zyklus, der auf den Basisinnovationen „psychosoziale Gesundheit“, Biotechnologie und Umwelttechnologien beruhen soll. Er sieht insbesondere in der Verbesserung der psychosozialen Gesundheit erhebliche Produktivitätsreserven für Wirtschaft und Gesellschaft. Die psychische Gesundheit erweise sich gerade in der Informationsgesellschaft als eine unabdingbare Voraussetzung für eine produktive Nutzung von Informationen. Jeder, den sein Computer schon an den Rand des Irrsinns getrieben hat, wird das nachvollziehen können.

Ich sehe die Verbesserung der individuellen Ernährungssituation als konkreten Teil dieser psychosozialen Gesundheit.

Verlassen wir unsere Länder und wenden uns den Schwellenländern zu, also Ländern, die auf dem Weg vom Entwicklungsland zum Industrieland schon ein gutes Stück zurückgelegt haben. In Schwellenländern gibt es für einen großen Bevölkerungsanteil genug Einkommen, um sich mit den wichtigsten Primärprodukten, den Nahrungsmitteln, versorgen zu können. Hier könnte man erwarten, eine ausgeglichene Ernährungssituation vorzufinden: genug Geld, um sich satt zu essen, aber noch nicht so viel, um sich zu überessen. Jedoch weit gefehlt. Was dort passiert, gleicht dem, was in unseren Breiten nach dem Zweiten Weltkrieg als „Fresswelle“ titulierte wurde. Das lange Darben verlangt zwar geradezu vom Körper, dass

er sein Primärbedürfnis der Nahrungsaufnahme endlich ausreichend bedient. Das überbordende Bedürfnis nach Nahrung wird aber nicht vom Magen und Verdauungstrakt getrieben, hier kommt es relativ schnell zu einer Einregulierung. Das Problem liegt in den Köpfen, die nicht mit dem Angebot umzugehen wissen. Offensichtlich auch nicht mit den Folgen. Oder was sind Sprüche wie „Dick ist chic“ oder „Schönheit braucht Platz“ anderes als Ausdruck trotziger Hilflosigkeit.

Jetzt sind wir mitten auf dem Weg von der globalen zur individuellen Ernährungssituation und vordringlich zu Fragen nach den Folgen der individuellen Über- und Fehlernährung. Hier bestätigt sich die sprichwörtliche Weisheit „Zwischen Essen und Ernähren können Welten liegen“ in besonderer Weise. Ja, es liegen Welten dazwischen, tatsächliche global und fiktive individuell. Pointiert brachte es der polnische Aphoristiker Andrzej MAJEWSKI (†1966) auf den Punkt: „Gutes Essen tötet mehr Menschen als der Hunger.“

Wir leben in einer Zeit, in der der Anteil der Menschen, die übergewichtig bis fettleibig sind, genauso groß ist wie der Anteil derjenigen, die an Hunger leiden, jeweils fast eine Milliarde. Wir leben also in einer Welt, die parallel verhungert und verfettet!

Im Gegensatz zur globalen ist die individuelle Ernährungssituation unserer direkten persönlichen Einflussnahme prinzipiell zugänglich – ohne dass dies aber zu einer wirklich günstigeren Prognose Anlass geben würde. Heutzutage ist für viele Menschen in Industrieländern ausreichende Bewegung und körperliche Arbeit kein vorrangiges Kennzeichen ihrer Lebenssituation mehr. Sport und Bewegung werden allenthalben empfohlen. Leider auch mit der Folge, dass sich beim Sport mehr Menschen verletzen als bei der Arbeit. China scheint uns da sogar noch voraus. Dort wird allen Ernstes als ungefährliche Alternative zum Abspecken Wiener-Walzer-Tanzen empfohlen. In unseren Breiten versucht man z. B. mit *Slow-Food*-Aktionen ein Gegengewicht zum *Fast Food* und den damit in Zusammenhang stehenden Fehlentwicklungen aufzubauen.

Der ohnehin schwierige Umgang mit dem freien Zugang zum überreichlichen Angebot an Lebensmitteln wird erschwert durch Entwicklungen der Nahrungsmittelindustrie mit *Convenience*-, *Fast-Food*- und Genuss-Produkten. Fettleibigkeit und Übergewicht sind kein ästhetisches Problem! Sie führen vielmehr über das „metabolische Syndrom“ zu den bekannten Folgen der Überernährung wie Herz-Kreislaufkrankungen, Diabetes Typ II und Stoffwechselstörungen. Diese Zusammenhänge treten, wie schon angedeutet, nicht mehr ausschließlich in den Populationen der Industrieländer auf, sondern zeigen sich in sehr ähnlicher Form und zunehmender Ausprägung auch in Schwellenländern wie China, Ägypten oder Mexiko. Apropos Mexiko, nur eine kleine Randbemerkung. Der dickste Mensch der Welt lebt nicht, wie vermutet, in den USA, sondern war ein Mexikaner mit 560 kg. Nachdem dieser zwangsbedingt 200 kg abgenommen hat, ist nun sein mexikanischer Kollege mit 500 kg der Schwerste.

Früher hieß es nicht unzutreffend: Alt ist, wer der Erlösung näher ist als der Versuchung. Heute macht uns das der Versuchung nachgeben krank und alt, ohne uns der Erlösung näher zu bringen.

Die Idee zu dieser Veranstaltung entstand Anfang Juli dieses Jahres auf meiner Reise nach Halle zum Festakt der Leopoldina anlässlich ihrer Ernennung zur Nationalen Akademie. Lange eintönige Reisen machen den Kopf frei und lassen Gedanken schweifen – sogar bis hin zur Sektion für Agrar- und Ernährungswissenschaften. Ich selbst bin nun, wie Sie meiner Einleitung sicherlich schon entnommen haben, wahrlich kein Ernährungsexperte – eher ein eingeschränkt geeignetes Studienobjekt. Aber ich habe das Glück, dass ich höchst renommierte Referentinnen und Referenten mit hochrangiger Expertise in Sachen Ernährung aus

den Akademien und ihrem Umfeld nach Wien einladen konnte. Ich danke Ihnen allen sehr herzlich, dass Sie sich die Zeit genommen haben und zu uns gekommen sind. Ich hoffe, Sie fühlen sich wohl hier und behalten diese beiden Tage in guter Erinnerung. Und ich wünsche, es möge gelingen, einen breiten Erfahrungs- und Informationsaustausch zu erreichen, so dass am Ende alle bereichert heimkehren.

Dazu beitragen soll unser gemeinsamer Heuriger heute Abend. Wir werden ihn verbringen im Melker Stiftskeller in der Schottengasse. Sie müssen in den Hinterhof gehen und 43 Stufen hinabsteigen. Dann befinden sie sich in historischen Gemäuern, wo seiner Zeit schon die Verteidiger Wiens gegen die Türken sich Kraft und Mut angetrunken haben. Vielleicht haben die Krieger dabei auch beherzigt, dass Römischen Legionären der Konsum von Wein ausdrücklich vorgeschrieben war, da dieser wegen des Alkoholgehaltes weniger Keime als Wasser enthielt. Das bayerische Reinheitsgebot, das älteste aktive Lebensmittelgesetz der Welt, darf hier natürlich nicht fehlen und das dazugehörige Getränk auch nicht. Im Melker Stiftskeller herrscht Liberalitas, es wird auch Bier ausgeschenkt.

Es ist mir eine ehrenvolle Pflicht, mich bei den Sponsoren unseres Symposiums zu bedanken. Insbesondere Herrn Ulrich HERZOG vom Bundesministerium Gesundheit, Familie und Jugend danke ich sehr herzlich dafür, dass uns aus seinem Hause finanziell wohlwollende Unterstützung gewährt wird.

Ich verneige mich vor der Leopoldina und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften für ihre Zustimmung zur Durchführung dieses Symposiums und bedanke mich bei allen, die uns bei der Vorbereitung und Durchführung unseres Symposiums tatkräftig unterstützt haben. Das gilt an erster Stelle für Herrn Christian GRUBER und seine Mitarbeiterinnen. Im Zweifelsfall ist Herr GRUBER für alles Administrative verantwortlich – und an allem schuld.

Unserer Universität, ihrer Leitung und dem Personal danke ich für die Bereitstellung der Räumlichkeiten und die Hilfe bei der technischen Durchführung. Ihnen allen danke ich, dass Sie gekommen sind und unserer Thematik die Ehre Ihrer Aufmerksamkeit schenken.

Ich komme zurück zum Thema der Veranstaltung und schließe mit den eindringlichen Worten von Phil BOSMANS, (*1922), einem belgischen Ordenspriester, der oft als der „moderne Franziskus“ betitelt wird. Er sagt: „Jeder weiß es: Millionen von Menschen leiden an Hunger. Sie können nicht arbeiten, weil sie nichts zu essen haben. Sie werden krank, weil sie nichts zu essen haben. Sie sterben jung, weil sie nichts zu essen haben. Was machen wir, wir Menschen mit wohlgedecktem Tisch, vollem Büfett und einem weichen Bett? Haben wir uns mit dem größten Skandal des zwanzigsten Jahrhunderts abgefunden? Bewegt uns das Mitleid? Reden wir darüber? Schieben wir die Schuld auf andere? Erschrecken hilft nicht. Mitleid hilft nicht. Darüber reden hilft nicht. Schuld abschieben ist Flucht. **Wir müssen teilen!**“

Vielen Dank!

Prof. Dr. Gottfried BREM
Veterinärmedizinische Universität Wien
Institut für Tierzucht und Genetik
Veterinärplatz 1
A-1210 Wien
Österreich
Tel.: +43 1 250775600
Fax: +43 1 250775692
E-Mail: gottfried.brem@vu-wien.ac.at

Individuelle Ernährungssituation

Hunger und seine Folgen

Klaus EDER ML und Robert RINGSEIS (Gießen)

Mit 5 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung

Während die Ernährungssituation in den Industrieländern durch einen Überfluss an Nahrung und eine energetische Unterversorgung gekennzeichnet ist, liegt das Nahrungsangebot in vielen Entwicklungsländern deutlich unter dem Bedarf der Bevölkerung. Folglich sind weltweit immer noch etwa 800 Millionen Menschen unterernährt. Mehr als zwei Milliarden Menschen weltweit leiden unter einem Mangel an Mikronährstoffen, besonders Eisen, Iod und Vitamin A. Die wichtigsten Erscheinungsformen der Protein-Energie-Mangelernährung in den Entwicklungsländern sind der Marasmus, der Kwashiorkor und die Mischform aus beiden, der marasmische Kwashiorkor, die besonders häufig bei Kindern in den ersten Lebensjahren auftreten. Auch in den Industrieländern kommt Mangelernährung vor, insbesondere als Folge von Krankheiten (krankheitsassoziierte Mangelernährung), bei hochbetagten Menschen oder bei Personen mit psychisch bedingten Essstörungen wie der Anorexia nervosa. Bei alten Menschen beispielsweise führt Mangelernährung nicht nur zu einem Verlust an Körperfett und Körperprotein, sondern auch zu unspezifischen Symptomen wie schlechtem Allgemeinzustand, Müdigkeit, Antriebslosigkeit, verminderter Lebensqualität, erhöhtem Krankheitsrisiko, verlangsamerer Rekonvaleszenz und erhöhtem Komplikationsrisiko bei Krankheiten. Bei fehlender Nahrungszufuhr schaltet der Organismus in den Hungerstoffwechsel um, der das Ziel verfolgt, vor allem den Proteinabbau zu reduzieren, um ein möglichst langes Überleben trotz fehlender Nahrungszufuhr zu ermöglichen. Diese Veränderungen werden im vorliegenden Artikel beschrieben.

Abstract

In industrialized countries, the nutritional situation of the population is characterized by a plentiful supply of food. In contrast, in developing countries the amount of food available is below the requirement of the population. Accordingly, more than 800 millions of people worldwide suffer from insufficient nutrition and even more than 2 billions of people suffer from a deficiency of micronutrients, particularly iron, iodine and vitamin A. The quantitatively most important manifestations of malnutrition in developing countries are marasmus, kwashiorkor and the combined form of both, marasmic kwashiorkor. These manifestations of malnutrition occur predominantly in children within the first three years of live. In industrialized countries, malnutrition is occurring, too, particularly as a consequence of diseases (the so-called disease-associated malnutrition), in geriatric persons or in persons suffering from psychogenic eating disorders such as anorexia nervosa. In geriatric persons, malnutrition does not only lead to a loss of body fat and protein but also to unspecific symptoms such as bad general condition, fatigue, lethargy, reduced quality of life, increased risk for diseases, slowed convalescence and an increased risk of complications during diseases. During fasting, there are important metabolic adaptations which have the aim to reduce the loss of body protein to ensure survival over a long period without food intake. These metabolic adaptations are discussed in this review.

1. Einleitung

Infolge der Steigerung der Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion in den letzten Jahrzehnten würde das vorhandene Nahrungsangebot theoretisch ausreichen, um allen Menschen

weltweit genügend Nahrungsenergie zur Verfügung zu stellen. Aufgrund weltweiter Struktur- und Verteilungsprobleme unterscheidet sich die Ernährungssituation zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern aber immer noch erheblich. In den Industrieländern ist die Ernährungssituation durch einen Überfluss an Nahrung und eine energetische Überversorgung der Menschen gekennzeichnet. In den meisten Ländern Europas, den Vereinigten Staaten von Amerika und Australien liegt die verfügbare Kalorienmenge mindestens 50 % über dem Kalorienbedarf der Bevölkerung. Die Probleme, die daraus resultieren, sind eine fortlaufende Zunahme der Prävalenz von Übergewicht und dessen Folgeerkrankungen wie Diabetes, Bluthochdruck, Hyperlipidämie etc. Im Unterschied dazu liegt die verfügbare Kalorienmenge in vielen Ländern Afrikas und einigen Ländern in Südamerika und Asien deutlich unter dem Kalorienbedarf der Bevölkerung. Folglich sind weltweit immer noch etwa 800 Millionen Menschen, die überwiegend in den Entwicklungsländern leben, chronisch unterernährt. Mehr als zwei Milliarden Menschen weisen ein Defizit in der Versorgung mit Mikronährstoffen auf. Am häufigsten ist eine Unterversorgung mit Eisen, die zu einer Eisenmangelanämie führt und bei etwa 1,5–2 Milliarden Menschen weltweit vorliegt. Mehr als eine Milliarde Menschen weltweit leiden unter den Folgen von Jodmangel; etwa 900 Millionen Menschen sind nicht ausreichend mit Vitamin A versorgt (FAO 1996).

Hinsichtlich einer unzureichenden Versorgung mit Nahrungsenergie müssen die Begriffe „Hunger“ und „Mangelernährung“ unterschieden werden. Der Ausdruck „Hunger“ im wissenschaftlichen Sinne beschreibt das gänzliche Fehlen einer Nahrungszufuhr. Fehlende Nahrungszufuhr über einen längeren Zeitraum führt zum Übergang des Organismus in den Hungerstoffwechsel, der das Ziel verfolgt, Energiespeicher des Körpers möglichst effektiv zu verwerten, so dass ein möglichst langes Überleben ohne Nahrungszufuhr möglich ist. Der Ausdruck „Mangelernährung“ (*Malnutrition*) beschreibt im Unterschied dazu eine unzureichende Zufuhr an bestimmten Nährstoffen, die in der Regel zum Auftreten mehr oder weniger spezifischer Mangelsymptome führt. Beispiele hierfür sind die kombinierte Energie-Protein-Mangelernährung oder die Protein-Mangelernährung bei Kindern in den Entwicklungsländern, aber auch Mangelernährung bei geriatrischen Patienten oder bei Personen, die unter Anorexia nervosa leiden. Mangelernährung kann aber auch die Folge von Malabsorption oder Maldigestion sein (z. B. bei Patienten mit Morbus Crohn, Colitis ulcerosa, Zöliakie oder Pankreasinsuffizienz) oder durch verschiedene chronische Erkrankungen (z. B. Tumorerkrankungen) bedingt sein. Letztere Form der Mangelernährung wird aufgrund der kausalen Rolle einer Krankheit in der Entstehung als krankheitsassoziierte Mangelernährung bezeichnet, deren Prävalenz in deutschen Krankenhäusern im Durchschnitt bei ca. 30 % liegt (PIRLICH et al. 2006, ROSENBAUM et al. 2007).

Bei unzureichender Zufuhr an Energie kommt es zum Einschmelzen der Energiereserven des Körpers. Ein normalgewichtiger Mann mit einer Körpermasse von 70 kg verfügt über etwa 165 000 kcal an Energiereserven; der Großteil davon (140 000 kcal) ist im Fettgewebe lokalisiert. Durch den Abbau von Protein können zusätzlich etwa 24 000 kcal an Energie mobilisiert werden. Reserven an Kohlenhydraten in Form von Glykogen in Leber und Muskulatur sowie der freien Glukose im Blut spielen quantitativ mit einem Energiegehalt von unter 1000 kcal eine sehr untergeordnete Rolle. Bei starkem Übergewicht sind die verfügbaren Energiereserven, vor allem durch stark erhöhte Fettgewebsmasse, dramatisch erhöht. Bei einem Mann mit einer Körpermasse von 150 kg sind beispielsweise etwa 750 000 kcal an Energie aus dem Fettgewebe mobilisierbar (CAHILL et al. 1968). Der Speicher an Protein ist im Zustand des Übergewichts hingegen nur mäßig erhöht. Die Reserven an Protein stellen

im Hungerzustand die für das Überleben limitierende Größe dar. Werden mehr als 40 % des vorhandenen Proteins abgebaut, so tritt in der Regel der Tod durch Organversagen ein. Die hormonellen und metabolischen Veränderungen im Fastenzustand verfolgen daher das Ziel, den Proteinabbau zu reduzieren (BARTH et al. 2004, KELLER et al. 2006).

2. Metabolische Anpassungen im Hungerstoffwechsel

Während einer längeren Hungerperiode werden verschiedene metabolische Phasen durchlaufen, nämlich die postresorptive Phase (bis zu 24 h nach der letzten Nahrungsaufnahme), die frühe Hungerphase (2.–4. Tag nach der letzten Nahrungsaufnahme) und die prolongierte oder späte Hungerphase (ab dem 4. Tag nach der letzten Nahrungsaufnahme). In den ersten 24 h nach der letzten Nahrungsaufnahme ist die Energieversorgung durch einen Abbau von Glykogen aus Muskel und Leber und eine Mobilisierung von Fettsäuren aus dem Fettgewebe gekennzeichnet. Stimuliert werden diese Prozesse durch eine gesteigerte Freisetzung der Hormone Glucagon und Adrenalin und durch eine gleichzeitig gehemmte Freisetzung an Insulin. Glucagon und Adrenalin aktivieren durch eine Phosphorylierung die Glykogenphosphorylase. In der Leber wird aus Glykogen direkt Glukose freigesetzt, die zum einen der Stabilisierung des Blutzuckerspiegels dient. Zum anderen dient sie der Versorgung bestimmter Gewebe bzw. Zellen (zentrales Nervensystem, Leukozyten, Erythrozyten, Tubulusepithelzellen der Niere), die obligat auf Glukose zur Energiegewinnung angewiesen sind. Bei der Spaltung des Glykogens in der Muskulatur entsteht infolge des Fehlens des Enzyms Glukose-6-Phosphatase keine Glukose, sondern Glukose-6-Phosphat, das im jeweiligen Muskel zur Energieversorgung, nicht aber zur Stabilisierung des Blutzuckerspiegels zur Verfügung steht. Unter dem Einfluss des Adrenalins kommt es zu einer Aktivierung der Hormon-sensitiven Lipase und zum Abdissoziieren des Perilipins im Fettgewebe. Dadurch wird die Hydrolyse der Triglyzeride im Fettgewebe stimuliert. Fettsäuren, die aus dem Fettgewebe freigesetzt werden, gelangen – gebunden an Albumine – an Zielzellen wie etwa Leber oder Muskel, in die sie über verschiedene Fettsäuretransporter aufgenommen und für die Energiegewinnung mittels β -Oxidation verwendet werden.

24 h nach der letzten Nahrungsaufnahme sind die Glykogenreserven weitgehend aufgebraucht. Zur Sicherung der Bereitstellung von Glukose schaltet der Stoffwechsel deshalb auf gesteigerte Glukoneogenese um. Als Substrate der Glukoneogenese in der frühen Hungerphase dienen in erster Linie Aminosäuren (ca. 50 g pro Tag), Glyzerol (ca. 40 g pro Tag) und Laktat (ca. 20 g pro Tag). Damit ausreichende Mengen an glukoplastischen Aminosäuren (Alanin, Glutamin) für die Glukoneogenese zur Verfügung stehen, ist ein Proteinabbau von etwa 75 g täglich erforderlich (MARLISS et al. 1970). Dieser Proteinabbau entspricht einem Abbau von 300 g Muskelmasse. Die Freisetzung von Aminosäuren im Muskel wird vor allem durch das Ubiquitin-Proteasom-System katalysiert. Die Ubiquitinierung von Muskelproteinen, als Voraussetzung der Hydrolyse der Proteine, wird vor allem durch das Hormon Cortisol stimuliert (CLARKE et al. 2007). Gleichzeitig setzt unter dem Einfluss einer starken Anflutung von Fettsäuren, die aus dem Fettgewebe stammen, in der Leber die Bildung von Ketonkörpern (Ketogenese) ein.

Nach einer Fastenperiode von mehr als vier Tagen sind Fettsäuren die hauptsächlichen Energielieferanten für Muskulatur und Nieren. Das Gehirn adaptiert sich zunehmend an die in der Leber gebildeten Ketonkörper. Zusätzlich wird etwa ein Drittel der vom Gehirn aufge-

nommenen Glukose nur bis zur Stufe des Laktats abgebaut, das in Leber und Niere wieder für die Glukoneogenese verwendet und dem Organismus dann als Glukose wieder zur Verfügung gestellt werden kann. Der Glukosebedarf des Gehirns sinkt daher von ca. 145 g pro Tag auf lediglich 35 g pro Tag. Dadurch wird auch die Glukoneogenese aus Aminosäuren stark reduziert. Hauptsubstrate für die Glukoneogenese sind in dieser Phase Laktat und Glyzerol. Die Menge an glukoplastischen Aminosäuren für die Glukoneogenese beträgt in dieser Phase nur noch 16 g pro Tag; dadurch reduziert sich der tägliche Proteinabbau auf 20 g pro Tag und der Abbau an Muskulatur auf etwa 65 g pro Tag (CAHILL 1970). Gleichzeitig sinkt der Grundumsatz um etwa 20%. Abbildung 1 fasst die Veränderungen im Interorgansubstratfluss während einer länger andauernden Fastenperiode zusammen.

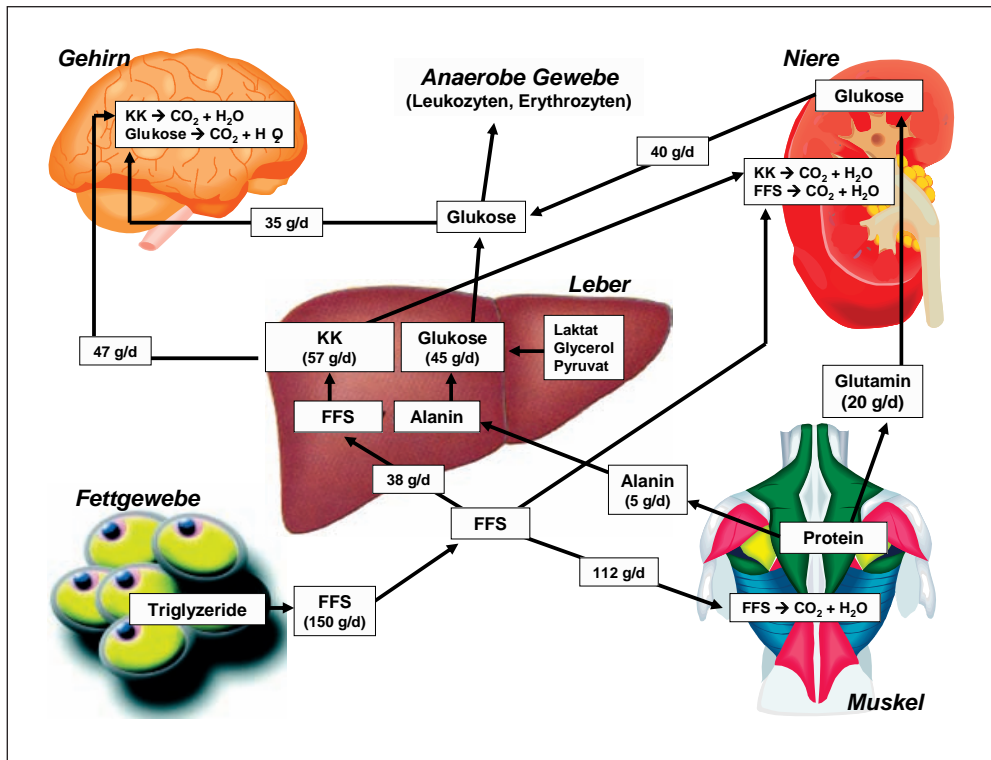


Abb. 1 Substratfluss zwischen den Organen nach 5-wöchigem Fasten (nach CAHILL et al. 1968)

Mit diesen Stoffwechselveränderungen ist eine langfristige, adäquate Energieversorgung der zum Überleben entscheidenden Organe bei gleichzeitiger Schonung des Körpereiwisses gesichert. Mit zunehmendem Verlust an Körperprotein kommt es neben einem Verlust an Muskelmasse aber auch zu einer Verschlechterung der Immunantwort, zu verminderten Konzentrationen an viszerale Proteinen (vor allem Albumin), zu einer gestörten Wundheilung, zu einer Beeinträchtigung der Organfunktion und schließlich zum Tod durch Infektionskrankheiten oder Organversagen. Bei normalgewichtigen, gesunden Erwachsenen tritt der Tod bei

totalem Fasten innerhalb von 2 Monaten auf (KEYS et al. 1950, ELIA 1993). Kommt eine Krankheit komplizierend hinzu, verkürzt sich die Lebenserwartung deutlich.

Der Peroxisomenproliferator-aktivierte Rezeptor α (PPAR α) als Vermittler der Wirkungen des Fastens auf den Stoffwechsel

Peroxisomenproliferator-aktivierte Rezeptoren (PPAR) sind intrazelluläre Rezeptoren, die nach Bindung eines Liganden die Gentranskription aktivieren (ISSEMANN und GREEN 1990). Nach erfolgter Aktivierung gelangen sie in den Zellkern und binden dort an spezifische DNA-Sequenzen, die als Peroxisomenproliferator-Response Elements (PPRE) bezeichnet werden, und stimulieren so die Transkription bestimmter Gene. Der PPAR bindet nur als Heterodimer mit dem Rezeptor für 9-cis-Retinsäure (RXR, Retinoid-X-Rezeptor). Es sind drei Subtypen dieses Rezeptors bekannt: PPAR α , PPAR γ und PPAR δ/β . Der PPAR α wird vor allem in Geweben stark exprimiert, in denen die Fettsäureoxidation besonders ausgeprägt ist. Dazu zählt in erster Linie die Leber, aber auch das braune Fettgewebe, die Niere, das Herz und die Skelettmuskulatur. Der PPAR α wird sowohl durch endogene als auch durch synthetische Liganden aktiviert. Zu den endogenen Liganden zählen insbesondere mehrfach ungesättigte Fettsäuren und deren Derivate, die Eicosanoide. Zu den synthetischen Liganden des PPAR α zählt insbesondere die Klasse der Fibrate (Clofibrat, Fenofibrat, Bezafibrat und Gemfibrozil), die seit mehr als 40 Jahre in der Therapie der Hypertriglyceridämie eingesetzt werden (HIH et al. 2002).

Die wichtigste physiologische Bedeutung des PPAR α besteht darin, dass er die Stoffwechselanpassungen im Fastenzustand vermittelt. Während des Fastens werden Fettsäuren aus dem Fettgewebe freigesetzt, die über das Blut an Zielzellen gelangen, über Fettsäuretransporter in die Zellen aufgenommen werden, an den PPAR α binden und diesen aktivieren. PPAR α stimuliert u. a. die Expression von Genen, die für Enzyme der β -Oxidation, der Glukoneogenese und der Ketogenese kodieren. Abbildung 2 illustriert die stimulierende Wirkung des PPAR α auf Gene des Fettsäurenabbaus, der Glukoneogenese und der Ketogenese. Die essentielle Bedeutung des PPAR α während des Fastens zeigt sich sehr eindeutig bei PPAR α -Knockout-Mäusen, die über keinen funktionellen PPAR α verfügen. Diese Mäuse sind während des Fastens nicht in der Lage, die physiologischen Stoffwechselanpassungen vorzunehmen. Bei ihnen entwickelt sich während des Fastens infolge einer unterdrückten β -Oxidation eine Fettleber, infolge der gehemmten Glukoneogenese eine Hypoglykämie. Aufgrund der ausbleibenden Stimulierung der Ketogenese, bleiben die Konzentrationen der Ketonkörper im Plasma bei diesen Mäusen während des Fastens niedrig (KERSTEN et al. 1999). Die gestörte Anpassung des Stoffwechsels im Fastenzustand von PPAR α -Knockout-Mäusen ist in Abbildung 3 dargestellt.

Kürzlich wurde ein neues Protein entdeckt, das ebenfalls eine maßgebliche Rolle für die Stoffwechselanpassungen im Fasten spielen dürfte, der *Fibroblast growth factor* (FGF)-21. FGF-21 wird in der Leber gebildet und ist ein Zielgen des PPAR α . Vermittelt über eine Aktivierung des PPAR α , sind Expression von FGF-21 in der Leber und seine Konzentrationen im Plasma während des Fastens erhöht. Eine Überexpression von FGF-21 stimuliert die Lipolyse im Fettgewebe und die Bildung von Ketonkörpern in der Leber (INAGAKI et al. 2007). Bei einem *Knockdown* des FGF-21 sind Konzentrationen der Ketonkörper während des Fastens deutlich vermindert. Ähnlich wie bei PPAR α -Knockout-Mäusen entwickelt sich auch bei Mäusen mit *Knockout* des FGF-21-Gens eine Fettleber. FGF-21 scheint also eben-

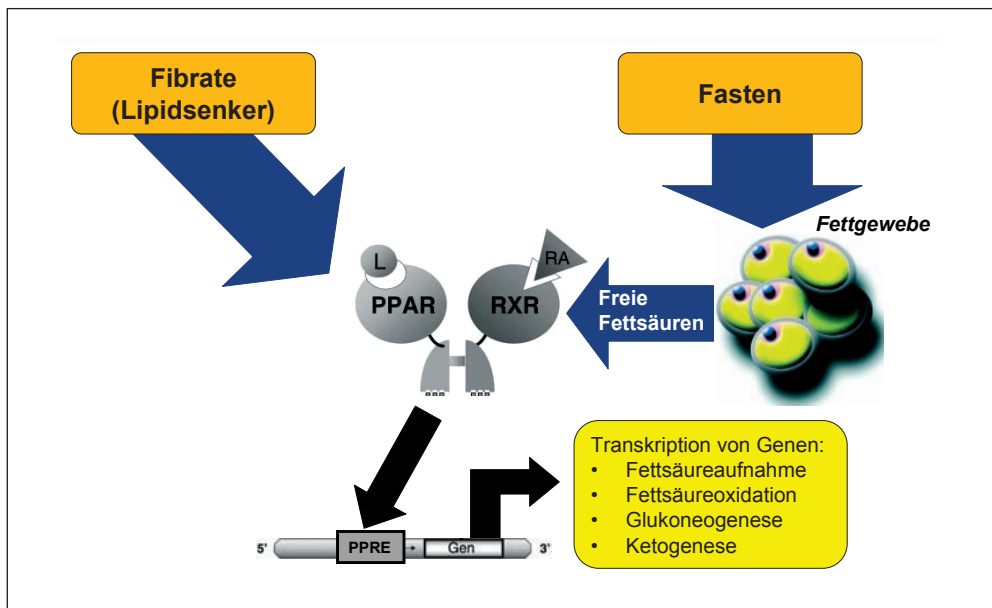


Abb. 2 Rolle des Peroxisomenproliferator-aktivierten Rezeptors α (PPAR α) in der Anpassung des Stoffwechsels während des Fastens

falls essentiell für die Stoffwechselanpassung im Hungerzustand zu sein (REITMAN 2007). In Abbildung 4 ist die Wirkung einer PPAR α -Aktivierung auf die Expression des FGF-21 in der Leber sowie die Wirkung einer FGF-21-Überexpression auf die Ketogenese in der Leber und die Lipolyse im Fettgewebe von Mäusen dargestellt.

3. Protein-Energie-Mangelernährung

Unter dem Ausdruck „Protein-Energie-Mangelernährung“ werden in der Regel verschiedene Formen der Mangelernährung zusammengefasst, bei denen eine Unterversorgung mit Energie und Protein im Vordergrund steht. Bei einer Unterversorgung an Energie und Protein liegt meist aber gleichzeitig noch ein Mangel an Vitaminen und Mineralstoffen vor, der für die Wachstumsverzögerung und die meist vorhandene erhöhte Infektanfälligkeit mit verantwortlich ist (SCHERBAUM und FÜRST 2004).

Die wichtigsten klinischen Ausprägungen der Protein-Energie-Mangelernährung sind der Marasmus, der Kwashiorkor sowie die kombinierte Form beider Krankheitsbilder, der marasmische Kwashiorkor (Abb. 5). Alle drei Formen kommen häufig in den Entwicklungsländern vor.

Marasmus tritt besonders oft bei Säuglingen und Kleinkindern auf. Er ist gekennzeichnet durch eine starke Muskeldystrophie, Verlust des subkutanen Fettgewebes, verringertes Wachstum und stark vermindertes Körpergewicht. Das Körpergewicht in Relation zum Alter liegt unter 60% der Referenzwerte. Das Gesicht ist bei Kindern mit Marasmus meist greisenhaft eingefallen; Körpertemperatur, Blutdruck und Herzfrequenz sind in der Mehrzahl der

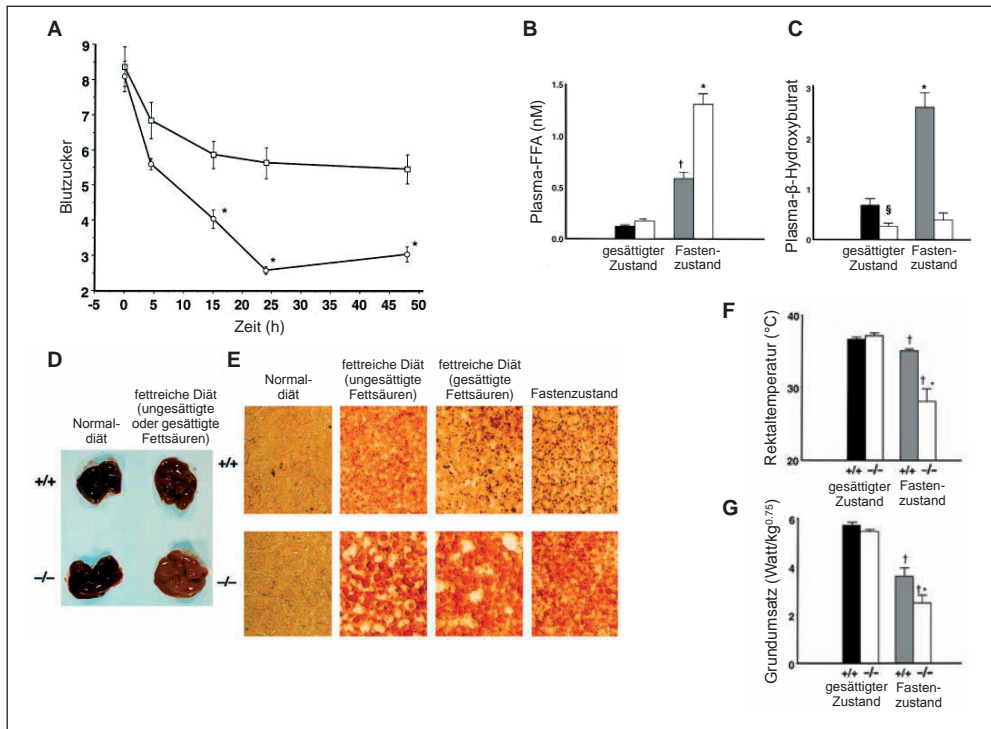


Abb. 3 Störungen der Stoffwechsellanpassungen im Fastenzustand bei PPAR α -Knockout-Mäusen. Das Bild oben links zeigt (A) die Hypoglykämie, die bei PPAR α -Knockout-Mäusen nach Entzug des Futters auftritt. Das Bild oben rechts zeigt, dass bei PPAR α -Knockout-Mäusen (PPAR α -/-) im Fastenzustand die Konzentrationen der freien Fettsäuren im Plasma infolge einer gehemmten Aufnahme in die Gewebe erhöht sind (B), die Bildung von Ketonkörpern hingegen vermindert ist (C). Das Bild unten links zeigt, dass bei PPAR α -Knockout-Mäusen (-/-) nach Fütterung einer fettreichen Diät, mit ungesättigten oder gesättigten Fetten, sowie während des Fastens eine Fettleber auftritt (D-E). Das Bild unten rechts zeigt, dass bei PPAR α -Knockout-Mäusen (-/-) im Fastenzustand die rektale Temperatur (F) und der Grundumsatz (G) stärker abfallen als bei Wildtyp-Mäusen (+/+). (Nach KERSTEN et al. 1999)

Fälle erniedrigt. Kinder mit Marasmus weisen aber meist noch Appetit auf. Akute Gastroenteritis, Dehydratation, Atemwegserkrankungen, Tuberkulose und AIDS sind die bedeutsamsten Komplikationen, die bei Kindern mit Marasmus auftreten (SCHERBAUM und FÜRST 2004).

Im Unterschied zum Marasmus ist Kwashiorkor durch das Auftreten von starken Ödemen gekennzeichnet (siehe Abb. 5), die besonders an Füßen, Beinen und Händen auftreten, sich in schweren Fällen aber auch auf Gesicht und Bauchraum ausbreiten. In Folge der starken Wassereinlagerung im Körper ist das Körpergewicht höher als beim Marasmus; das Körpergewicht in Relation zum Alter liegt in der Regel über 60 % des Referenzwertes. Kwashiorkor tritt meist dann auf, wenn protein- und energiearme Ernährung gekoppelt sind mit Krankheiten, die zu einem ausgeprägten Hyperkatabolismus bzw. Stoffsstoffwechsel führen, in deren Folge es zu einem bevorzugten Abbau von Protein kommt. Je schwerer die Erkrankung, z. B. Sepsis, Traumata oder Verbrennungen, desto schneller und schwerer ist der klinische Verlauf. Als Folge des starken Proteinmangels kommt es zu einer Hypoalbuminämie und einem damit verbundenen verminderten onkotischen Druck. Kwashiorkor tritt im Vergleich zu Ma-

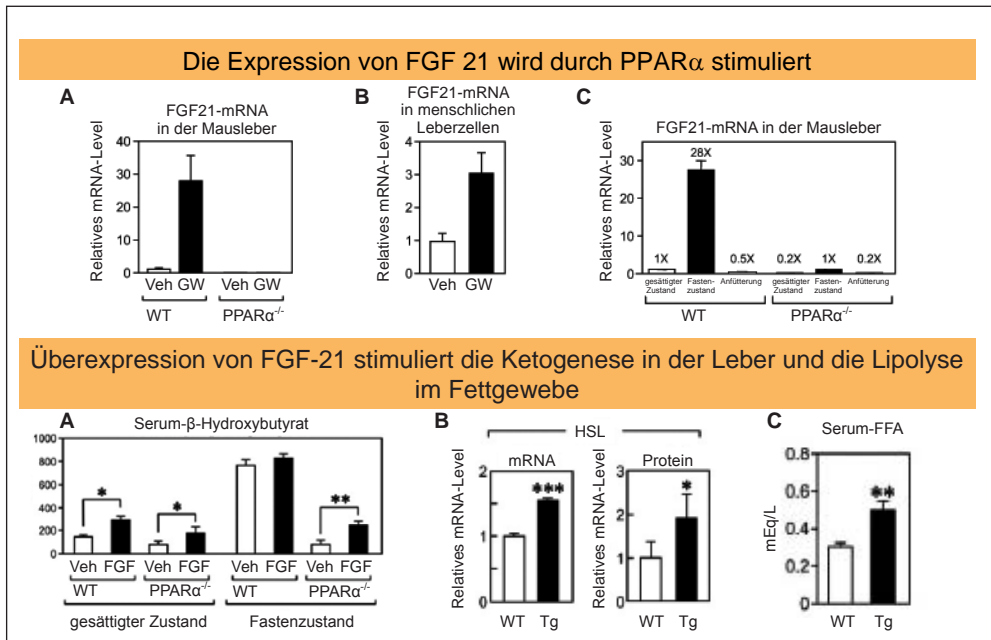


Abb. 4 Ergebnisse experimenteller Untersuchungen, die belegen, dass die Expression von FGF-21 durch den PPAR α reguliert wird und Ketogenese in Leber und Lipolyse im Fettgewebe durch FGF-21 stimuliert werden. (Nach INAGAKI et al. 2007)

rasmus etwas später auf, meist im Alter zwischen 12 und 36 Monaten. Neben Ödemen ist das Krankheitsbild beim Kwashiorkor auch durch Muskelschwund, verminderte Körpergröße, Haut- und Haarveränderungen, Anämie, Lebervergrößerung, Durchfälle, Apathie, Anorexie und schlechten Allgemeinzustand gekennzeichnet. Kinder mit Kwashiorkor sind meist apathisch und appetitlos. Sie rühren angebotene Nahrung oft nicht mehr an und nehmen ihre Umwelt nicht mehr aktiv wahr. Anämien, Durchfall-, Atemwegs- und Wurmerkrankungen, Tuberkulose und AIDS sind die wichtigsten Begleiterkrankungen. Die Mortalität ist bei Kindern mit Kwashiorkor sehr hoch (SCHERBAUM und FÜRST 2004). Die klinische Abgrenzung von Kwashiorkor im Vergleich zu Marasmus ist in Tabelle 1 dargestellt.

Der marasmische Kwashiorkor, als kombinierte Form von Marasmus und Kwashiorkor, vereint die Symptome der beiden Mangelernährungsformen. Das Mortalitätsrisiko ist bei dieser Form der Mangelernährung besonders hoch.

4. Mangelernährung bei Hochbetagten

Mangelernährung ist keinesfalls auf die Entwicklungsländer beschränkt. Auch in den Industrieländern ist Mangelernährung sehr häufig. Insbesondere hochbetagte Menschen weisen häufig Mangelernährung auf. ADIL et al. (1994) haben festgestellt, dass vor allem alte Menschen, die in Institutionen untergebracht sind, besonders häufig unter Mangelernährung leiden. Die Auswertung von insgesamt 18 Studien ergab, dass 83 % der älteren Menschen, die



Abb. 5 Phänotypische Ausprägungen von Marasmus (A) und Kwashiorkor (B)

Tab. 1 Klinische Abgrenzung schwerer Formen der Protein-Energie-Mangelernährung (nach SCHERBAUM und FÜRST 2004)

Merkmale	Marasmus	Kwashiorkor
Gefährdetes Alter	0–18 Monate	12–36 Monate
Ödeme	keine	stark ausgeprägt
Appetit	meist gut	kaum vorhanden
Körperliche Aktivität	gering	keine
Anämie	selten	häufig
Leber	kaum verändert	vergrößert, Fettinfiltration
Psychische Veränderungen	unauffällig	apathisch
Gesichtsausdruck	eingefallen	rundlich
Hautveränderungen	selten	häufig
Infektionserkrankungen	häufig	sehr häufig
Laborwerte		
Extrazelluläres Wasser	erhöht	stark erhöht
Serumalbumin	erniedrigt	stark erniedrigt
Blutzucker	normal	erniedrigt
Freie Fettsäuren	erhöht	erhöht
Glucocorticoide	erhöht	erhöht
Plasmacortisolspiegel	erhöht	erhöht
Wachstumshormon	variabel	erhöht
Schilddrüsenhormone	verringert	normal
Serum- β -Globuline	erniedrigt	stark erniedrigt

in Institutionen untergebracht sind, unter einem Mangel an mindestens einem, meist sogar mehreren Nährstoffen leiden. Alte Menschen, die zu Hause untergebracht sind, weisen in der Regel einen besseren Nährstoffstatus auf. Unter Ihnen haben bis zu 31 % einen Mangel an mindestens einem Nährstoff. Besonders häufig ist ein Mangel an Energie, Protein, Eisen, Vitamin D und Pyridoxin (siehe Tabelle 2).

Tab. 2 Ernährungsstatus alter Menschen unter häuslichen Bedingungen oder in Altenheimen lebend (nach ADIL et al. 1994)

Nährstoff	Zuhause		In Altenheimen	
	Geringe Zufuhr (%)	Laborchemisch nachweisbares Defizit (%)	Geringe Zufuhr (%)	Laborchemisch nachweisbares Defizit (%)
Energie	29–33	3	5–18	30–66
Eiweiß	2–15	3	0–33	15–60
Calcium	37	–	0–54	2
Eisen	–	4	5–35	10–31
Zink	76	–	21	–
Vitamin A	11	–	5–13	0–18
Vitamin D	72	15	63–77	48
Vitamin C	5	4–24	0–40	0–83
Vitamin B1	8	2–5	7–30	4–23
Vitamin B2	4	2–3	0–34	2
Vitamin B6	85	18	57–100	28–49
Folsäure	77	8–9	37	7–57
Niacin	0	13	0	33
Vitamin B12	31	3–31	–	0–20
Vitamin E	44	4	–	3–40
Biotin	–	1	–	0
Pantothensäure	–	4	–	3

Der altersbedingten Mangelernährung liegt eine Vielzahl von Ursachen zugrunde. Die wichtigste Ursache ist die altersbedingte Anorexie, die durch eine Reihe verschiedener Faktoren begünstigt wird, beispielsweise einem beeinträchtigten Geruchs- und Geschmackssinn. Alte Menschen vertragen aufgrund einer verminderten Funktionsfähigkeit des Magen-Darm-Traktes viele Lebensmittel und Speisen nicht mehr, weil diese zu Sodbrennen, Aufstoßen, Völlegefühl oder Blähungen führen. Hierzu zählen vor allem Hülsenfrüchte, Kohlgewächse, frittierte oder panierte Speisen und stark gewürzte Speisen. Auch Kau- und Schluckbeschwerden, z. B. infolge eines Schlaganfalls, können zu einer verminderten Nahrungsaufnahme beitragen. Ebenso können Medikamente appetithemmend wirken. Auch körperliche Faktoren wie Immobilität, Hypermetabolismus, Demenz oder Kauprobleme bei schlechtem Zahnstatus können ganz erheblich zu Unterernährung im Alter beitragen. Wichtige Ursachen für eine Unterernährung im Alter sind aber auch soziale Faktoren wie Armut, soziale Isolierung, Immobilität, Unselbstständigkeit beim Einkaufen und Zubereiten von Mahlzeiten oder psychosoziale Faktoren wie Vereinsamung, Demenz, Depression oder Alkoholismus (MORLEY et al. 1995). Auch die Hospitalisation stellt bei alten Menschen ein hohes Risiko für Mangelernährung dar. Infolge der Krankheitssituation, der Krankenhausatmosphäre, wechselnden Pflegepersonals,

des ungewohnten Essensangebots, der Hektik und der Geräuschkulisse beim Essen ist der Appetit häufig beeinträchtigt. Auch Essen im Bett, fehlende Bewegung, Depressionen sowie die Einnahme von Medikamenten können zur Appetitlosigkeit im Krankenhaus beitragen.

Mangelernährung im Alter hat gravierende Folgen für den Allgemeinzustand, das Risiko für die Entstehung von Krankheiten (z. B. Infektionskrankheiten) und den Verlauf von Krankheiten. Das klinische Bild mangelernährter Patienten ist anfänglich häufig unspezifisch. Deshalb wird Mangelernährung im Alter in der Anfangsphase oft auch nicht als solche diagnostiziert. Hat die Mangelernährung ein bestimmtes Stadium überschritten, so ist sie in der Regel kaum zu übersehen. Chronischer Energiemangel führt zur Kachexie. Es werden Fettreserven, infolge starker Glukoneogenese, aber auch Muskelmasse verstärkt abgebaut (SEILER und STÄHELIN 2004). Als unspezifische Folgen treten häufig ein schlechter Allgemeinzustand, allgemeine Schwäche, Müdigkeit und Antriebslosigkeit auf. Die Lebensqualität ist dadurch deutlich vermindert. Infolge der Atrophie der Skelettmuskulatur ist die Muskelkraft vermindert, Sturz- und Frakturrisiko sind erhöht. Infolge einer verminderten Immunfunktion ist die Infektanfälligkeit erhöht. Auch die respiratorische Funktion ist beeinträchtigt. Durch den Nährstoffmangel kommt es auch zu neurologischen und kognitiven Störungen. Eine Vielzahl von Erkrankungen und Befindensstörungen wird begünstigt. Der Krankheitsverlauf wird infolge unzureichender Ernährung allgemein negativ beeinflusst. So ist die Wundheilung beeinträchtigt, die Rekonvaleszenz verlangsamt und das Komplikationsrisiko, speziell bei operativen Eingriffen, erhöht (KASPER 2004). Dies erklärt auch, warum der Krankenhausaufenthalt mangelernährter Patienten gegenüber normalernährten Patienten deutlich um 43 % verlängert ist, wie eine Auswertung der *German Hospital Malnutrition Study* ergab (PIRLICH et al. 2006).

5. Anorexia nervosa

Eine weitere Form der Mangelernährung, die in den Industrieländern eine wichtige Rolle spielt, ist die Anorexia nervosa (Pubertätsmagersucht). Sie ist eine psychogene Essstörung, die sich besonders bei Mädchen und jungen Frauen manifestiert. Die diagnostischen Kriterien der Anorexia nervosa sind in Tabelle 3 dargestellt. Leitsymptom der Anorexia nervosa ist die starke Reduktion des Körpergewichts, die mit einem Verlust von Fettgewebe und Skelettmuskulatur verbunden ist. Weitere Symptome dieser Erkrankung sind in Tabelle 4 ersichtlich. Im Vordergrund dieser Essstörung steht die Verweigerung der Nahrungsaufnahme mit dem Ziel, Körpergewicht zu verlieren. Der Aspekt des Essens steht dabei stets im Mittelpunkt des Alltags. Die Patienten haben panische Angst davor, an Körpergewicht zuzunehmen. Um zusätzlich Energie zu verbrauchen, sind sie häufig auch hyperaktiv und treiben oft exzessiv Sport. Charakteristisch für diese Patienten sind Körperschemastörungen. Sie fühlen sich häufig, trotz extremen Untergewichts, noch zu dick. Ein typisches körperliches Symptom bei Frauen mit Anorexia nervosa besteht im Aussetzen des Menstruationszyklus (= Amenorrhoe) infolge des niedrigen Körperfettgehaltes.

Die Ursachen für die Entstehung von Anorexia nervosa sind vielfältig. Eine wichtige Rolle spielt zweifelsohne das Elternhaus. Herausragende familiäre Aspekte sind geringer Kontakt, emotionale Kälte, geringe Zuneigung und hohe Erwartungen. In Familien, in denen Anorexiefälle auftreten, herrscht häufig großes Harmoniestreben, eine Auseinandersetzung mit Konflikten und negativen Gefühlen (Wut, Zorn, Unsicherheit, Ängste) findet nicht statt.

Tab. 3 Diagnostische Kriterien für Anorexia nervosa (nach DSM-IV)

<i>Untergewicht</i> Weigerung, das Minimum des für Alter und Körpergröße normalen Körpergewichts zu halten
<i>Furcht vor Gewichtszunahme</i> Ausgeprägte Ängste vor einer Gewichtszunahme oder davor, dick zu werden, trotz bestehenden Untergewichts
<i>Verzerrte Körperwahrnehmung</i> Störung in der Wahrnehmung der eigenen Figur und des Körpergewichts, übertriebener Einfluss des Körpergewichts oder der Figur auf die Selbstbewertung oder Leugnen des Schweregrads des gegenwärtig geringen Körpergewichts
<i>Amenorrhoe</i> Bei postmenarchalen Frauen das Vorliegen einer Amenorrhoe, d. h. das Ausbleiben von mindestens drei aufeinander folgenden Menstruationszyklen

Tab. 4 Häufige Symptome bei Patienten mit Anorexia nervosa (nach HEBEBRAND 2006)

Körperliche und psychische Veränderungen infolge des Energie- und Nährstoffmangels
<ul style="list-style-type: none"> – Primäre und sekundäre Amenorrhoe – Gegebenenfalls vermindertes Größenwachstum – Sinusbradykardie – Hypothermie – Obstipation – Lanugobehaarung – Verminderte Knochendichte – Reversible Gehirnatrophie – Depression – Kognitive Beeinträchtigung
Laborwertveränderungen infolge des Energie- und Nährstoffmangels
<ul style="list-style-type: none"> – Reduzierte Blutbildung (Leukopenie, Anämie) – Erhöhung harnpflichtiger Substanzen – Transaminasenerhöhung – Niedrige Konzentrationen an Triiodthyronin – Niedrige Magnesium-, Zink-, Phosphat- und Kaliumspiegel – Hypercholesterinämie – Erhöhte Amylase – Erniedrigte Geschlechtshormonspiegel; LH und FSH präpubertär – Hyperkortisolismus

Mütter magersüchtiger Patienten sind häufig übermäßig ängstlich und leiden unter geringem Selbstbewusstsein. Die Väter sind meist leistungsorientiert und gefühllos. Die Mutter-Tochter-Beziehung, die sich zu Beginn der Pubertät herauskristallisiert, kann auch eine wichtige Rolle spielen. Durch ungelöste Konflikte in dieser Beziehung kann es zu einer Ablehnung und Nicht-Identifikation mit der Mutter kommen. Auch schwere psychische Traumatisierungen, die z. B. durch sexuellen Missbrauch hervorgerufen sein können, spielen in der Entstehungs-

geschichte der Anorexia nervosa gelegentlich eine Rolle. Neben der Situation in der Familie spielt auch die Persönlichkeitsstruktur eine wichtige Rolle für die Entstehung der Anorexia nervosa. Anorektiker haben häufig ein stark vermindertes Selbstwertgefühl, leiden unter Versagensängsten, sind sehr angepasst und versuchen den Erwartungen der Eltern gerecht zu werden. Sie sind häufig sehr sensibel und haben meist ein schwaches Selbstbewusstsein. Zudem sind sie meist sehr zuverlässig, haben große Ausdauer und Eigenmotivation und neigen häufig zu Perfektionismus. Diese Persönlichkeitszüge sind meist schon vor dem Ausbruch der Erkrankung vorhanden. Die Entstehung der Anorexia nervosa wird aber auch durch Umweltfaktoren begünstigt. Beispielsweise spielen Erfahrungen eine Rolle, die besonders weibliche Patienten auf ihr Aussehen und Gewicht sensibilisieren. Es können auch kritische Kommentare von Familie und Freunden über das Essverhalten oder das Körpergewicht sein. Eine Diät ist daher häufig ein Einstieg in diese Erkrankung. Die Zwillingsforschung hat eindeutig eine familiäre Häufung der Erkrankung nachgewiesen, die genauen Gene konnten allerdings noch nicht gefunden werden.

Die Anorexia nervosa hat eine insgesamt sehr ungünstige Prognose, was sich in ihrer hohen Lethalität ausdrückt, die im Bereich zwischen 5 und 15 % innerhalb von 10 Jahren liegt. Nur 10 % genesen innerhalb eines Zeitraums von 2 Jahren.

Literatur

- ADIL, A., ABBASI, M. D., and RUDMAN, D.: Undernutrition in the nursing home: prevalence, consequences, causes and prevention. *Nutr. Rev.* 52, 113–120 (1994)
- BADMAN, M. K., PISSIOS, P., KENNEDY, A. R., KOUKOS, G., FLIER, J. S., and MARATOS-FLIER, E.: Hepatic fibroblast growth factor 21 is regulated by PPARalpha and is a key mediator of hepatic lipid metabolism in ketotic states. *Cell Metab.* 5, 426–437 (2005)
- BARTH, C. A., KARST, H., und PETZKE, K. J.: Untergewicht und Hungerstoffwechsel. In: BIESALSKI, H.-K., FÜRST, P., KASPER, H., KLUTHE, R., PÖLERT, W., PUCHSTEIN, C., und STÄHELIN, H. B. (Eds.): *Ernährungsmedizin*, 3. Aufl. S. 270–278. Stuttgart: Thieme 2004
- CAHILL, G. F., OWEN, O. E., and MORGAN, A. P.: The consumption of fuels during prolonged starvation. *Adv. Enzyme Regul.* 6, 143–150 (1968)
- CLARKE, B. A., DRUJAN, D., WILLIS, M. S., MURPHY, L. O., CORPINA, R. A., BUROVA, E., RAKHILIN, S. V., STITT, T. N., PATTERSON, C., LATRES, E., and GLASS, D. J.: The E3 ligase MuRF1 degrades myosin heavy chain protein in dexamethasone-treated skeletal muscle. *Cell Metab.* 6, 376–385 (2007)
- ELIA, M.: Artificial nutritional support in clinical practice in Britain. *J. Royal Coll. Physic. London* 27, 8–15 (1993)
- HEBEBRAND, J.: Essstörungen. In: SCHLAUDER, P., und OLLENSCHLÄGER, G. (Eds.): *Ernährungsmedizin*, 3. Aufl. S. 934–940. München, Jena: Urban & Fischer 2006
- FAO: *The Sixth World Food Survey*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 1996
- HIHI, A. K., MICHALIK, L., and WAHLI, W.: PPARs: transcriptional effectors of fatty acids and their derivatives. *Cell. Mol. Life Sci.* 59, 790–798 (2002)
- INAGAKI, T., DUTCHAK, P., ZHAO, G., DING, X., GAUTRON, L., PARAMESWARA, V., LI, Y., GOETZ, R., MOHAMMADI, M., ESSER, V., ELMQUIST, J. K., GERARD, R. D., BURGESS, S. C., HAMMER, R. E., MANGELSDORF, D. J., and KLIWER, S. A.: Endocrine regulation of the fasting response by PPARalpha-mediated induction of fibroblast growth factor 21. *Cell Metab.* 5, 415–425 (2007)
- ISSEMAN, I., and GREEN, S.: Activation of a member of the steroid hormone receptor superfamily by peroxisome proliferators. *Nature* 347, 645–650 (1990)
- KASPER, H. (Ed.): *Ernährungsmedizin und Diätetik*. München, Jena: Urban & Fischer 2004
- KELLER, U., STÖCKLI, R., und PÜSCHEL, G. P.: Fastenstoffwechsel – Stressstoffwechsel. In: SCHLAUDER, P., und OLLENSCHLÄGER, G. (Eds.): *Ernährungsmedizin*, 3. Aufl. S. 563–568. München, Jena: Urban & Fischer 2006
- KERSTEN, S., SEYDOUX, J., PETERS, J. M., GONZALEZ, F. J., DESVERGNE, B., and WAHLI, W.: Peroxisome proliferator-activated receptor alpha mediates the adaptive response to fasting. *J. Clin. Invest.* 103, 1489–1498 (1999)

- KEYS, A., BROZEK, J., and HENSCHER, A. (Eds.): *The Biology of Human Starvation*. Vol. I, 703–748. Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota Press 1950
- MARLISS, E., AOKI, T. T., FELIG, P., POZEFSKY, T., and CAHILL, G. F.: Hormones and substrates in the regulation of gluconeogenesis in fasting man. *Adv. Enzyme Regul.* 8, 3–11 (1970)
- MORLEY, J. E., GLICK, Z., and RUBENSTEIN, L. Z. (Eds.): *Geriatric Nutrition: A Comprehensive Review*. Second Edition. New York: Raven Press 1995
- PIRLICH, M., SCHÜTZ, T., NORMAN, K., GASTELL, S., LÜBKE, H. J., BISCHOFF, S. C., BOLDER, U., FRIELING, T., GÜLDENZOPH, H., HAHN, K., JAUCH, K. W., SCHINDLER, K., STEIN, J., VOLKERT, D., WEIMANN, A., WERNER, H., WOLF, C., ZÜRCHER, G., BAUER, P., and LOCHS, H.: The German hospital malnutrition study. *Clin. Nutr.* 25, 563–572 (2006)
- REITMAN, M. L.: FGF21: a missing link in the biology of fasting. *Cell Metab.* 5, 405–407 (2007)
- ROSENBAUM, A., PIPER, S., RIEMANN, J. F., und SCHILLING, D.: Mangelernährung bei internistischen Patienten – eine Screeninguntersuchung von 1308 Patienten mit Verlaufsbeobachtung. *Aktuelle Ernähr. Med.* 32, 181–184 (2007)
- SCHERBAUM, V., und FÜRST, P.: Protein – Energie – Malnutrition. In: BIESALSKI, H.-K., KASPER, H., KLUTHE, R., PÖLERT, W., PUCHSTEIN, C., und STÄHELIN, H. B. (Eds.): *Ernährungsmedizin*. S. 288–302. Stuttgart: Thieme 2004
- SEILER, W. O., und STÄHELIN, H. B.: Malnutrition im Alter. In: BIESALSKI, H.-K., FÜRST, P., KASPER, H., KLUTHE, R., PÖLERT, W., PUCHSTEIN, C., und STÄHELIN, H. B. (Eds.): *Ernährungsmedizin*. 3. Aufl. S. 279–287. Stuttgart: Thieme 2004

Prof. Dr. Klaus EDER
Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Tierernährung
und Ernährungsphysiologie
Heinrich-Buff-Ring 26
35392 Gießen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 641 9939230
Fax: +49 641 9939239
E-Mail: klaus.eder@ernaehrung.uni-giessen.de

Überernährung und ihre Folgen

Hans HAUNER ML (München)

Mit 2 Tabellen

Zusammenfassung

Der menschliche Organismus war in der Menschheitsgeschichte immer darauf ausgerichtet, jede greifbare Nahrungsenergie zu nutzen. Das war sinnvoll, wenn Mangel an Nahrung herrschte oder der Anteil an Muskelarbeit sehr hoch war. Die Nahrungsmittelversorgung war für die Allgemeinbevölkerung keineswegs immer gesichert. Die Ernährung war einfach und kohlenhydratbetont. Das Auftreten von Übergewicht und Adipositas ist in der Menschheitsgeschichte ein relativ neues Phänomen, das mit den veränderten sozioökonomischen Bedingungen zusammenhängt. Besonders alarmierend ist der Anteil fehlernährter Kinder und Jugendlicher. Nach einer repräsentativen Studie für die Zeit von 2003 bis 2006 waren 15 % aller untersuchten Kinder und Jugendlichen übergewichtig, 6,3 % adipös. Seit 2000 scheint die Übergewichtsrate auf hohem Niveau zu stagnieren, und auch bei den Erwachsenen wurde in den letzten 10 Jahren kein weiterer Anstieg der Adipositasrate festgestellt. Nach dem Bundesgesundheitsurvey 1997/8 waren ca. 22 % aller deutschen Frauen adipös, weitere 30 % übergewichtig, bei den Männern betragen die Werte 21 % bzw. 46 %. Ähnliche Aussagen lassen sich für andere Länder Europas treffen. In den Schwellenländern, wie China, Brasilien und arabischen Ländern, wurden in den letzten Jahren alarmierende Zuwachsraten von Übergewicht und Adipositas, vor allem bei Kindern und Jugendlichen, beobachtet. In vielen Entwicklungsländern finden sich Unter- und Überernährung nebeneinander. Nach gesundheitsökonomischen Analysen erfordert die Behandlung adipositasbedingter Erkrankungen, vor allem von Diabetes mellitus Typ 2, jährlich einen zweistelligen Milliardenbetrag. Der Kampf gegen Überernährung und Adipositas ist in einer freiheitlichen Gesellschaft nur auf einem breiten gesellschaftlichen Konsens möglich, der eine verantwortungsvolle Lebensführung für jeden Bürger zur Selbstverständlichkeit werden lässt und – ähnlich wie im Umweltbereich – Verhaltensänderungen (z. B. eine Verringerung des Fleischkonsums) induziert. Die natürlichen Ressourcen reichen nicht aus, die westliche Ernährungsweise auf den gesamten Globus auszudehnen, sodass eine stärker auf pflanzliche Erzeugnisse ausgerichtete Ernährung angestrebt werden muss.

Abstract

The human organism is designed to be able to make as much use of every ounce of available nutritional energy as possible. Throughout mankind's history, this has made sense in times of famine or when copious physical work was necessary. A source of food was in no way guaranteed for the general population. Diets were simple and rich in carbohydrates. Overweight and obesity are a relatively recent phenomenon and are connected to changes in socio-economic conditions. The proportion of badly nourished children is particularly alarming. According to a representative study carried out between 2003 and 2006, 15 % of all children and adolescents examined were overweight; 6.3 % were obese. Since 2000 the rate of overweight seems to have stagnated at a high level; the obesity rate in adults has also not risen in the past ten years. According to a 1997/98 federal health survey, around 22 % of all German women were obese and a further 30 % were overweight. For men, these numbers were 21 % and 46 % respectively. Similar conclusions could also be made for other European countries. Alarming rates of overweight and obesity, particularly in children and adolescents, have been observed over the past few years in emerging markets such as China, Brazil and Arab countries. In many developing countries undernourishment and overnourishment are found side by side. According to health economic analyses, treating obesity-related illnesses, particularly diabetes mellitus type 2, requires tens of billions in funding. In a free society, the fight against overnourishment and obesity is only possible

with a broad consensus of the society where leading a responsible lifestyle becomes a matter of course and, as with the environment, changes in behavior (e.g. reducing meat consumption) are encouraged. There are not enough natural resources to allow for the globalization of western diets. Thus the aim should be a more plant-based diet.

1. Einleitung

In den letzten beiden Jahrhunderten fand in Europa ein noch nie dagewesener Wandel der Ernährungsgewohnheiten statt. Noch vor 100 Jahren lag der Kohlenhydratanteil bei über 60 % und bestand im Wesentlichen aus dem Verzehr von ballaststoffreichen Getreideprodukten und Kartoffeln, der Fettanteil lag unter 25 % der Gesamtenergieaufnahme. Erst in den letzten 50 Jahren ging der Kohlenhydratanteil deutlich zurück. Gleichzeitig werden immer mehr rasch resorbierbare Kohlenhydrate wie fein gemahlene Mehlprodukte und Zucker konsumiert. Auf der anderen Seite stieg der Verzehr von Fett und von Protein aus tierischen Quellen und hat sich in den letzten 100 Jahren annähernd verdoppelt. Der Verzehr traditioneller Grundnahrungsmittel wie Kartoffeln oder Brotwaren war seitdem deutlich rückläufig, während zunehmend neue Obst- und Gemüsearten in die Kost eingeführt wurden (KARG et al. 2003). Tabelle 1 zeigt ähnliche Verzehrdaten aus einer anderen Erhebung.

Tab. 1 Pro-Kopf-Verzehr ausgewählter Lebensmittel um das Jahr 1900 und 1998 in Deutschland. Angaben in kg/Jahr

Lebensmittel	1900	1998
Kartoffeln	271,1	72,3
Brot/Brotwaren	139,2	75,1
Gemüse/Salat	61,5	85,2
Fleisch/Fleischprodukte	47,0	89,5
Obst	43,4	89,2
Fisch	6,2	14,6
Eier (Stück)	90	226

Die positive Errungenschaft dieser Entwicklung in Europa war, dass eine regelmäßige Versorgung der Bevölkerung mit erschwinglichen Nahrungsmitteln gesichert werden konnte, sieht man von kritischen Phasen wie der Weltwirtschaftskrise und den beiden Weltkriegen ab, in denen zeitweise wieder Hunger und Mangelernährung herrschten. Die durchschnittliche Energiezufuhr lag um 1900 bei ca. 3200 kcal/Tag und ist seitdem tendenziell eher zurückgegangen. Da das Alltagsleben im Beruf und im Haushalt vor 100 Jahren noch ein hohes Maß an Muskelarbeit erforderte, dürfte die Zahl übergewichtiger Menschen damals dennoch relativ niedrig gewesen sein (genaue Prävalenzangaben existieren allerdings nicht).

In Deutschland kam es erst in den 1950er Jahren im Gefolge des wirtschaftlichen Aufschwungs und des damit wachsenden Wohlstands in allen Bevölkerungsschichten zu einer deutlichen Zunahme der Energiezufuhr und einer rasch zunehmenden Anzahl übergewichtiger und adipöser Menschen. Von dieser Entwicklung waren zunächst vor allem Erwachsene betroffen. Bis Mitte der 1990er Jahre wurde ein kontinuierlicher Anstieg der Anzahl übergewichtiger Menschen beobachtet. Als besonders alarmierend ist die wachsende Anzahl

übergewichtiger und adipöser Kinder und Jugendlicher anzusehen, die sich erst in den letzten Jahren abzuschwächen scheint (ZELLNER et al. 2004).

2. Adipositas in Deutschland

Bevölkerungsbasierte Erhebungen aus jüngster Zeit mit standardisiert gemessenen anthropometrischen Werten stellen eine gute Datenbasis für eine aktuelle Bestandsaufnahme der derzeitigen Situation in Deutschland dar. So ergab die Auswertung der KiGGS-Studie an 14 747 Kindern und Jugendlichen beiderlei Geschlechts im Alter zwischen 3 und 17 Jahren, die zwischen 2003 und 2006 untersucht wurden, dass in Deutschland insgesamt 15 % aller Kinder und Jugendlichen in dieser Altersgruppe die 90. BMI-Perzentile überschreiten und damit als übergewichtig einzuordnen sind. 6,3 % der Kinder waren mit einem Körpergewicht oberhalb der 97. BMI-Perzentile adipös (KURTH und SCHAFFRATH ROSARIO 2007). Besonders auffällig war dabei ein starker sozialer Gradient und deutlich höhere Adipositasraten bei Kindern nicht-deutscher Herkunft. Im Rahmen der Schuleingangsuntersuchungen in Bayern wird seit etwa 1990 das Gewicht repräsentativer Subgruppen genau dokumentiert. Dort wurde noch in den 1990er Jahren eine kontinuierliche, wenngleich mäßige Zunahme der Rate übergewichtiger und adipöser Kinder beobachtet. Seit 2000 scheint die Übergewichtsrate auf hohem Niveau zu stagnieren, sodass der befürchtete weitere Anstieg erfreulicherweise ausgeblieben ist (U. NENNSTIEL-RATZEL und R. VON KRIES, persönliche Mitteilung). Neuere Daten aus den US-amerikanischen *National Health and Nutrition Examination Surveys* (NHANES) zeigen, dass es auch dort in den letzten Jahren zu keinem weiteren Anstieg der Adipositas im Kindes- und Jugendalter mehr gekommen war (OGDEN et al. 2008).

Auch bei den Erwachsenen konnte in den letzten 10 Jahren kein weiterer Anstieg der Adipositasrate registriert werden. Im Bundesgesundheitsurvey 1997/8 waren ca. 22 % aller deutschen Frauen im Alter zwischen 18 und 79 Jahren adipös (BMI ≥ 30), weitere 30 % waren mit einem BMI $\geq 25 < 30$ übergewichtig. Bei den Männern gleichen Alters betragen die Prävalenzraten für Adipositas 21 % und für Übergewicht 46 % (BERGMANN und MENSINK 1999). Die im Jahr 2006 durchgeführte Nationale Verzehrsstudie II ergab für das weibliche Geschlecht eine Adipositasrate von 21,2 % und für Männer von 20,5 %. Weitere 29,4 % der Frauen sowie 45,5 % der Männer waren übergewichtig (BMI 25 – 29,9). Auch wenn es in diesem Zeitraum zu keiner signifikanten Zunahme der Gesamtprävalenz gekommen war, zeigte sich eine gewisse Verschiebung zu höheren Raten im jüngeren Erwachsenenalter, die vor allem bei jungen Frauen auffällig war. Insgesamt kann damit keine Entwarnung gegeben werden, da das Gesamtniveau unverändert sehr hoch ist. Nur noch eine Minderheit der erwachsenen Deutschen liegt im Normalgewichtsbereich. Zu beachten ist auch, dass es sich hierbei um Durchschnittswerte für das gesamte Erwachsenenalter handelt. Da es mit steigendem Lebensalter zu einem kontinuierlichen Gewichtsanstieg kommt, sind in der Altersgruppe der 50 bis 80-Jährigen rund 30 bis 40 % adipös (Max-Rubner-Institut 2008).

3. Globale Adipositasepidemie

Zahlen aus anderen Ländern und Erdteilen machen unmissverständlich deutlich, dass es sich um eine globale Epidemie handelt. Während die beschriebene Situation in Deutschland mit

gewissen Variationen exemplarisch für Europa ist, wird vor allem in den Schwellenländern eine deutlich dramatischere Entwicklung beobachtet. Besonders aus Ländern wie China, Brasilien und arabischen Ländern wurden in den letzten Jahren alarmierende Zuwachsraten von Übergewicht und Adipositas berichtet. Dabei waren Kinder und Jugendliche meist deutlich stärker betroffen als Erwachsene. In vielen Entwicklungsländern zeichnet sich die groteske Situation ab, dass Unter- und Überernährung nebeneinander bestehen. In diesen Ländern gibt es zumeist eine kleine Mittel- und Oberschicht, die zwischen 10 und 20% der Bevölkerung repräsentiert. Dort ist inzwischen mehr als die Hälfte übergewichtig bzw. adipös, während die ärmeren Bevölkerungsgruppen in großen Teilen weiter unter Unterernährung leiden. In der Gesamtbilanz sind weltweit mehr als eine Milliarde Menschen übergewichtig und zusätzlich mindestens 300 Millionen adipös (*IOTF*). Auf der anderen Seite leiden rund 850 Millionen Menschen unter Hunger und Mangelernährung. Wegen des Preisanstiegs der Grundnahrungsmittel steigt die Zahl der hungernden Menschen in vielen armen Ländern wieder an.

4. Was sind die Ursachen für die weltweite Adipositasepidemie?

Das Auftreten von Übergewicht und Adipositas ist in der Menschheitsgeschichte ein neues Phänomen, das zweifellos mit den veränderten sozioökonomischen Bedingungen zusammenhängt. Noch bis Ende des 19. Jahrhunderts kam Übergewicht nur selten und dann nur in den wohlhabenden Familien vor. Die Nahrungsmittelversorgung war für die Allgemeinbevölkerung keineswegs immer gesichert, die Ernährung war einfach und kohlenhydratbetont, während andererseits ein hohes Maß an Muskelarbeit verrichtet werden musste.

Im Gegensatz dazu existieren heute ganz andere Lebensbedingungen. Die technologischen Fortschritte vor allem der letzten 50 Jahre ermöglichten es, die Nahrungsmittelproduktion auf nie für möglich gehaltene Mengen zu steigern. Auch die Verbesserung der Transportsysteme erlaubt einen Warenaustausch von gewaltigen Dimensionen, sodass in vielen Ländern Lebensmittel unterschiedlichster Art und Herkunft nahezu rund um die Uhr verfügbar sind. Gleichzeitig sind die Kosten für die Ernährung im Verhältnis zu den allgemeinen Lebenshaltungskosten stark zurückgegangen (in Deutschland von ca. 65% Ende des 19. Jahrhunderts auf heute 14% des verfügbaren Haushaltseinkommens), sodass auch einkommensschwache Bevölkerungsgruppen ohne Einschränkungen am Nahrungsmittelüberfluss partizipieren können. Von Nachteil ist dabei allerdings, dass die Art und Qualität der Nahrung durchaus preisabhängig ist. Ernährungsphysiologisch ungünstige Fast-Food-Produkte sind bezogen auf den Energiegehalt billig, während gesundheitsförderliche Lebensmittel, wie z. B. Obst, deutlich teurer sind, sodass die ökonomischen Verhältnisse neben dem Gesundheitsbewusstsein, das primär durch Bildung und Erziehung geprägt wird, starken Einfluss auf die Qualität der Ernährung ausüben.

Auch die Art der Ernährung hat eine Schlüsselbedeutung für das Adipositasrisiko. Eine zentrale Größe ist dabei die Energiedichte der Lebensmittel. Diese ist infolge der Technisierung und Industrialisierung der Lebensmittelproduktion sprunghaft angestiegen. Viele moderne Lebensmittel, vor allem viele „Convenience“-Produkte, sind aufgrund eines hohen Fett- und Zuckergehalts ausgesprochen energiedicht. In einer interessanten Analyse verglichen PRENTICE und JEBB (2003) die Energiedichte von modernen Supermarktlebensmitteln mit der von traditioneller Ernährung in Gambia. Dabei zeigte sich, dass die mittlere Energiedichte moderner Lebensmittel im Durchschnitt dreifach höher ist als diejenige traditioneller

Lebensmittel in Afrika. Dies ist ein wichtiger Aspekt, weil die Nahrungsaufnahme offensichtlich stärker vom Nahrungsvolumen und weniger vom Energiegehalt gesteuert wird. Bei Magenfüllung werden lokale Dehnungsreize erzeugt, die schließlich in nervale Sättigungssignale übersetzt werden und in den hypothalamischen Zentren ein Sättigungsgefühl entstehen lassen. Ein erwachsener Mensch benötigt täglich ein Nahrungsvolumen von 1 bis 1,2 kg, um über den Tag satt zu sein (ERDMANN et al. 2008). Die entscheidende Frage ist, welche Energie in diesem Volumen enthalten ist. Eine ballaststoffreiche und fettarme Kost stellt unter diesen Bedingungen vielleicht ca. 1500 bis 1800 kcal bereit, während eine ballaststoffarme, fettreiche Kost durchaus die doppelte Kalorienmenge enthalten kann.

Ein anderes Phänomen, welches zum Adipositasproblem vieler Menschen beitragen dürfte, ist die steigende Portionsgröße. Untersuchungen der letzten Jahre haben eindrucksvoll gezeigt, dass die durchschnittliche Portionsgröße und damit auch der Energiegehalt vieler Lebensmittel, hauptsächlich aber von Fast-Food-Produkten, in den letzten 20 bis 30 Jahren um durchschnittlich etwa 20 bis 30 % zugenommen hat (NIELSEN und POPKIN 2003). Andere Studien wiederum belegen, dass die Energieaufnahme mit wachsender Portionsgröße zunimmt (KRAL et al. 2004). Ein weiteres Problem in diesem Kontext ist auch der Verlust fester Ernährungsgewohnheiten. Während bis vor kurzer Zeit regelmäßige Essenszeiten, zumeist drei Hauptmahlzeiten, kulturell vorgegeben und damit die Regel waren, besitzt diese Konvention heute in vielen Familien keine Gültigkeit mehr. Feste Essenszeiten sind weitgehend aufgegeben, auf Essenszubereitung wird kein großer Wert mehr gelegt, Essen ist kein sozialer Akt innerhalb einer Familie mehr, sondern findet allzu oft vereinzelt vor dem Fernsehgerät statt, was eine ausgewogene und bewusste Ernährung erschwert. Dies wird dadurch erleichtert, dass Essen überall verzehrfertig und billig verfügbar ist und nur noch als Nebensache im hektischen Alltagsleben betrachtet wird.

5. Bewegungsmangel

Neben der markanten Veränderung unserer Ernährungsgewohnheiten ist auch der Rückgang der körperlichen Aktivität eine Hauptursache für das Adipositasproblem. Auch hier hat die technische Entwicklung in den letzten 100 Jahren einen Paradigmenwechsel hervorgerufen. Körperliche, schweißtreibende Arbeit ist heute im Berufsleben wie im Haushalt eine Seltenheit geworden. Moderne Verkehrsmittel ermöglichen dem Menschen einen großen Aktionsradius, ohne dass er dazu seinen Bewegungsapparat in Anspruch nehmen muss. Auch wenn es dazu kaum belastbare Daten gibt, hat sich der Energieverbrauch für Muskelarbeit alleine in den letzten 100 Jahren erheblich reduziert. Nur regelmäßige sportliche Aktivität, die aber nur maximal 20 % der Bevölkerung wahrnehmen, kann einen partiellen Ausgleich schaffen.

Diese gravierenden Veränderungen stellen letztlich unseren Organismus bzw. unser Genom vor eine kaum lösbare Herausforderung. Unser Organismus war in der Menschheitsgeschichte immer darauf ausgerichtet, jede greifbare Nahrungsenergie zu nutzen. Aufgrund karger Lebensbedingungen war der Mensch immer darauf angewiesen, seine Zeit dem Jagen und Sammeln von Nahrung zu widmen. Gab es ein Überangebot an Energie, so war es sinnvoll, diese aufzunehmen und für eventuell schlechtere Zeiten zu speichern. Die Entwicklung des Fettgewebes erwies sich als ideale Möglichkeit, um überschüssige Energie effizient zu speichern und damit drohende Zeiten von Nahrungsmangel zu überstehen. Gleichzeitig entstanden Mechanismen, um in Hungerszeiten den Energieverbrauch zu drosseln, sodass

ein Überleben des Individuums und der Spezies zusätzlich gesichert werden konnte. Dieser evolutionäre Druck hat somit den Menschen mit einem Genom und einem Stoffwechsel ausgestattet, der auf Nahrungsunsicherheit bzw. Nahrungsmangel optimiert war. Der heutigen Situation eines chronischen Nahrungsüberflusses und gleichzeitig fehlender Bewegung ist der menschliche Organismus bisher nicht ausgesetzt gewesen und daher auch kaum gewachsen. Die Folge ist eine chronische positive Energiebilanz, die dem Menschen zwar optimales Wachstum ermöglicht und Mangel verhindert, aber auch schnell ins Negative umschlägt und ein zu hohes, gesundheitsgefährdendes Gewicht entstehen lässt.

6. Folgen des Übergewichts

Der normale Fettgehalt des menschlichen Körpers liegt bei Männern zwischen 10 und 20 % der Körpermasse, bei Frauen bei 15 bis 30 % aufgrund der dickeren subkutanen Fettschicht. Werden diese Werte überschritten, dann droht die vermehrte Fettmasse die Funktion anderer Körperorgane zu beeinträchtigen. Inzwischen ist durch eine Vielzahl von Studien gezeigt, welche Konsequenzen Übergewicht und Adipositas haben können. Grundsätzlich gilt dabei, dass mit Dauer und Schweregrad des Übergewichts das Risiko für Gesundheitsstörungen ansteigt (HAUNER 1996, WHO 2000). Diese Störungen können nahezu jedes Körperorgan betreffen. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Komplikationen genannt. Im Vordergrund stehen dabei metabolische und kardiovaskuläre Komplikationen, aber auch vorzeitige Schäden am Bewegungsapparat und ein um 50 bis 70 % erhöhtes Tumorrisiko (CALLE et al. 2003). In der Summe resultiert eine Verkürzung der Lebenserwartung, die kürzlich in einer Analyse von Kohortenstudien auch quantitativ ermittelt wurde (FONTAINE et al. 2003). Nach Berechnungen von Epidemiologen sterben inzwischen ähnlich viele Personen an den Folgen der Adipositas wie am Nikotinmissbrauch (MOKDAD et al. 2004).

Neben den biologischen Folgen sind auch die psychologischen und sozialen Konsequenzen nicht zu unterschätzen. Adipositas geht häufig mit Störungen des Selbstwertgefühls und Depressionen einher, die subjektive Lebensqualität ist besonders bei Frauen deutlich herabgesetzt. Grund dafür ist, dass es sich um ein sichtbares Stigma handelt, das im allgemeinen Wertesystem negativ besetzt ist. Adipöse Menschen haben Nachteile bei der Partnersuche, ihre beruflichen Aufstiegschancen sind im Vergleich zu Normalgewichtigen stark vermindert, auch wenn diese Diskriminierung nur verdeckt erfolgt.

7. Pathophysiologie der adipositasassoziierten Erkrankungen

Lange Zeit war nicht verstanden worden, warum Adipositas eine solche Plethora von Komplikationen nach sich zieht. Neue Erkenntnisse der biomedizinischen Forschung haben aber in den letzten 10 bis 15 Jahren zu einem Paradigmenwechsel geführt. Bis dahin war das Fettgewebe des Menschen lediglich als träges Speicherorgan betrachtet worden, das ausschließlich überschüssige Energie in Form von Triglyzeriden einlagert und bei erhöhtem Energiebedarf oder Nahrungsmangel wieder freisetzt. Mit der Entdeckung von Leptin, dem zentralen Sättigungshormon des Menschen, welches ausschließlich in den Fettzellen gebildet wird und den hypothalamischen Zentren den Füllungszustand der peripheren Fettdots meldet, wurde klar, dass das Fettgewebe mit anderen Organen kommuniziert. Inzwischen sind weit mehr als

Tab. 2 Typische und häufige Komplikationen der Adipositas

Stoffwechsel:	Typ 2 Diabetes mellitus Dyslipoproteinämie Hyperurikämie/Gicht Insulinresistenz
Herz-Kreislauf-System:	Hypertonie Gestörte Fibrinolyse, erhöhtes thrombembolisches Risiko Koronare Herzkrankheit Schlaganfall Linksventrikuläre Hypertrophie, Herzinsuffizienz Chronisch-venöse Insuffizienz, Ulcus cruris
Lungen:	Alveoläre Hypoventilation, Pickwic-Syndrom Schlaf-Apnoe-Syndrom
Gastrointestinaltrakt:	Dyspepsie Gallensteinleiden Fettleberhepatitis Motilitätsstörungen, Obstipation
Karzinome:	Kolorektale Karzinome Nierenkarzinome Endometrium-, Mammakarzinom Prostatakarzinom
Erkrankungen des Bewegungsapparats:	LWS-Syndrom Gelenkerkrankungen, Arthrosen
Sonstiges:	Erhöhtes Operationsrisiko Erhöhtes Narkoserisiko Erhöhtes Unfall- und Verletzungsrisiko Wundheilungsstörungen

100 Sekretionsprodukte von Fettzellen oder anderen Zelltypen im Fettgewebe bekannt, die sezerniert werden und wahrscheinlich einen intensiven „Cross-talk“ unterhalten. Wichtige Sekretionsprodukte sind dabei Adiponektin, viele Zytokine und Chemokine, viele Wachstums- und Angiogenesefaktoren und nicht zuletzt Fettsäuren, die selbst molekulare Signale geben können und beispielsweise die Funktion des Immunsystems beeinflussen können.

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von mehr oder weniger plausiblen Hypothesen zur Beantwortung der Frage, warum adipöse Menschen besonders häufig einen Typ 2 Diabetes mellitus und kardiovaskuläre Komplikationen, aber auch bestimmte Tumorerkrankungen entwickeln. Es könnte sich dabei um eine gestörte Sekretion von „Adipokinen“ handeln, die eine Insulinresistenz und andere Störungen des Stoffwechsels begünstigt (HAUNER 2005). In Interventionsstudien konnte gezeigt werden, dass eine Gewichtsabnahme auch die Produktion solcher Adipokine moduliert und darüber möglicherweise viele günstige Effekte auf den Glukose-

und Lipidstoffwechsel und andere Sekundärkomplikationen ausübt. Besonderes Interesse haben neuere Befunde erhalten, nach denen das Fettgewebe adipöser Menschen „entzündet“ ist. Eine wichtige Beobachtung war, dass es mit steigendem BMI zu einer Infiltration des Fettgewebes mit Monozyten/Makrophagen, aber auch T-Lymphozyten kommt (WEISBERG et al. 2003, KINTSCHER et al. 2008). Gleichzeitig ist das Gleichgewicht bei der Sekretion pro- und antiinflammatorischer Adipokine gestört (SKURK et al. 2007). Auch der NF κ B-Signalweg ist aktiviert und trägt damit zur erhöhten Freisetzung von Entzündungsmediatoren wie TNF- α , MCP-1 und vielen anderen Zielgenen bei. Das erhöhte Tumorrisiko lässt sich zunehmend über solche Sekretionsprodukte erklären (CALLE und KAAKS 2003, HAUNER 2008).

8. Möglichkeiten von Prävention und Intervention

Nach gesundheitsökonomischen Analysen ist jährlich ein zweistelliger Milliardenbetrag allein für die Behandlung der adipositasbedingten Erkrankungen aufzubringen (KNOLL und HAUNER 2008). Dabei machen die Ausgaben für den Typ 2 Diabetes den größten Anteil aus (KÖSTER et al. 2006). Bei dieser enormen Belastung für das Gesundheitssystem ist nicht zu verstehen, warum Adipositas in Deutschland nicht als Krankheit im Sinne des Bundessozialgesetzes anerkannt ist – im Gegensatz zur Auffassung der WHO. Diese Situation hat zur Folge, dass Adipositas Therapie von den Kostenträgern nicht finanziert wird und damit kaum stattfindet. Dabei gibt es zahlreiche Studien, in denen verschiedenste Therapieformen in randomisierten kontrollierten Studien geprüft wurden, sodass es heute eine gute Evidenzbasis für eine rationale Adipositas Therapie gibt, die auch in evidenzbasierten Leitlinien dargestellt ist (HAUNER et al. 2007).

Allen Experten ist gleichwohl klar, dass das Gesundheitssystem das Adipositasproblem alleine nicht lösen kann. Zu sehr erschweren eine adipogene Umwelt und gegensätzliche Werbebotschaften in den Medien jede sinnvolle Therapie. Unter den Experten besteht daher auch Einigkeit, dass der Prävention der Adipositas vor allem bei jüngeren Personen ein wesentlich größerer Stellenwert eingeräumt werden muss. Dazu ist es auch erforderlich, die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen so zu verändern, dass eine gesunde Ernährung und mehr Bewegung gefördert werden. Doch bisher ist es nicht einmal gelungen, in Kindergarten und Schule ein gesundheitsförderliche Verpflegung einzuführen bzw. Kindern in diesen Einrichtungen regelmäßige körperliche Aktivität anzubieten, obwohl alle strukturellen Voraussetzungen vorhanden sind und bestenfalls mit minimalen Zusatzkosten zu rechnen ist. Lediglich im Bereich der betrieblichen Prävention gibt es erste größere Aktivitäten, die vom Interesse von Firmen getragen sind, ihre Fachkräfte zukünftig länger im Arbeitsprozess zu halten.

Die Brisanz des Themas Überernährung wird inzwischen auch von politischer Seite zunehmend wahrgenommen. Trotz öffentlicher Diskussion gab es aber noch keine intensive Auseinandersetzung mit diesem Thema mit dem Ziel, konkrete Programme zur Bekämpfung der Adipositas auf den Weg zu bringen. Deutschland hinkt in dieser Beziehung weit hinter anderen europäischen Ländern her. Außer einigen wenig abgestimmten Kampagnen von Ministerien und kleineren Aktivitäten von Fachgremien wird das Thema Prävention von Überernährung und Adipositas weiterhin sträflich vernachlässigt. Von politischer Seite ist bislang auch keine Bereitschaft erkennbar, regulatorisch einzugreifen und dabei unter Umständen den Interessen von Wirtschaftsverbänden entgegenzutreten. Gleichwohl sind aber auch Unternehmen und gesellschaftliche Institutionen gefordert, nach machbaren Lösungen zu su-

chen, die einen Beitrag zur Prävention der Adipositas leisten können. Dies hat durchaus auch wirtschaftliche Dimensionen, da z. B. internationale Lebensmittelkonzerne längst dabei sind, dieser Bedrohung Rechnung zu tragen und ihr Sortiment diesbezüglich verbessern.

Sicherlich ist der Kampf gegen Überernährung und Adipositas in einer freiheitlichen Gesellschaft schwierig zu führen und kann nicht einfach angeordnet werden. Deshalb ist ein breiter gesellschaftlicher Konsens darüber erforderlich, dass eine verantwortungsvolle Lebensführung für jeden Bürger eine Selbstverständlichkeit sein sollte, ähnlich wie dies beim Umweltschutz bereits in Ansätzen gelungen ist und zu vielen Verhaltensänderungen, aber auch Vorschriften geführt hat. Obwohl es ureigenstes Interesse jedes Bürgers sein sollte, seine Gesundheit zu erhalten, muss dieses Anliegen stärker und überzeugender als bisher von den gesellschaftlichen Institutionen getragen und gefördert werden.

Eine gesundheitsförderliche Ernährung ist keineswegs unattraktiv und schon gar nicht von minderer geschmacklicher Qualität. Zudem gibt es bezüglich der Makronährstoffzusammensetzung einen breiten Korridor, sodass jeder Einzelne viele Wahlmöglichkeiten hat. Allerdings müssen einige Grundprinzipien beherzigt werden, die in im Folgenden zusammengefasst sind.

- Energiezufuhr so bemessen, damit ein normaler BMI (18,5 – 24,9 kg/m²) erreicht und lebenslang gehalten wird;
- Gesamtfettzufuhr von 25 – 35 % der Gesamtenergie mit einem Anteil gesättigter Fette < 7 – 10 En%;
- Kohlenhydratanteil von 55 – 70 % mit Bevorzugung von Kohlenhydraten mit niedrigem GI;
- hohe Zufuhr von Ballaststoffen (> 40 g/Tag);
- Proteinzufuhr von etwa 10 %;
- Bevorzugung von Lebensmitteln mit hohem Gehalt an Vitaminen und Mineralstoffen;
- Steigerung der körperlichen Aktivität.

Grundsätzlich wäre es wünschenswert, den hohen Fleischkonsum zu reduzieren, da dieser in erheblichem Maß zur Erhöhung des Fettkonsums beigetragen hat, aber auch eine hohe Belastung für die natürlichen Ressourcen darstellt. Der Einsatz von Fläche, Wasser usw., aber auch die Entstehung von Klimagasen ist bei der Fleischproduktion ungleich höher als bei einer eher pflanzlich betonten Ernährung. Zu bedenken ist außerdem, dass die verfügbaren natürlichen Ressourcen keineswegs ausreichen, die westliche Ernährungsweise auf den gesamten Globus auszudehnen, sodass ohnehin eine neue Strategie gefordert ist, die stärker auf einer pflanzlich betonten Ernährung basiert. Damit bietet sich gleichzeitig die Chance, ernährungsbedingte Krankheiten einzudämmen und den Gesundheitsstatus der Menschheit langfristig signifikant zu verbessern.

Literatur

- BERGMANN, K., und MENSINK, G. B. M.: Körpermaße und Übergewicht. *Gesundheitswesen* 61, S115–S120 (1999)
- CALLE, E. E., RODRIGUEZ, C., WALTER-THURMOND, K., and THUN, M. J.: Overweight, obesity, and mortality from cancer in a prospectively studied cohort of US adults. *New Engl. J. Med.* 348, 1625–1638 (2003)
- CALLE, E. E., and KAAKS, R.: Overweight, obesity and cancer: epidemiological evidence and proposed mechanisms. *Nature Rev. Cancer* 4, 579–591 (2004)
- ERDMANN, J., CHRIST, M., HANSMANN, M., und SCHUSDZIARRA, V.: Von der Regulation der Nahrungsaufnahme zur Adipositas therapie. *Med. Welt* 59, 83–92 (2008)

- FONTAINE, K. R., REDDEN, D. T., WANG, C., WESTFALL, A. O., and ALLISON, D. B.: Years of life lost due to obesity. *JAMA* 289, 187–193 (2003)
- HAUNER, H.: Gesundheitsrisiken von Übergewicht und Gewichtszunahme. *Dtsch. Ärztebl.* 93, A3405–A3409 (1996)
- HAUNER, H.: Secretory factors from human adipose tissue and their functional role. *Proc. Nutr. Soc.* 64, 163–169 (2005)
- HAUNER, H., BUCHHOLZ, G., HAMANN, A., HUSEMANN, B., KOLETZKO, B., LIEBERMEISTER, H., WABITSCH, M., WESTENHÖFER, J., WIRTH, A., and WOLFRAM, G.: Adipositas und Diabetes mellitus. Evidenzbasierte Leitlinie der Deutschen Adipositas-Gesellschaft, Deutschen Diabetes-Gesellschaft, Deutschen Gesellschaft für Ernährung, Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin. 2007 www.adipositas-gesellschaft.de
- HAUNER, H.: Ernährungsmedizin 2008. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 133, 1381–1383 (2008)
- IOTF*: International Obesity Task Force. www.iotf.com
- KARG, G., KUSTERMANN, W., WAGNER, K., and KNOBLICH, M.: Lebensmittelausgaben im 19. und 20. Jahrhundert und ihr Bezug zum Gesundheitsstatus. In: GRASSMANN, H., ELSTNER, E., und KULOZIK, U. (Hrsg.): *Lebensmittel und Gesundheit. Proceedings zur 2. Wissenschaftstagung am Wissenschaftszentrum für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Freising-Weihenstephan.* 2003
- KINTSCHER, U., HARTGE, M., HESS, K., FORYST-LUDWIG, A., CLEMENZ, M., WABITSCH, M., FISCHER-POSOVSKY, P., BARTH, T. F., DRAGUN, D., SKURK, T., HAUNER, H., BLÜHER, M., UNGER, T., WOLF, A. M., KNIPPSCHILD, U., HOMBACH, V., and MARX, N.: T-lymphocyte infiltration in visceral adipose tissue. A primary event in adipose tissue inflammation and the development of obesity-mediated insulin resistance. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 28, 1304–1310 (2008)
- KNOLL, K.-P., und HAUNER, H.: Kosten der Adipositas in der Bundesrepublik Deutschland. Eine aktuelle Krankheitskostenstudie. *Adipositas* 2, 204–210 (2008)
- KÖSTER, I., FERBER, L. VON, IHLE, P., SCHUBERT, I., and HAUNER, H.: The cost burden of diabetes mellitus: the evidence from Germany – the CoDiM study. *Diabetologia* 48, 1498–1504 (2006)
- KURTH, B.-M., und SCHAFFRATH ROSARIO, A.: Die Verbreitung von Übergewicht und Adipositas bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50, 736–743 (2007)
- KRAL, T. V., ROE, L. S., and ROLLS, B. J.: Combined effect of energy density and portion size on energy intake in women. *Amer. J. Clin. Nutr.* 79, 1962–1968 (2004)
- Max-Rubner-Institut*: Nationale Verzehrsstudie II. Ergebnisbericht Teil 1. www.mri.de
- MOKDAD, A. H., MARKS, J. S., STROUP, D. F., and GERBERDING, J. L.: Actual causes of death in the United States, 2000. *JAMA* 291, 1238–1245 (2004)
- NIELSEN, S. J., and POPKIN, B. M.: Pattern and trends in food portion sizes, 1977–1998. *JAMA* 289, 450–454 (2003)
- OGDEN, C. L., CARROLL, M. D., and FLEGAL, K. M.: High body mass index for age among US children and adolescents, 2003–2006. *JAMA* 299, 2401–2405 (2008)
- PRENTICE, A. M., and JEBB, S. A.: Fast foods, energy density and obesity: a possible mechanistic link. *Obes. Rev.* 4, 187–194 (2003)
- SKURK, T., ALBERTI-HUBER, C., HERDER, C., and HAUNER, H.: Relationship between adipocyte size and adipokine expression and secretion. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 92, 1023–1033 (2007)
- WEISBERG, S. P., MCCANN, D., DESAI, M., ROSENBAUM, M., LEIBEL, R. L., and FERRANTE, A. W.: Obesity is associated with macrophage infiltration in adipose tissue. *J. Clin. Invest.* 112, 1796–1808 (2003)
- WHO* (World Health Organisation): Obesity – Preventing and Managing the Global Epidemic. Technical Report Series. WHO Geneva 2000
- ZELLNER, K., JÄGER, U., and KROMEYER-HAUSCHILD, K.: Height, weight and BMI of schoolchildren in Jena, Germany – are the secular trends levelling off? *Econ. Hum. Biol.* 2, 281–294 (2004)

Prof. Dr. Hans HAUNER
Else-Kröner-Fresenius-Zentrum für Ernährungsmedizin
Klinikum rechts der Isar der TU München
Ismaninger Str. 22
81675 München
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: hauner@wzw.tum.de

Das Wechselspiel des Genoms mit der Ernährungsumwelt

Hannelore DANIEL ML (München)

Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Sequenzierung des menschlichen Genoms erschließen die Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften unter dem Begriff „Nutrigenomics“ die „genomische Ära“ des Wechselspiels von Genom und Ernährungsumwelt. Nutrigenomics versucht die Definition jener molekularen Prozesse, über die Ernährungsfaktoren und Lebensstil die Gen- und Proteinfunktionen und in der Folge das Stoffwechselfgeschehen auf der Basis des „genetischen make-up“ eines Individuums bestimmen. Neben der Identifizierung der genetischen Varianz und der Suszeptibilitätsgene für ernährungsmitbedingte Erkrankungen, wie Adipositas, Diabetes Typ II und kardiovaskuläre Erkrankungen, nutzt man vor allem die Profilierungstechniken der modernen Biowissenschaften und Systembiologie zur umfassenden Beschreibung der Wechselwirkungen von Genom und Ernährungsumwelt.

In der industriellen Forschung dienen die Methoden u. a. der Identifizierung von Wirkmechanismen bestimmter Lebensmittelinhaltsstoffe und für den Nachweis besonderer Eigenschaften von Produkten bei der Entwicklung von *Functional Food*. Kommerzielle Anwendungen der Genotypisierung in Verbindung mit der Erfassung von Ernährungsgewohnheiten dienen der individualisierten Ernährungsberatung und führen als Vision in die „personalisierte Ernährung“.

Beispiele gegenwärtiger akademischer wie industrieller Forschungsanstrengungen zeigen, wie Nutrigenomics und Zukunftsszenarien entwickelt werden.

Abstract

On the basis of human genome sequencing, nutritional science is unlocking the “genomic era”, the interplay between the genome and nutritional environment under the term “nutrigenomics”. Nutrigenomics attempts to define the molecular processes through which nutrition and lifestyle determine the gene and protein functions and, as a result, the metabolic activity, based on an individual’s “genetic make-up”. In addition to identifying genetic variance and the susceptibility genes for nutrition-related diseases such as obesity, diabetes type II and cardiovascular diseases, scientists use state-of-the-art life sciences and system biology profiling techniques to describe in detail the interaction between the genome and the nutritional environment.

In industrial research, the methods serve to identify mechanisms of activity of certain ingredients and to analyze particular product properties when developing functional food. Commercial applications of genotyping are used in individual nutrition counseling along with data on eating habits with the hope that this will one day lead to “personalized nutrition”. Examples of current academic and industrial research efforts show how nutrigenomics and future scenarios are being developed.

Weiterführende Literatur

- FUCHS, D., WINKELMANN, I., JOHNSON, I. T., MARIMAN, E., WENZEL, U., and DANIEL, H.: Proteomics in nutrition research: principles, technologies and applications. *Br. J. Nutr.* 94/3, 302–314 (2005)
- KUSSMANN, M., REZZI, S., and DANIEL, H.: Profiling techniques in nutrition and health research. *Curr. Opin. Biotechnol.* 19/2, 83–99 (2008)
- RIST, M. J., WENZEL, U., and DANIEL, H.: Nutrition and food science go genomic. *Trends Biotechnol.* 24/4, 172–178 (2006)
- VAN OMMEN, B., CAVALLIERI, D., ROCHE, H. M., KLEIN, U. I., and DANIEL, H.: The challenges for molecular nutrition research 4: the “nutritional systems biology level”. *Genes Nutr.* 3/3–4, 107–113 (2008)

Prof. Dr. Hannelore DANIEL
Molecular Nutrition Unit
Technische Universität München
Am Forum 5
85350 Freising-Weihenstephan
Bundesrepublik Deutschland

Nahrungsmittelproduktion

Das Welternährungsproblem: Ursachen und neue Herausforderungen

Matin QAIM und Elisabeth FISCHER (Göttingen)

15 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenhang

Derzeit hungern weltweit etwa eine Milliarde Menschen – über 95 % davon in den Entwicklungsländern Asiens, Afrikas und Lateinamerikas. Die Zahl der Hungernden ist in den vergangenen Jahren sogar angestiegen, so dass das international erklärte Ziel, den Hunger bis zum Jahr 2015 zu halbieren, voraussichtlich nicht erreicht werden kann. In der Öffentlichkeit wird häufig argumentiert, dass global ausreichend Nahrungsmittel produziert würden, so dass der Hunger lediglich ein Verteilungsproblem sei. Diese Auffassung ist falsch. Die Tatsache, dass heute ausreichend Nahrungsmittel zur Verfügung stehen, verdanken wir den enormen Produktionssteigerungen in der Vergangenheit. Die Ausnutzung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten – wie neue Hohertragsorten, Dünger, Pflanzenschutz und Bewässerung – haben die Erträge in der pflanzlichen Produktion in den letzten Jahrzehnten im Durchschnitt verdreifacht. In jüngster Vergangenheit sind die Ertragssteigerungen aber deutlich zurückgegangen, während die weltweite Nachfrage nach Nahrungsmitteln durch demographische und ökonomische Entwicklungen weiter stark zunimmt. Ackerfläche und Wasser werden zunehmend knapp. Hinzu kommt, dass durch die Subventionierung von Biotreibstoffen in Europa und den USA immer mehr Nahrungsmittel in den Tank fließen. Auch die Implikationen des Klimawandels für die Agrarproduktion sind noch nicht ausreichend verstanden; insbesondere für die Entwicklungsländer werden negative Konsequenzen prognostiziert. Diese neuen Herausforderungen verlangen ein Umdenken in der Öffentlichkeit. Produktivitätssteigerungen in der Agrarproduktion sind heute wichtiger denn je, um die Welternährung langfristig zu sichern. Dies erfordert deutlich mehr Investitionen in Agrarforschung und die Ausnutzung auch neuer Technologien, inklusive der Grünen Gentechnik. Dennoch sind globale Produktionssteigerungen keine hinreichende Bedingung für die Bekämpfung des Hungers. Zusätzlich müssen die Einkommen der Armutsbevölkerung nachhaltig gesteigert werden. Da rund 75 % aller Hungernden und Armen weltweit im ländlichen Raum leben, kommt der ländlichen Entwicklung eine besondere Bedeutung zu. Auch hier müssen die Investitionen in Entwicklungsländern deutlich ausgedehnt werden. Neben der Förderung angepasster Agrartechnologien spielen Ausbildung, Infrastruktur und die Anbindung von Kleinbauern an Märkte und Wertschöpfungsketten eine zentrale Rolle.

Abstract

Currently around one billion people are undernourished worldwide. Over 95 % of these people are in developing countries in Asia, Africa and Latin America. The number of undernourished people has even risen in the past few years making the internationally proclaimed target of reducing hunger in half by 2015 difficult to achieve. It is often argued that enough food is being produced globally and that hunger is only a problem of inadequate food distribution. This notion is incorrect. The fact that there is enough food today is thanks to the enormous production increases of the past. The exploitation and further development of technologies such as new highly-yielding crop varieties, fertilizers, pest management and irrigation all led to a threefold increase in plant production yields in the past few decades. However, in the recent past, increases in yields have gone down significantly while global demand for food has risen drastically due to demographic and economic developments. Agricultural crop land and water are becoming increasingly scarce. In addition, the fact that Europe and the US are subsidizing biofuels means more and more food resources are ending up in fuel tanks. The implications of climate change are also not yet understood sufficiently; however, climate change is expected to have an adverse effect particularly on developing countries. These new challenges require a new way of thinking by the public. An increase in agricultural productivity is more important today than ever before in order

to ensure a long-term global food supply. This requires considerably more investment in agricultural research and the exploitation of technologies including green genetic engineering. Yet global production increases are not enough when it comes to fighting hunger. Income for people living in poverty must also rise over the long-term. The development of rural regions is imperative since around 75 % of all poor and hungry people worldwide live in rural areas. Investment into rural areas of developing countries must therefore be increased considerably. Education, infrastructure and connecting small farmers to markets and value chains are vital, as is fostering suitable agricultural technologies.

1. Einleitung

Unter- und Mangelernährung sind weltweit nach wie vor weit verbreitete Probleme. Derzeit sind weltweit ca. eine Milliarde Menschen nicht ausreichend mit Kalorien versorgt, d. h., sie leiden nach der gängigen Definition an chronischem Hunger (FAO 2009). Noch mehr Menschen leiden an Mangel von Mikronährstoffen, insbesondere Eisen, Zink, Jod und Vitamin A. Die negativen Gesundheitsfolgen sind dramatisch. Die Unterversorgung mit wichtigen Nährstoffen zieht körperliche und geistige Entwicklungsstörungen ebenso wie zahlreiche Infektionskrankheiten nach sich und ist der weltweit größte Risikofaktor für frühzeitigen Tod (WHO 2002). Es gibt einen breiten gesellschaftlichen Konsens darüber, dass der Hunger in der Welt reduziert und längerfristig beseitigt werden soll. Weniger groß ist allerdings die Einigkeit darüber, welches die richtigen Ansätze sind. Im Folgenden wird ein Überblick über das Hungerproblem, seine Ursachen und wichtige Bekämpfungsstrategien gegeben.

2. Globale Verbreitung des Hungers

Von den derzeit eine Milliarde hungernden Menschen leben 98 % in den Entwicklungsländern. Obwohl in der öffentlichen Wahrnehmung viele beim Stichwort Hunger vor allem an Afrika denken, leben die meisten hungernden Menschen in Asien. Allein in Indien sind ca. 245 Millionen Menschen nicht ausreichend mit Kalorien versorgt, gefolgt von China, wo ca. 135 Millionen Menschen hungern (Abb. 1). Setzt man die Zahl der Hungernden allerdings ins Verhältnis zur Gesamtbevölkerung, wird deutlich, dass Afrika tatsächlich der Sorgenkontinent ist: Jeder dritte Mensch in Afrika südlich der Sahara leidet an chronischem Hunger. Aufgrund der größeren Gesamtbevölkerung ist diese Prävalenz des Hungers in Asien mit ca. 17 % deutlich niedriger. In Lateinamerika, Nordafrika und dem Nahen Osten liegt die Prävalenz bei ca. 10 %.

Wie haben sich die Hungerzahlen in den vergangenen Jahren entwickelt? Das erste UN-Millenniumsziel sieht ausgehend von den Zahlen von 1990 die Halbierung des Hungers bis 2015 vor. Tatsächlich sind die Hungerzahlen in der ersten Hälfte der 1990er Jahre leicht zurückgegangen. Seitdem steigen sie aber wieder, so dass es heute weltweit mehr hungernde Menschen gibt als vor 20 Jahren (Abb. 2). Insbesondere in den vergangenen drei Jahren ist die Zahl der Hungernden nochmals deutlich in die Höhe gegangen, so dass erstmals auch die Prävalenz des Hungers wieder angestiegen ist. Vor diesem Hintergrund ist die Erreichung des Millenniumsziels bis 2015 äußerst unwahrscheinlich geworden. Lässt man bei der Betrachtung China außen vor, wo es in der jüngeren Vergangenheit deutliche Erfolge in der Hungerbekämpfung gab, sieht die Situation für die verbleibenden Entwicklungsländer und Regionen sogar noch schlechter aus: Ein kontinuierlicher Anstieg in den Hungerzahlen seit 1990. Dies verdeutlicht, dass das Problem international nicht die notwendige Priorität erhält.

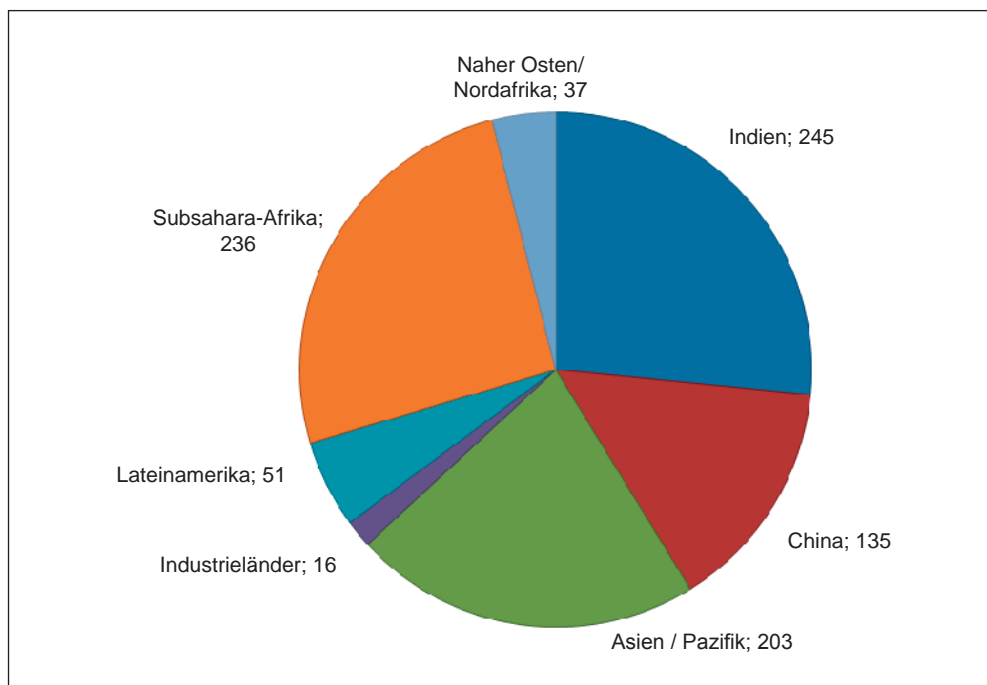


Abb. 1 Welthunger 2007 (in Mio. Menschen). Quelle: Berechnungen der Autoren auf Basis von FAO 2008a, 2006

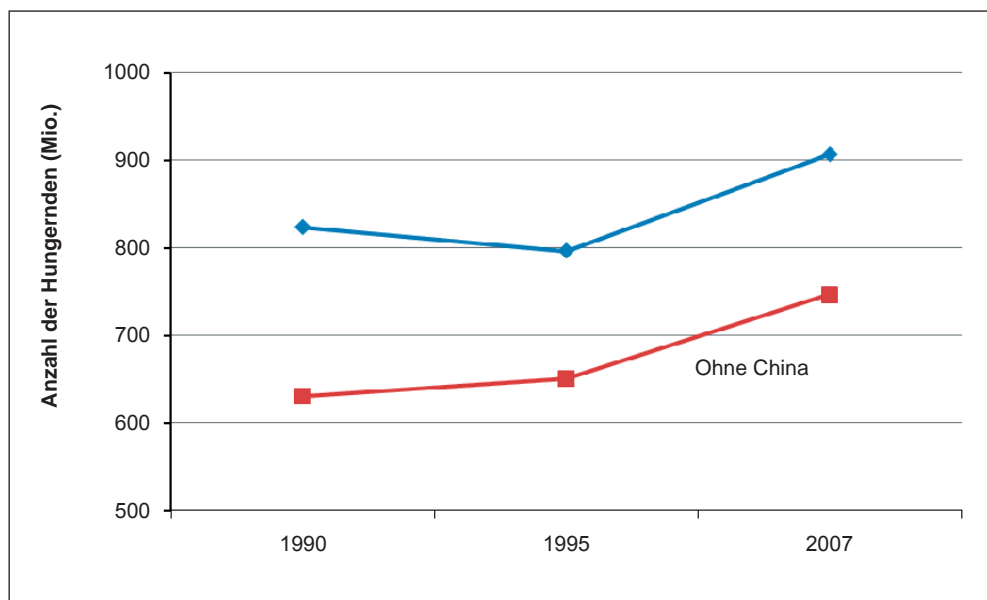


Abb. 2 Entwicklung der Hungerzahlen in den Entwicklungsländern. Quelle: Eigene Berechnungen der Autoren basierend auf FAO 2008a, 2006

3. Ein Produktions- oder Verteilungsproblem?

Die Ursachen für das andauernde Hungerproblem sind vielfältig. Hierbei geht es insbesondere um die Frage, ob Hunger eher als ein Produktions- oder ein Verteilungsproblem zu betrachten ist. Werden global gesehen nicht genügend Nahrungsmittel produziert, um alle Menschen zu ernähren, oder sind die vorhandenen Nahrungsmittel lediglich ungerecht verteilt? Addiert man den Nährwert aller weltweit produzierten Nahrungsmittel auf und teilt diesen durch die Weltbevölkerung, ergibt sich heute eine theoretische Verfügbarkeit von 2800 kcal pro Kopf und Tag. Über alle Altersgruppen hinweg liegt die durchschnittliche Ernährungsempfehlung bei ca. 2300 kcal, also deutlich unterhalb der theoretischen Verfügbarkeit (Abb. 3). Dennoch hungern eine Milliarde Menschen, was klar zeigt, dass es ein gravierendes Verteilungsproblem gibt.

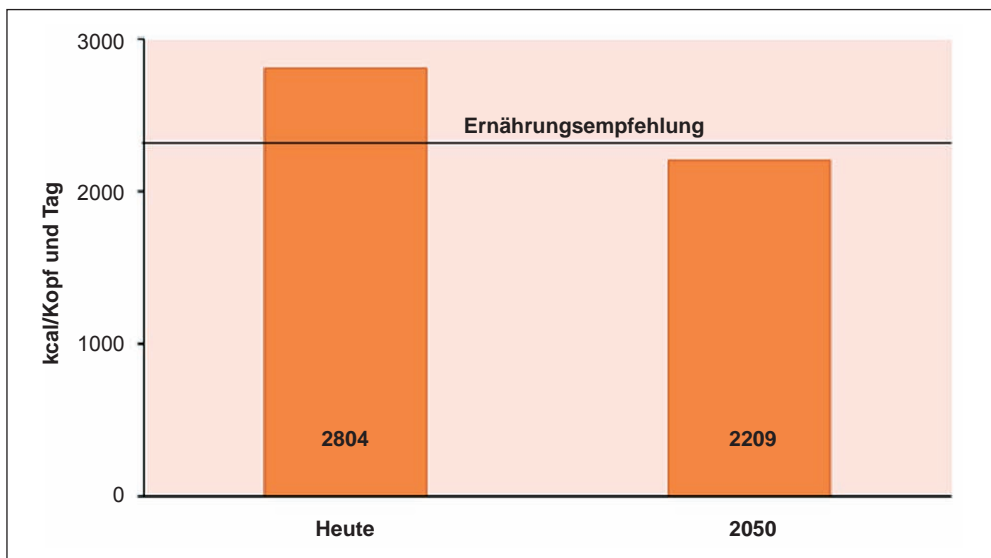


Abb. 3 Tägliche Pro-Kopf-Kalorienverfügbarkeit ohne Produktionssteigerung (weltweit). Quelle: Berechnungen der Autoren auf Basis von FAO 2008b und UN 2007

Aber ist der Hunger deswegen „nur“ ein Verteilungsproblem? Nein, denn eine solch statische Betrachtung vernachlässigt, dass die Weltbevölkerung im Zeitablauf wächst. Ohne zukünftige Produktionssteigerungen läge die Pro-Kopf-Verfügbarkeit im Jahr 2050 bei lediglich 2200 kcal, was je nach Verteilung vermutlich zu einer Verdopplung der Hungerzahlen führen würde. Bei einer absoluten Gleichverteilung müssten dann sogar alle Menschen hungern. Diese einfachen Berechnungen verdeutlichen, dass der Hunger sowohl ein Produktions- als auch ein Verteilungsproblem darstellt. Selbst auf die heutige Situation bezogen wäre es falsch, den Hunger lediglich auf die Verteilungsproblematik zu beschränken, denn die Tatsache, dass momentan ausreichend Nahrung zur Verfügung steht, verdanken wir allein den beträchtlichen Produktionssteigerungen der Vergangenheit.

In den letzten 50 Jahren ist die Nahrungsproduktion deutlich stärker gestiegen als die Weltbevölkerung, wodurch sich die Pro-Kopf-Verfügbarkeit entscheidend verbessert hat. Dies ist

vor allem auf höhere Flächenerträge zurückzuführen, die durch neue Pflanzensorten ebenso wie verbesserte Bewässerung, Düngung und Pflanzenschutz ermöglicht wurden (EVENSON und GOLLIN 2003). Insbesondere für wichtige Grundnahrungsmittel wie Weizen, Reis und Mais haben sich die Erträge in den vergangenen Jahrzehnten teilweise mehr als verdreifacht. Diese Produktionssteigerungen haben dazu geführt, dass die Preise auf dem Weltmarkt deutlich gesunken sind (Abb. 4). Ausgedrückt in realen Preisen von 1990 kostete beispielsweise Anfang der 1960er Jahre eine Tonne Reis noch fast 500 US\$, während der Preis im Jahr 2005 bei rund 200 US\$ lag. Für Weizen und Mais konnte insgesamt ein ähnlicher Trend beobachtet werden.

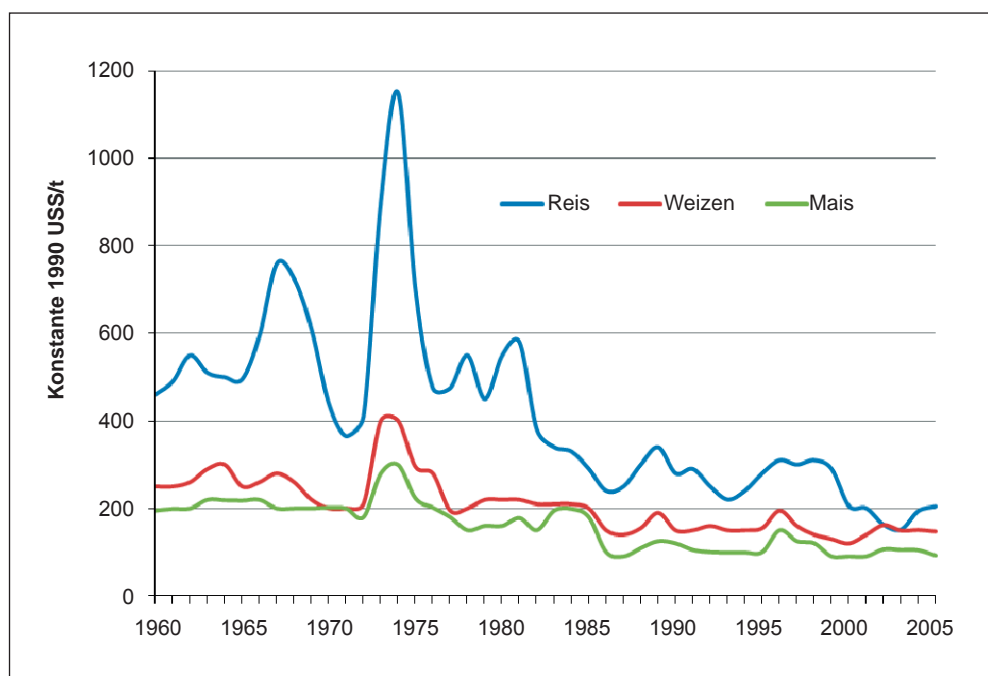


Abb. 4 Preisentwicklung 1960–2005 (real). Quelle: FAO 2008c

Seit 2006 sind die Preise allerdings deutlich gestiegen, was unterstreicht, dass billiger werdende Nahrungsmittel kein Naturgesetz sind. Vor allem in der ersten Jahreshälfte 2008 war der Preisanstieg für Getreide sprunghaft (Abb. 5), was auf eine akute Verknappung hindeutet. Tatsächlich ist in den vergangenen Jahren die Getreidenachfrage schneller gestiegen als das Angebot, so dass die weltweiten Getreidelager stark dezimiert wurden. Neben anhaltendem Bevölkerungs- und Einkommenswachstum gab es dürrebedingte Ernteausfälle in einigen Regionen. Hinzu kam die stark gestiegene Nachfrage nach Getreide und Ölsaaten für die Biotreibstoffnutzung. Vor allem in der EU und den USA werden Biotreibstoffe massiv staatlich subventioniert. So wurde in den USA im Jahr 2007 bereits ein Drittel der gesamten Maisernte zu Bioethanol verarbeitet. Es wird geschätzt, dass die erhöhte Getreidenachfrage für Biotreibstoffzwecke für ca. 30 % des beobachteten weltweiten Preisanstiegs in den vergangenen Jahren verantwortlich war, bei Mais sogar für fast 40 % (ROSEGRANT 2008).

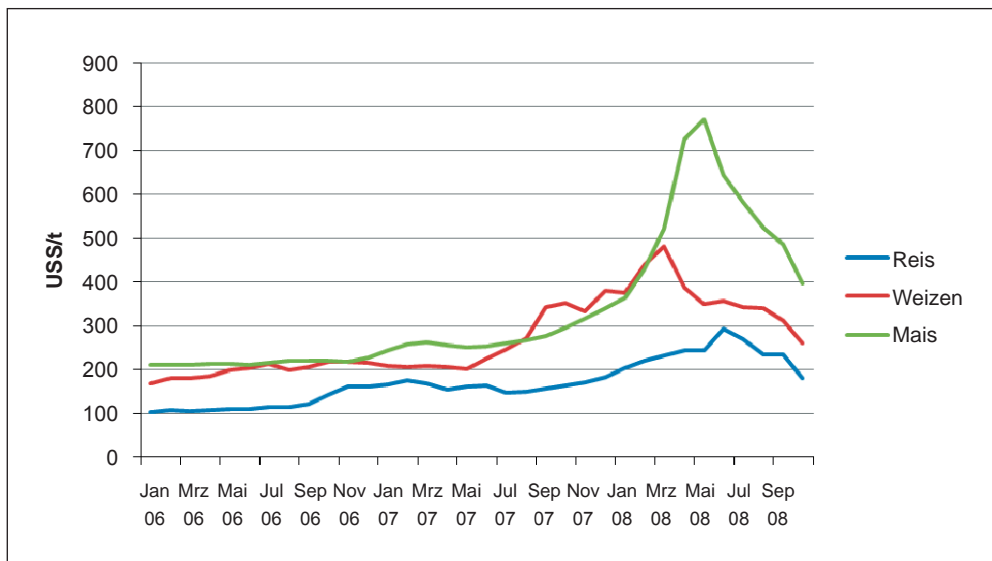


Abb. 5 Preisentwicklung 2006–2008 (nominal). Quelle: FAO 2008c

Internationale Anlagefonds und Marktspekulationen trieben die Preise zusätzlich in die Höhe, und auch kurzfristig verhängte Exportrestriktionen in einigen Ländern hatten einen entscheidenden Einfluss. Zwar sind die Nahrungspreise in der zweiten Jahreshälfte 2008 wieder etwas gefallen, aber dennoch ist davon auszugehen, dass sie zukünftig auf einem höheren Niveau als in den vergangenen 15 Jahren bleiben werden (OECD 2008).

4. Bedeutung hoher Preise für Hunger und Armut

Der drastische Preisanstieg hat die Ernährungs- und Armutssituation vieler Menschen zusätzlich verschärft. IVANIC und MARTIN (2008) konnten auf Basis detaillierter Haushaltsdaten zeigen, dass sich die weltweite Armutsrate aufgrund des Anstiegs der Preise für wichtige Grundnahrungsmittel von 2005 bis 2008 durchschnittlich um drei Prozentpunkte erhöht hat. Dabei ist der Anstieg der Armut in städtischen Gebieten mit 3,6 Prozentpunkten deutlich höher als in ländlichen Regionen mit 2,5 Prozentpunkten. Diese Ergebnisse sind nicht verwunderlich, denn arme Menschen in den Entwicklungsländern geben oftmals über 70% ihres Einkommens für Nahrungsmittel aus. Wenn Nahrungsmittelpreise steigen, sinkt die Kaufkraft, so dass mehr Menschen ihre Grundbedürfnisse nicht befriedigen können. Allerdings variieren die Effekte von Land zu Land, weil die Struktur der Armut unterschiedlich ist. Während Nahrungskonsumenten unter steigenden Preisen leiden, können Produzenten teilweise profitieren. Auch Unterschiede in der Anpassung des Lohnniveaus an Inflation und in der Art staatlicher Hilfsprogramme tragen mit dazu bei, dass die Armutseffekte nicht einheitlich sind. In Vietnam ist z. B. die Armutsrate durch die steigenden Preise gesunken; in Peru ist sie mehr oder weniger unverändert geblieben (Abb. 6). In der überwiegenden Zahl der Entwicklungsländer ist die Armutsrate jedoch kurzfristig deutlich gestiegen.

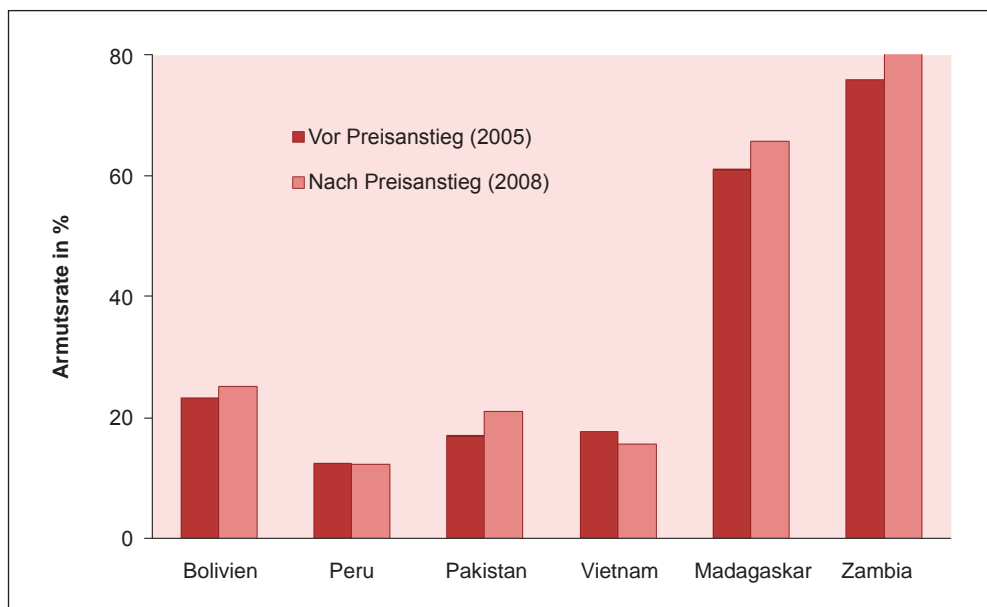


Abb. 6 Armutseffekte von Preissteigerungen bei Nahrungsmitteln. Quelle: IVANIC und MARTIN 2008

Über die globalen Ernährungseffekte der Preissteigerungen gibt es kaum konkrete Angaben. Die FAO (2009) schätzt auf Basis aggregierter Daten, dass sich die Zahl der weltweit hungernden Menschen durch die gestiegenen Preise von um mehr als 100 Millionen vergrößert hat. ECKER und QAIM (2008) haben detailliertere Ergebnisse auf Basis von Haushaltsdaten für Malawi vorgelegt. Ein Preisanstieg um 50 % allein für das dort wichtigste Grundnahrungsmittel Mais hat die Prävalenz des Hungers von 34 % auf 40 % erhöht (Abb. 7). Für einige Mikronährstoffe – wie Eisen, Zink und Vitamine – ist der Anstieg der Unterversorgung sogar noch dramatischer ausgefallen. Wenn die Kaufkraft sinkt, wird in Armutshaushalten vor allem der Konsum von Obst, Gemüse und tierischen Produkten eingeschränkt. Gerade diese höherwertigen Produkte enthalten aber mehr Mikronährstoffe als Grundnahrungsmittel. Mikronährstoffmangel hat vor allem bei Kindern schwerwiegende und oftmals permanente Gesundheitsfolgen, so dass kurzfristige Interventionen dringend erforderlich sind. Dies gilt nicht nur für Malawi, sondern auch für andere Entwicklungsländer, wo prinzipiell ähnliche Ernährungseffekte zu erwarten sind.

5. Längerfristige Trends der Nachfrage

Die zukünftige Welternährungslage wird maßgeblich davon abhängen, wie sich die Nahrungsnachfrage und das Angebot weiter entwickeln werden. Auf der Nachfrageseite spielen vor allem Bevölkerungs- und Einkommenstrends eine entscheidende Rolle. Das weltweite Bevölkerungswachstum verlangsamt sich zwar im Zeitablauf, derzeit beträgt der Zuwachs aber immer noch fast 80 Millionen Menschen pro Jahr (UN 2007). Auch im Jahr 2030 werden zu den dann über 8 Milliarden Menschen jährlich noch gut 50 Millionen hinzukommen. Bis

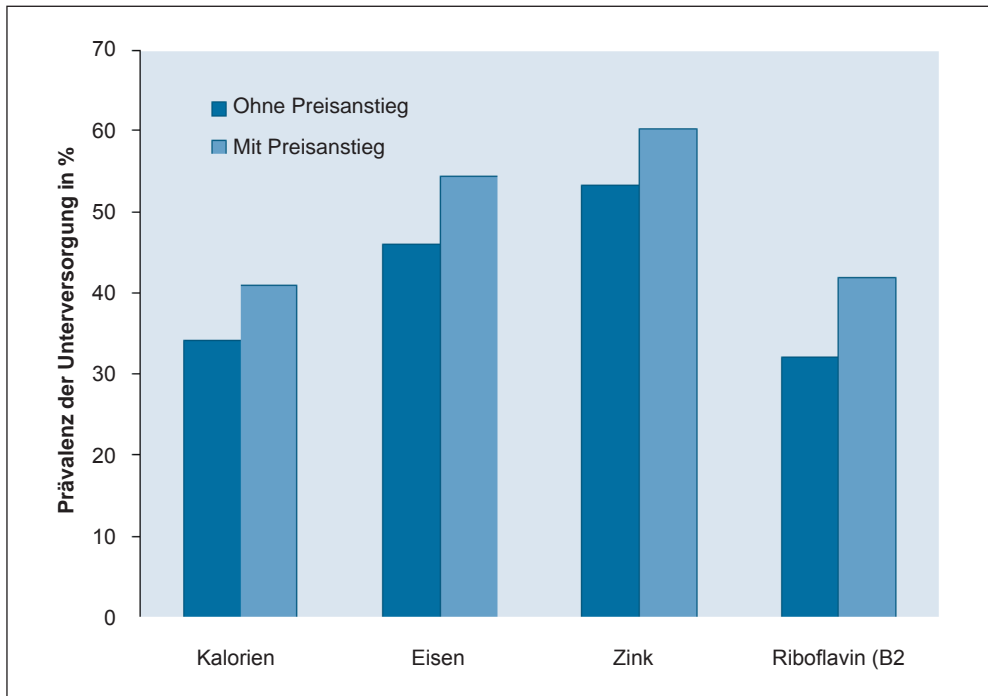


Abb. 7 Ernährungseffekte eines Maispreisanstiegs um 50 % in Malawi. Quelle: ECKER und QAIM 2008

2050 werden über 9 Milliarden Menschen auf der Erde erwartet. Dieser Anstieg wird fast ausschließlich in den heutigen Entwicklungsländern stattfinden. Hinzu kommt dass mit wachsendem wirtschaftlichem Erfolg vieler Entwicklungs- und Schwellenländer die Einkommen der Bevölkerung steigen, d. h., es müssen nicht nur mehr Menschen ernährt werden, sondern auch die Pro-Kopf-Nachfrage steigt. Derzeit wächst das Volkseinkommen in den Entwicklungsländern im Schnitt mit fast 6 % pro Jahr (*World Bank 2007*).

Mit steigendem Einkommen verändern sich auch die Konsumpräferenzen. Aufstrebende Mittelschichten in vielen Entwicklungsländern fragen vermehrt höherwertige Nahrungsmittel nach. Beispielsweise hat sich der Pro-Kopf-Fleischkonsum in China in den vergangenen 15 Jahren verdoppelt; der Konsum von Milch und Milchprodukten hat sich sogar mehr als verdreifacht (*FAO 2008b*). Ähnliche Trends sind in anderen Ländern und Regionen ebenfalls zu beobachten oder für die Zukunft zu erwarten. Die tierische Produktion findet zunehmend auf Getreidebasis statt, wobei erhebliche Veredelungsverluste entstehen. Für die Herstellung von 1 kg Rindfleisch werden im Schnitt 7 bis 8 kg Getreide benötigt. Entsprechend stellen die Präferenzverschiebungen eine besondere Herausforderung für die Agrarproduktion dar. Bevölkerung- und Einkommenswachstum zusammen mit geänderten Präferenzen werden die Nahrungsnachfrage bis 2030 um mindestens 50 % erhöhen und bis 2050 fast verdoppeln.

Aber auch die Nachfrage nach Agrarprodukten für die Biotreibstoffnutzung nimmt zu, wie oben bereits erläutert. In der EU und den USA wird dieser Trend allein durch politische Subventionen getrieben. Ohne diese Subventionen wären die Verfahren nicht wettbewerbsfähig. Anders ist die Situation in Brasilien und einigen anderen Entwicklungsländern, wo die

Erzeugung von Bioethanol aus Zuckerrohr auch ohne staatliche Förderung wettbewerbsfähig ist. Vor dem Hintergrund hoher Ölpreise ist davon auszugehen, dass die Biotreibstoffnutzung weltweit weiter ansteigen wird.

Längerfristig werden hierfür möglicherweise Pflanzen genutzt werden können, die auf Marginalstandorten wachsen, so dass die unmittelbare Konkurrenz mit der Nahrungsproduktion abgeschwächt wird. Kurz- und mittelfristig gibt es aber eine direkte Konkurrenz zwischen Tank und Teller. Simulationen zeigen, dass eine starke Ausdehnung der weltweiten Biotreibstoffnutzung die Kalorienverfügbarkeit vor allem in den Entwicklungsländern deutlich verschlechtern würde (Abb. 8). Am stärksten betroffen wäre die Bevölkerung in Afrika, wo die Kalorienverfügbarkeit um mehr als 8 % sinken würde, was die dortige Hungersituation nochmals drastisch verschärfen könnte. Insofern sollte zumindest hierzulande, wo Biotreibstoffe der ersten Generation massiv staatlich gefördert werden, die Strategie gründlich überdacht werden.

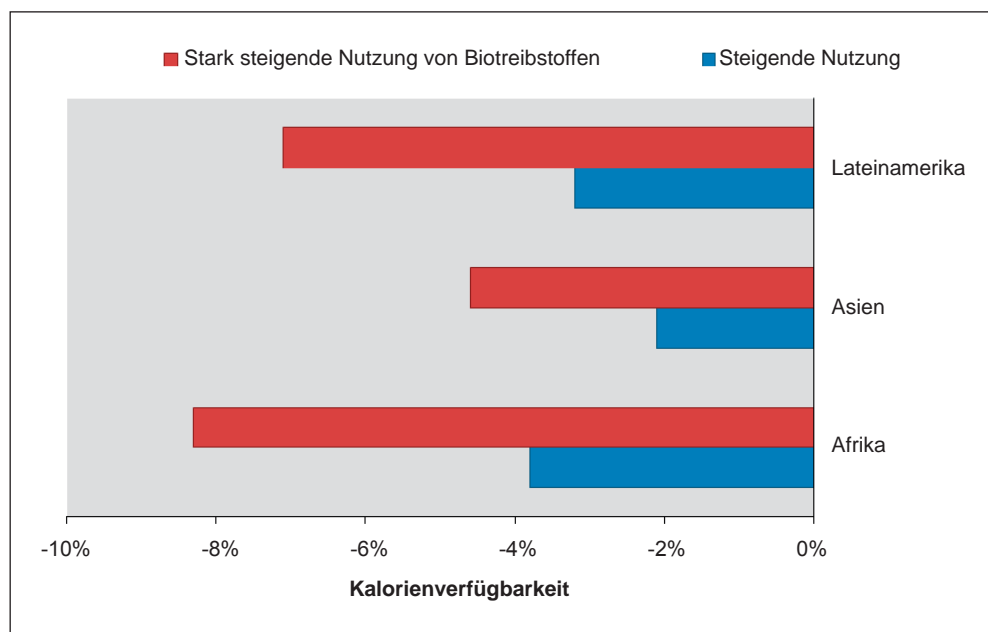


Abb. 8 Biotreibstoffe versus Nahrung (Szenarien). Quelle: VON BRAUN 2008

6. Längerfristige Trends des Angebots

Um die wachsende Nachfrage nach Nahrung und Bioenergie zukünftig decken zu können, sind enorme Produktionssteigerungen nötig. Wie können diese erreicht werden? Prinzipiell gibt es zwei mögliche Stellschrauben, zum einen die Ausdehnung der Ackerfläche und zum anderen die Steigerung der Erträge auf der bestehenden Fläche. Die Möglichkeit der Flächenausdehnung über die heute genutzten rund 1,4 Milliarden ha Ackerfläche hinaus wird teilweise kontrovers diskutiert. In einigen Regionen der Welt gibt es durchaus noch Flächen,

die zusätzlich in die Produktion genommen werden könnten – auch ohne die Abholzung von Wäldern. In den Staaten der ehemaligen Sowjetunion gibt es beispielsweise rund 20 Millionen ha Bracheflächen, von denen ein Großteil früher schon ackerbaulich genutzt wurde. In Südamerika und Teilen Afrikas gibt es beträchtliche Flächen Gras- und Savannenland, welches bei entsprechender Infrastrukturentwicklung in Ackerland umgewandelt werden könnte. Allerdings ist auch der Umbruch von Gras- und Savannenland mit ökologischen Kosten verbunden, vor allem im Hinblick auf Biodiversität und Kohlendioxidbilanz. Auch muss bedacht werden, dass weltweit jährlich 5 bis 10 Millionen ha Ackerland durch Erosion und Versalzung verloren gehen und dass auch die zunehmende Urbanisierung zusätzliche Landressourcen verbraucht. Insofern ist netto nicht davon auszugehen, dass die Ackerfläche sich weltweit deutlich vermehren lässt. Folglich muss die notwendige Produktionssteigerung in erster Linie über höhere Erträge bewerkstelligt werden.

Höhere Erträge sind prinzipiell durch intensivere Produktion und durch technischen Fortschritt möglich. Intensivere Produktion hieße höhere Inputmengen, wie Wasser, Dünger und Pflanzenschutz. Zwar besteht in manchen Regionen noch Potenzial für die Ausdehnung von Bewässerung, aber an vielen Standorten ist die Verfügbarkeit von Wasser bereits heute ein stark limitierender Faktor. Wie sieht es mit Agrarchemikalien aus? Auch hier ist in vielen Regionen eine weitere Intensivierung ackerbaulich nicht sinnvoll und teilweise aufgrund der negativen Umwelteffekte auch nicht wünschenswert. Allerdings müssen Aussagen regional differenziert werden. Insbesondere in Afrika werden bisher im Schnitt weniger als 20 kg Mineraldünger pro ha eingesetzt, was nur ungefähr einem Zehntel der Menge entspricht, die in vielen Industrieländern üblich ist. Generell ist das Niveau des Produktionsmitteleinsatzes vor allem in der Subsistenzlandwirtschaft gering, weil lokale Märkte schlecht funktionieren und nicht die nötigen Anreize für intensivere Produktion übermitteln. In solchen Fällen ist es durchaus sinnvoll, Maßnahmen zu ergreifen, die eine bessere Anbindung an Märkte gewährleisten. An vielen Standorten in den Entwicklungsländern könnte ein höherer Einsatz an Düngung und Pflanzenschutz die effektiven Erträge noch deutlich steigern.

Abbildung 9 zeigt die Getreideertragsentwicklungen für unterschiedliche Regionen im Zeitablauf. Hier fallen deutliche Ertragslücken zwischen den Industrie- und Entwicklungsländern auf. Zum Teil sind diese durch klimatische und agrarökologische Faktoren zu erklären, zum Teil durch unterschiedliche Intensitäten. Ein Großteil der Lücken lässt sich aber auch auf unterschiedliche Technologieniveaus zurückführen. Insbesondere in Afrika, wo die Grüne Revolution bisher wenig erfolgreich war, stagnieren die durchschnittlichen Erträge auf einem sehr niedrigen Niveau. Längerfristig werden sich die Erträge nur dann nachhaltig steigern lassen, wenn neue Sorten und Technologien entwickelt werden, die standörtlich angepasst sind und knappe Ressourcen effizient nutzen. Technologie wird also für die notwendige Produktionssteigerung die Hauptrolle spielen müssen – das gilt für Afrika, aber auch für andere Teile der Welt. Dies erfordert umfangreiche und gezielte Agrarforschung.

Ein Indikator zur Messung der Agrarforschungsintensität ist der prozentuale Anteil der Forschungsausgaben an der sektoralen Wertschöpfung. Als Faustzahl wird häufig ein Anteil von 2,5 % für nachhaltige landwirtschaftliche Entwicklung gefordert. Tabelle 1 zeigt, dass die öffentlichen Agrarforschungsausgaben weltweit deutlich niedriger liegen. In den Entwicklungsländern beträgt die Agrarforschungsintensität sogar nur etwa 0,5 %, und sie hat sich zwischen 1981 und 2000 kaum verändert. Im subsaharischen Afrika ist der Anteil im Zeitablauf sogar deutlich gesunken. Die Werte in Tabelle 1 beziehen sich auf die nationalen Ausgaben innerhalb der Länder. Hinzu kommen die Ausgaben der internationalen Entwicklungshilfe,

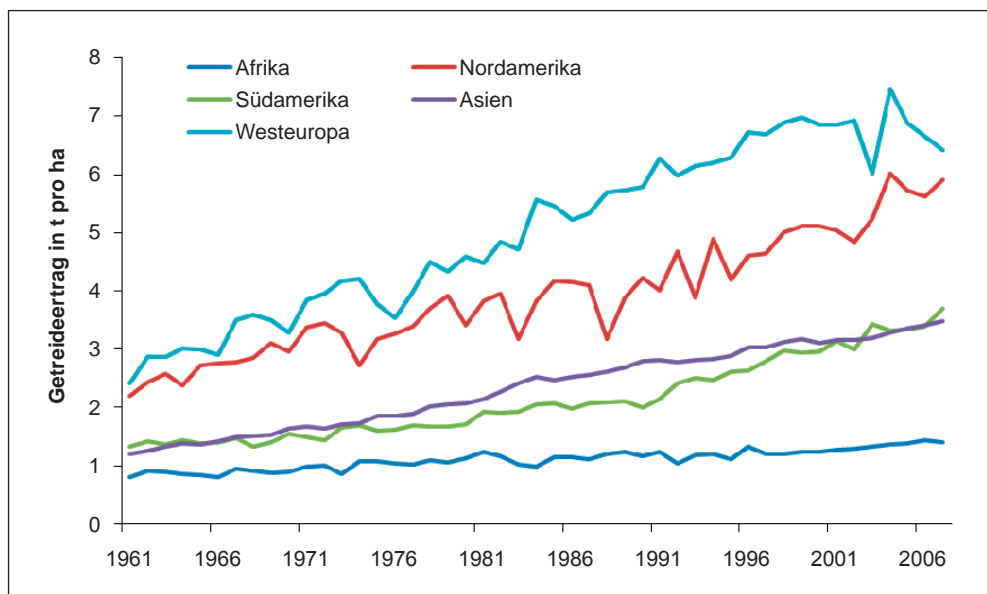


Abb. 9 Regionale Ertragsentwicklungen 1961–2007. Quelle: FAO 2008b

wo allerdings die Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung verloren hat. Während in den 1970er Jahren teilweise mehr als 20% aller internationalen Entwicklungshilfeausgaben in den Agrarsektor flossen, ist der Anteil seitdem kontinuierlich gesunken; 2005 lag er bei unter 8%. In den letzten drei Jahren ist der Anteil wieder etwas gestiegen, jedoch muss insgesamt konstatiert werden, dass die internationale Agrarforschung in den vergangenen 20 Jahren eine viel zu geringe Priorität hatte.

Tab. 1 Öffentliche Agrarforschungsintensität (Ausgaben relativ zur landwirtschaftlichen Wertschöpfung, in%). Quelle: World Bank 2007

	1981	2000
Welt	0,79	0,80
Industrieländer	1,41	2,36
Entwicklungsländer	0,52	0,53
Asien	0,36	0,41
Subsahara-Afrika	0,84	0,72
Lateinamerika	0,88	1,15

Die Konsequenzen der zu geringen Investitionen in die Agrarforschung sind durch die jüngsten Preisturbulenzen besonders deutlich geworden, allerdings gibt es schon seit längerem klare Indizien. Die weltweite Getreideproduktion steigt zwar nach wie vor an, aber die Zuwächse sind in den letzten 20 Jahren signifikant zurückgegangen. Die Produktion pro Kopf sinkt sogar seit Mitte der 1980er Jahre (Abb. 10), was zum Teil daran liegt, dass mehr Öl-

saaten angebaut wurden, was aber auch damit zusammenhängt, dass die Erträge vielerorts stagnieren. Die heutige Pro-Kopf-Getreideverfügbarkeit entspricht in etwa dem Niveau der frühen 1960er Jahre.

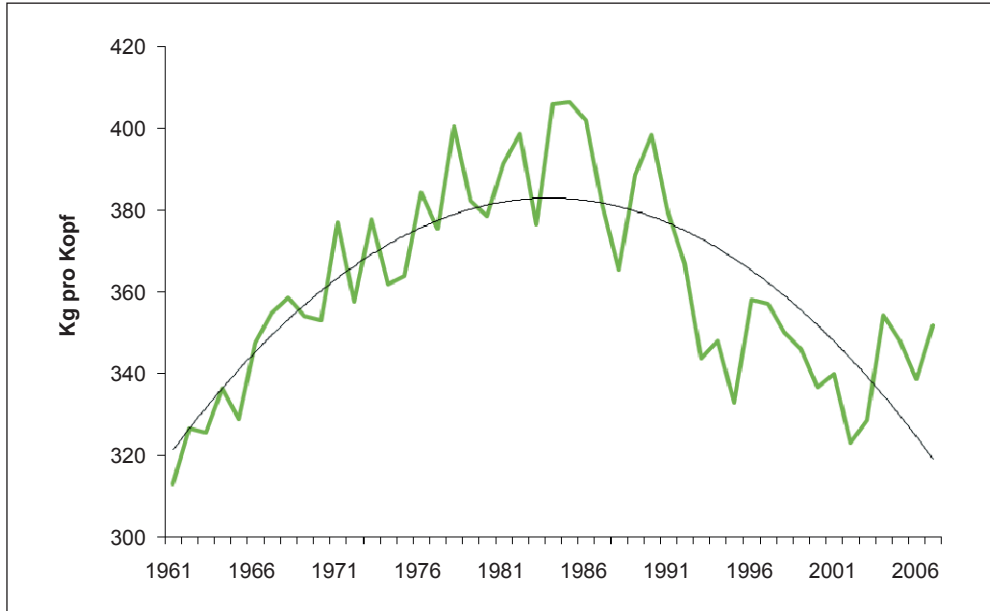


Abb. 10 Weltweite Getreideproduktion pro Kopf 1961–2007. Quelle: FAO 2008b

Für eine nachhaltige Ernährungssicherung muss dieser Trend umgekehrt werden. Das erfordert eine deutliche Ausdehnung der Agrarforschung, was auch die Ausnutzung neuer Technologien beinhaltet. Hierzu gehört u. a. die Grüne Gentechnik, die große Potenziale bietet, die globale Agrarproduktion zu steigern und unabhängiger von chemischen Inputs zu machen. Ebenso gibt es viel versprechende Ansätze für die Entwicklung von Pflanzen mit größerer Toleranz gegen Wasserstress, Hitze und Bodenversalzung, was vor allem vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels bedeutsam ist. Insbesondere in tropischen Regionen nimmt die Häufigkeit von Wetterextremen zu. Auf internationaler Ebene ist die Grüne Gentechnik bereits seit über 10 Jahren Realität. Seit Mitte der 1990er Jahre werden transgene Pflanzen angebaut, deren Produktion im Jahr 2007 auf fast 120 Millionen ha stattfindet (Abb. 11). Angebaut werden vor allem transgene Sojabohnen, Mais, Baumwolle und Raps. An dieser Entwicklung sind sowohl Industrie- als auch Entwicklungsländer beteiligt, mit Ausnahme von Europa. Lediglich in Spanien werden derzeit etwa 80 000 ha Bt-Mais angebaut. In anderen Ländern der EU ist der Anbau bisher vernachlässigbar.

Das Hinterherhinken Europas liegt vor allem an den politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die gentechnische Innovationen bremsen oder sogar ganz verhindern. Die Akzeptanz der Grünen Gentechnik innerhalb der Bevölkerung ist aus verschiedenen Gründen gering. Produktionssteigerungen sind lange Zeit nicht als notwendig erachtet worden, und das Argument, die Technologie könne helfen, den Hunger zu bekämpfen, wurde in

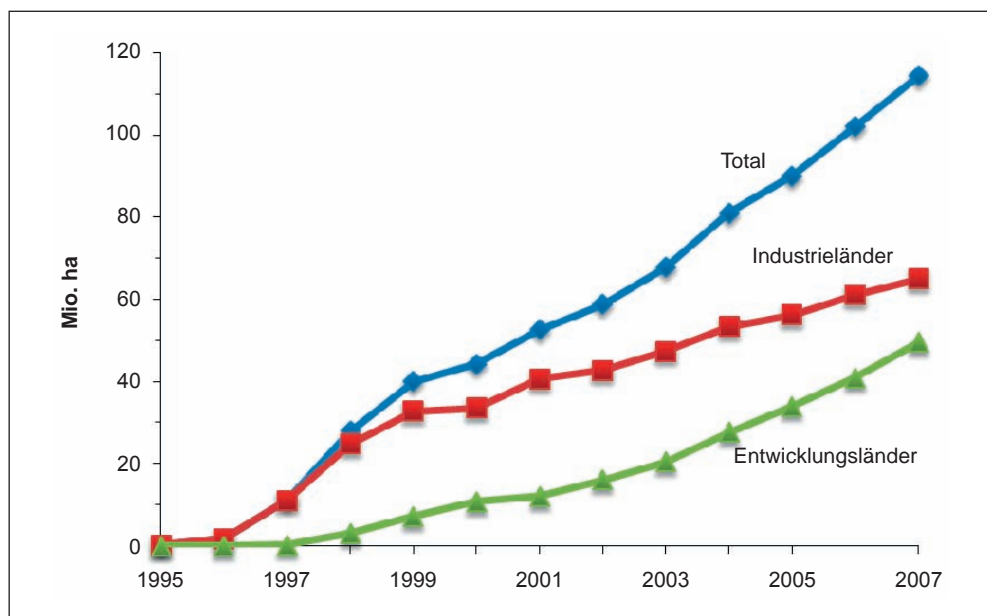


Abb. 11 Transgene Fläche weltweit 1995–2007. Quelle: JAMES 2007

der Öffentlichkeit als Industriepropaganda abgetan. Schon gar nicht müsse die Gentechnik in Europa angewendet werden, um die Ernährung in den Entwicklungsländern zu verbessern, so die Argumentation der Kritiker. Es ist richtig, dass die Agrarproduktion vor allem in den Entwicklungsländern gefördert werden muss, aber dennoch sind auch hiesige Produktionssteigerungen wichtig für die Welternährungssicherung. Denn schon heute sind die meisten Entwicklungsländer Nettoimporteure von Getreide und anderen Nahrungsmitteln, und diese Nettoimportsituation wird sich in Zukunft weiter verstärken (Abb. 12). Insofern tragen die Industrieländer mit ihren agrarischen Gunstandorten in den gemäßigten Breiten eine besondere Verantwortung für die globale Ernährungssicherung und Technologieentwicklung.

7. Ländliche Entwicklung in Entwicklungsländern

Produktionssteigerungen allein sind zwar notwendige aber keine hinreichende Bedingung für globale Ernährungssicherung, denn – wie oben dargelegt – ist der Hunger auch ein Verteilungsproblem. Ernährungssicherheit ist nach gängiger Definition dann gegeben, wenn alle Menschen zu jeder Zeit ungehinderten physischen, sozialen und ökonomischen Zugang zu ausreichender und ausgewogener Ernährung haben, um ein aktives und gesundes Leben zu führen. Der Zugang zu Ernährung wird vor allem durch das Haushaltseinkommen bestimmt. Insofern können vor allem Einkommenssteigerungen bei den Hungernden die Ernährungssicherung verbessern.

Für eine gezielte Förderung von Einkommenssteigerungen ist es zunächst notwendig, zu wissen, wer die Hungernden eigentlich sind und aus welchen Quellen sie ihr Einkommen

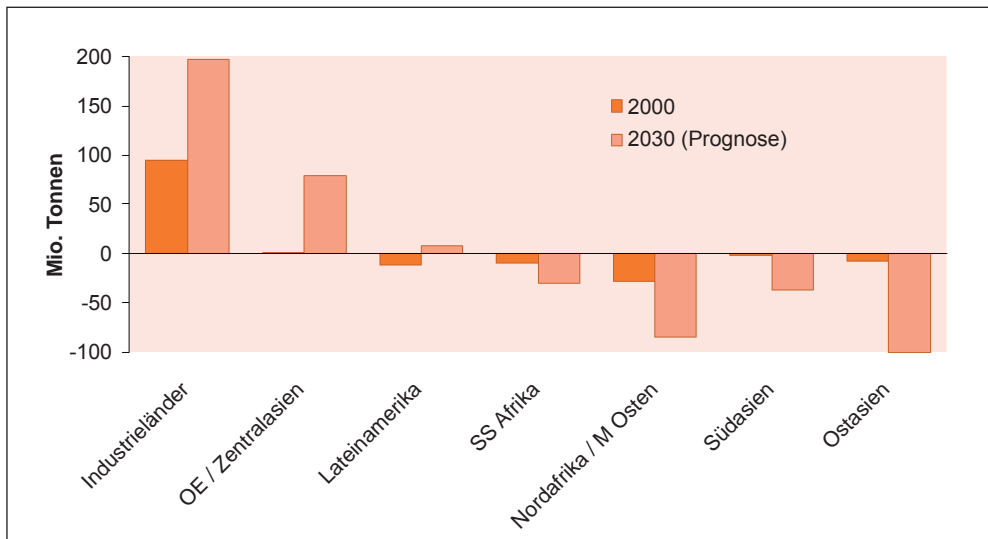


Abb. 12 Entwicklungen im Getreidehandel (Nettoexporte sind positiv abgetragen). Quelle: World Bank 2007

beziehen. Trotz der Urbanisierungstendenzen in den Entwicklungsländern sind Hunger und Armut nach wie vor stark ländlich geprägte Phänomene. Fast 80 % der weltweit Hungernden leben in ländlichen Regionen und sind dort direkt oder indirekt von der Landwirtschaft abhängig. 50 % aller Hungernden sind Kleinbauern (Abb. 13). Vor diesem Hintergrund mag es überraschen, dass die steigenden Agrarpreise der letzten Jahre die Hunger- und Armutssituation verschärft haben, denn Bauern sollten doch von steigenden Preisen eigentlich profitieren. Tatsächlich sind aber Armutshaushalte, auch wenn sie Bauern sind, häufig keine Nettoverkäufer von Grundnahrungsmitteln. Viele Kleinbauernfamilien wirtschaften subsistent, oder sie sind Nettozukaufener, so dass steigende Preise die Einkommens- und Ernährungssituation verschlechtern. Die Gründe für die geringe Produktion der Kleinbauern sind u. a. niedrige Produktivität, schlechte Marktanbindung und fehlender Zugang zu Inputs und Innovation. Würde man diese Bedingungen verbessern, könnten viele Kleinbauern längerfristig durchaus auch von steigenden Agrarpreisen profitieren.

Zentraler Bestandteil einer verbesserten Marktanbindung ist der Ausbau der Infrastruktur. In weiten Teilen Afrikas und Asiens leben viele Bauern in entlegenen Dörfern ohne asphaltierte Straßen, wo es regelmäßig mehrere Stunden dauert, den nächsten Markt zu erreichen. Inputs zukaufen oder Produkte verkaufen zu wollen, ist in solchen Situationen mit erheblichen Transport- und Transaktionskosten verbunden, so dass die Subsistenzproduktion häufig die logische Konsequenz ist. Der Nutzen verbesserter Infrastrukturbedingungen liegt demnach auf der Hand: Zukaufspreise in ländlichen Regionen sinken und Verkaufspreise steigen, so dass neue Anreize zur Intensivierung und Vermarktung entstehen. AHMED (1994) hat beispielsweise für Bangladesch gezeigt, dass der Anteil der Kleinbauern, die Reis vermarkten, in Dörfern mit besser entwickelter Infrastruktur deutlich höher ist als in Dörfern mit schlecht entwickelter Infrastruktur (Abb. 14).

Infrastruktur trägt zur Einkommenssteigerung und Armutsreduktion im ländlichen Raum bei, aber sie verbessert auch den Zugang zu neuen Technologien, die ihrerseits wiederum

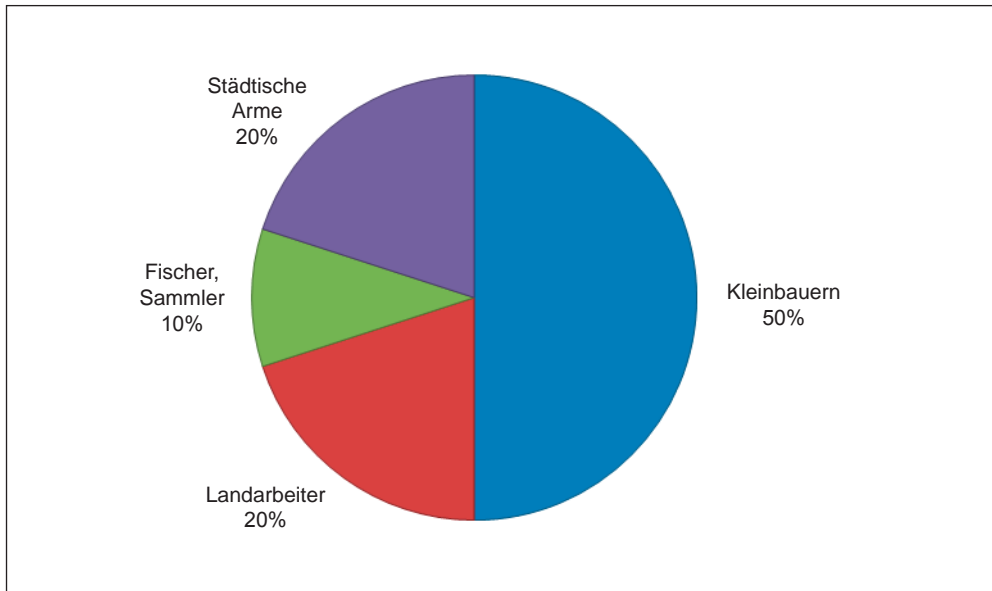


Abb. 13 Wer sind die Hungernden? Quelle: Millennium Project Task Force on Hunger 2007

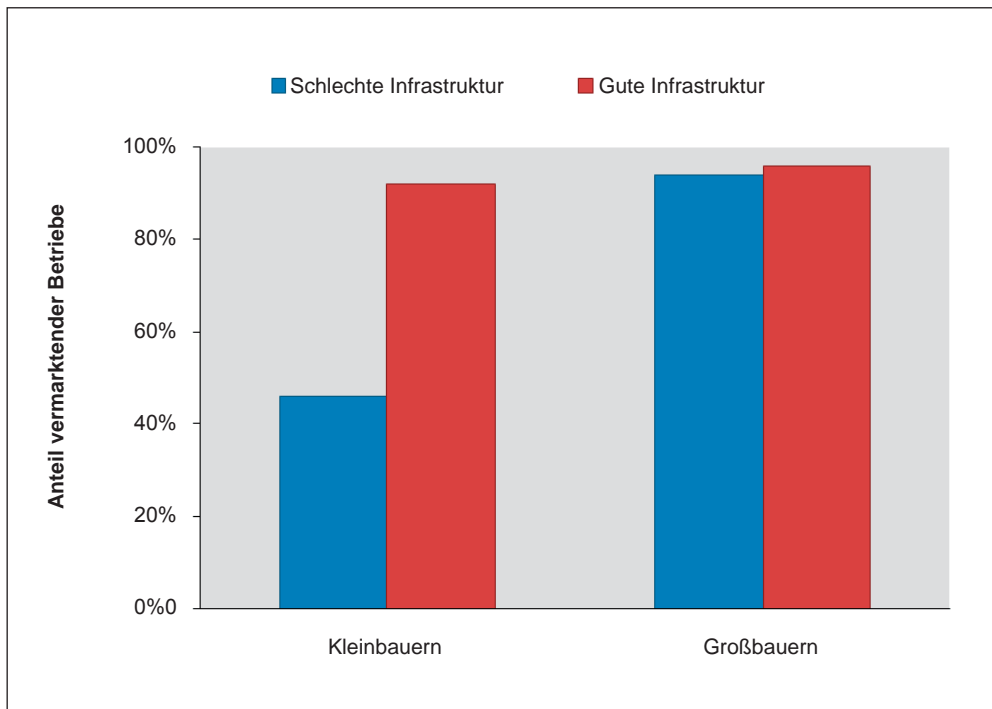


Abb. 14 Rolle von Infrastruktur – Reisvermarktung in Bangladesch. Quelle: AHMED 1994

Entwicklungsimpulse auslösen. Zahlreiche Studien über die positiven Armutseffekte von Hohertragsorten der Grünen Revolution in Asien und Lateinamerika belegen dies (EVENSON und GOLLIN 2003). Auch die Grüne Gentechnik hat das Potenzial, einen Beitrag zur Armutsbekämpfung zu leisten, wie das Beispiel der insektenresistenten Bt-Baumwolle zeigt. Bt-Baumwolle hat bereits großflächig Einzug in den Kleinbauernsektor einiger Entwicklungsländer gehalten, wo sie im Schnitt den Pestizideinsatz und die Schädlingsverluste reduziert und die Haushaltseinkommen steigert (QAIM 2005). Vor allem in Indien und China sind die Nutzenwirkungen beträchtlich. SUBRAMANIAN und QAIM (2010) konnten auf Basis detaillierter Studien für Indien zeigen, dass vor allem auch ländliche Haushalte unterhalb der Armutsgrenze über positive Einkommens- und Beschäftigungseffekte von der neuen Technologie profitieren.

Aber nicht nur Straßen und Agrartechnologien können die Einkommen der Hungernden verbessern. Insgesamt sind Investitionen im ländlichen Raum einer der wichtigsten Ansatzpunkte zur Bekämpfung von Hunger und Armut. FAN et al. (2004) haben anhand von langen Zeitreihendaten für China gezeigt, dass öffentliche Investitionen im ländlichen Raum eine sehr hohe soziale Verzinsung haben. Pro 1000 US\$ an Investitionen in Schulbildung konnten in den vergangenen Jahrzehnten im Schnitt rund 10 Menschen permanent aus der Armut befreit werden (Abb. 15).

Ähnlich erfolgreich waren Investitionen in Agrarforschung, aber auch der Bau von Straßen, Telefon- und Stromanschlüssen hat deutlich und effizient zur Armutsreduktion beigetragen. Dabei spielen auch nicht-landwirtschaftliche Sektoren eine bedeutende Rolle. Zum Beispiel

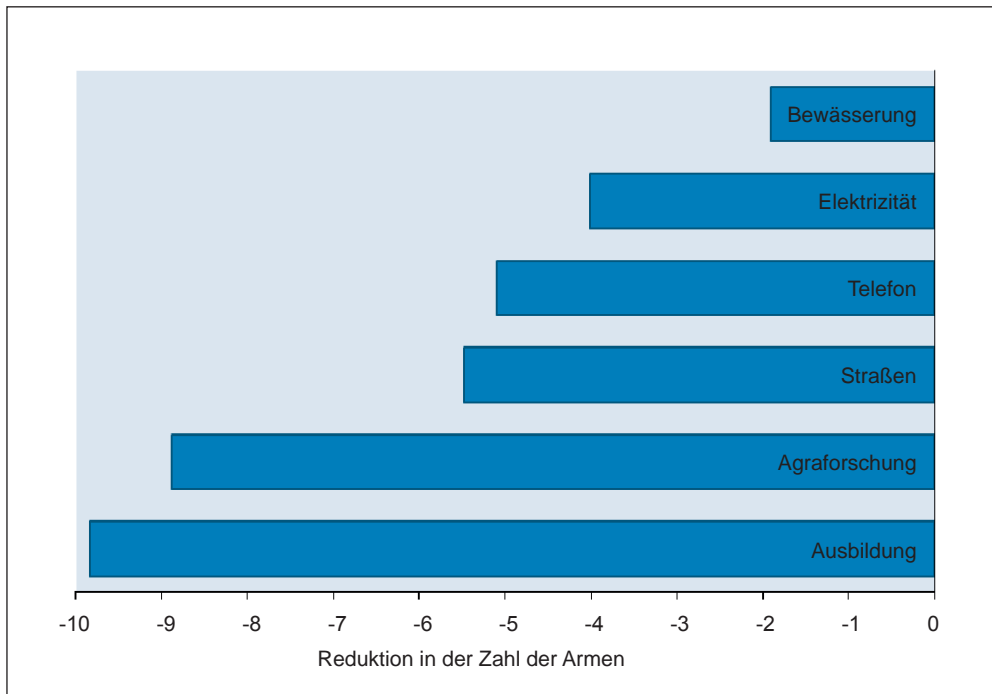


Abb. 15 Armutsreduktion durch ländliche Investitionen in China. Quelle: FAN et al. 2004

ist Strom ein wichtiger Input für kleine Handwerksbetriebe, so dass sich die Erwerbsmöglichkeiten im ländlichen Raum auf breiter Ebene verbessern. Die konkreten Ergebnisse sind spezifisch für China, allerdings zeigen auch Studien für andere Entwicklungsländer, dass ländliche Investitionen sich lohnen – sowohl mit Blick auf wirtschaftliches Wachstum als auch hinsichtlich der Verteilungsgerechtigkeit. FAN und ROSEGRANT (2008) schätzen, dass eine Verdopplung der ländlichen Investitionen in den Entwicklungsländern von derzeit 14 Milliarden auf 28 Milliarden US\$ pro Jahr einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Millenniumsziele bis 2015 leisten würde.

8. Schlussfolgerungen

Hunger ist nach wie vor ein großes Problem in den Entwicklungsländern, welches nicht erst seit dem jüngsten Anstieg der Agrarpreise besteht, sich jedoch seitdem weiter verschlimmert hat. Insgesamt geht der Trend in die falsche Richtung – die Hungerzahlen steigen. Dennoch sollte dies nicht zur Resignation führen, denn der Hunger ist zu besiegen, wenn das Problem endlich die nötige öffentliche Aufmerksamkeit und politische Priorität erfährt.

Die Ursachen des Hungers auf der Welt sind komplex. Der Hunger ist sowohl ein Produktions- als auch ein Verteilungsproblem. Bevölkerungs- und Einkommenswachstum in den Entwicklungsländern ebenso wie die steigende Nachfrage nach Agrarprodukten für die Biotreibstoffnutzung stellen eine große Herausforderung für die weltweite Landwirtschaft dar. Die Produktion muss zukünftig enorm gesteigert werden, wobei vor dem Hintergrund der Ressourcenknappheit und des Klimawandels lokal angepasste Innovationen die zentrale Rolle spielen müssen. Dies erfordert auch die konsequente Ausnutzung neuer Technologien wie der Bio- und Gentechnik. Um geeignete Technologien zu entwickeln, muss die Agrarforschung deutlich ausgedehnt werden. Priorität sollte hierbei die Forschung mit Relevanz für Entwicklungsländer haben, allerdings spielen Produktivitätssteigerungen in der Landwirtschaft der Industrieländer auch eine wichtige Rolle für die Welternährungssicherung, weil die Entwicklungsländer Nettoimporteure von Nahrungsmitteln sind und bleiben werden.

Die Bedeutung von Produktionssteigerungen für die Hungerbekämpfung wurde in der breiten Öffentlichkeit in den vergangenen Jahren nicht ausreichend erkannt. Es ist zu hoffen, dass die jüngsten Preisturbulenzen auf den Weltmärkten hier zu einem Bewusstseinswandel beitragen. Allerdings sind Produktionssteigerungen nur notwendige und nicht hinreichende Bedingung für die Welternährungssicherung. Für die Lösung des Verteilungsproblems spielen Einkommenssteigerungen in Armutshaushalten die Schlüsselrolle. Da Hunger und Armut stark ländlich geprägte Phänomene sind, kommt der ländlichen Entwicklung eine große Bedeutung zu. Mehr Investitionen in ländliche Infrastruktur, Ausbildung und technische sowie institutionelle Innovation in den Entwicklungsländern haben eine mehrfach positive Wirkung für die Überwindung des Hungers, weil sie landwirtschaftliches Wachstum ebenso wie Armutsminderung und gerechtere Einkommensverteilung fördern.

Literatur

AHMED, R.: Investment in Rural Infrastructure: Critical for Commercialization in Bangladesh. In: BRAUN, J. VON, and KENNEDY, E. (Eds.): Commercialization of Agriculture, Economic Development and Nutrition; pp. 141–150. Baltimore, MD: John Hopkins University Press 1994

- BRAUN, J. VON: Biofuels, International Food Prices, and the Poor. Testimony to the US Senate Committee on Energy and Natural Resources. International Food Policy Research Institute. Washington (DC) 2008
- ECKER, O., and QAIM, M.: Income and Price Elasticities of Food Demand and Nutrient Consumption in Malawi. Paper und Vortrag bei der Jahreskonferenz der American Agricultural Economics Association, 27.–29. Juli, Orlando, Florida (2008)
- EVENSON, R. E., and GOLLIN, D.: Assessing the impact of the Green Revolution, 1960–2000. *Science* 300, 758–762 (2003)
- FAN, S., and ROSEGRANT, M. W.: Investing in Agriculture to Overcome the World Food Crisis and Reduce Poverty and Hunger. IFPRI Policy Brief 3. International Food Policy Research Institute, Washington, DC 2008
- FAN, S., ZHANG, L., and ZHANG, X.: Reforms, investment, and poverty in Rural China. *Economic Development & Cultural Change* 52/2, 395–421 (2004)
- FAO: The State of Food Insecurity in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rom 2006
- FAO: Assessment of the World Food Security and Nutrition Situation. Committee on World Food Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rom 2008a
- FAO: FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rom 2008b
- FAO: International Commodity Prices. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rom 2008c
- FAO: The State of Food Insecurity in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rom 2009
- IVANIC, M., and MARTIN, W.: Implications of Higher Global Food Prices for Poverty in Low-Income Countries. World Bank Policy Research Working Paper 4593. World Bank. Washington (DC) 2008
- JAMES, C.: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. ISAAA Brief No. 37. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. Ithaca (NY) 2007
- Millennium Project Task Force on Hunger: Halving Hunger by 2015: A Framework for Action. Interim Report. Millennium Project. New York (NY) 2007*
- OECD: OECD-FAO Agricultural Outlook 2008–2017. Organization for Economic Cooperation and Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations. Paris 2008
- QAIM, M.: Agricultural biotechnology adoption in developing countries. *Amer. J. Agricultural Economics* 87/5, 1317–1324 (2005)
- ROSEGRANT, M.: Biofuels and Grain Prices: Impacts and Policy Responses. Testimony to the US Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs. International Food Policy Research Institute. Washington (DC) 2008
- SUBRAMANIAN, A., and QAIM, M.: The Impact of Bt Cotton on Poor Households in Rural India. *Journal of Development Studies* 46, 295–311 (2010)
- UN: World Population Prospects: The 2006 Revision. United Nations, Population Division. New York 2007
- WHO: The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. World Health Organization of the United Nations. Genf 2002
- World Bank: World Development Report 2008; Agriculture for Development. The World Bank. Washington, (DC) 2007*

Prof. Dr. Matin QAIM
Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 551 394806
Fax: +49 551 394823
E-Mail: mqaim@uni-goettingen.de

Wissensbasiert zu optimaler qualitativer und quantitativer Anpassung der Grundnahrungsmittelproduktion

Gerhard WENZEL (Freising-Weihenstephan)

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Die Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen wird immer stärker zukünftiges Handeln bestimmen: Von weniger Fläche muss mehr Nahrung produziert werden. Es wird vorrangig eine gut aufgestellte Landwirtschaft sein, die hier qualitative und quantitative Sicherheit garantiert. Dies gilt für Nahrungs- und Futtermittel, aber auch für nachwachsende Rohstoffe. Vor 10000 Jahren entstanden die ersten Kulturpflanzen. MENDEL, LIEBIG und Männer wie SCHLÜTER sorgten für umwälzende Entwicklungen in Genetik, Ackerbau und Agrartechnik. Qualität, Krankheits- und Schädlingsresistenz sowie der Ertrag stiegen gewaltig. Der Produktionszuwachs hat sich jetzt weltweit verlangsamt, weil Agrartechnik und Agrochemie unter dem ertragsrelevanten Aspekt ausgereizt sind. So ist es ein glücklicher Umstand, dass die Biologie auf neue genetische Methoden bauen kann. Marker-gestützte Selektion und der Gentransfer werden helfen, von der Natur ursprünglich nicht vorgesehene Züchtungsziele zu erreichen. Eigenschaften, die von entsprechend angepassten Pflanzensorten erfüllt werden, liegen vorzugsweise in biotischer und abiotischer Stressresistenz. In Richtung Qualität sind bei Raps und Kartoffel aussichtsreiche Entwicklungen fertig, wie etwa veränderte Öl- und Stärkequalitäten oder die Anreicherung wertvoller Inhaltsstoffe. Wege, um durch Ligninveränderung die Verdaulichkeit z. B. von Mais zu erhöhen, werden zunehmend erkannt. Die Erweiterung und Nutzung derartigen Wissens führt zu qualitativ und quantitativ verbesserten Grundnahrungsmitteln für gesunde Menschen in einer gesunden Umwelt.

Abstract

Increasingly most future activities will be directed by the availability of staple food. We have to produce more food from less land. Predominantly, a well structured agriculture will best guarantee qualitative and quantitative security. This holds for food and feed but also for renewable resources. First crop plants were formed 10,000 years ago. MENDEL, LIEBIG and men like SCHLÜTER initiated revolutionary developments in genetics, agronomy and mechanization. Quality, resistance against diseases and pests as well as yield could be increased dramatically. This growth in production has slowed down all over the world, since mechanization and agro-chemistry reached limitations under the aspect of yield increase. Thus, it is good luck that biology generated new genetical tools. By marker assisted selection and gene transfer breeding goals will be achieved originally not anticipated by natural evolution. Characters available in such improved varieties are predominantly biotic and abiotic stress resistance. Furthermore, developments in direction of quality are ready in rapeseed and potato, such as oil- and starch compositions as well as the enrichment of useful secondary products. Strategies are illuminated how to improve the digestibility of lignins, e.g. from maize. Broadening and using such knowledge will lead to qualitatively and quantitatively improved food for healthy people in a sane environment.

1. Einführung

Mit dem Wandel der Biologie vom Deskriptiven zum Konstruktiven erleben wir einen rasanten Einstieg ins Zeitalter der Biologie. Wegen der ungeheueren Komplexität des Lebendigen

gelingt dieser Wechsel erst 100 Jahre später als in Chemie und Physik und wäre ohne die sich parallel entwickelnde Informationstechnologie nicht umsetzbar. Jetzt ist ausgehend von der Genomik die Proteomik mit der Umsetzung von genetischer Information in Proteine möglich. Schließlich folgt mit der Metabolomik die Regulation des Metabolismus und die Systembiologie. Damit eröffnen sich zunehmend Strategien, die Grundnahrungsmittel züchterisch in Richtung erwünschter Qualität zu steuern. Schwieriger ist die Forderung nach mehr Quantität zu erfüllen. Unter dem Ertragsaspekt konzentrieren sich die Arbeiten derzeit auf das bessere Verstehen der Heterosis. Zusätzlich ist weiterer Züchtungsfortschritt gefragt, weil sich

- die Pflanzenproduktion in einem dynamischen Umfeld abspielt, in dem z. B. Schädlinge und Krankheiten mit immer neuen Typen die Widerstandsfähigkeit resistenter Sorten überwinden;
- die Nutzung der Pflanzen als Energielieferant möglichst viel Biomasse erfordert und
- der Klimawandel mit veränderten Temperaturen und ungleichmäßigerer Niederschlagsverteilung eine andere Pflanzenarchitektur fordert.

So muss ein Züchter stets mit modernstem Instrumentarium versuchen, schneller zu sein als das Milliardenheer der Schadorganismen, effizienter als im Stoffwechsel vorgegeben und hinreichend anthropozentrisch in einer dynamischen Evolution und Umwelt.

2. Züchtungsstrategien

Während der 10 000 Jahre, in denen der Mensch als Ackerbauer zunächst unbewusst, dann wissenschaftlich untermauert in die Evolution eingegriffen hat, sind aus kümmerlichen Wildpflanzen – z. B. kleinkörnigen, spindelbrüchigen Gräsern mit 3 dt/ha Ertrag – unsere heutigen Getreide mit über 70 dt/ha Ertrag geworden, die als wichtigste Gruppe der Grundnahrungsmittel die Welternährung sichern (Anonym 2007). Gründete sich der Fortschritt in den ersten 9850 Jahren eher auf Intuition, so unterstützt seit dem 19. Jahrhundert pflanzenbauliches Wissen über Agrochemie und Agrartechnik eine nachhaltige Pflanzenproduktion. Die Genetik mit den zentralen Erkenntnissen in den Mendelschen Regeln bildete die Grundlage für erfolgreiche Sorten durch planmäßigen Einsatz von Auslese-, Kombinations- und Hybridzüchtung (KUCKUCK et al. 1991). Dies ist aber nicht mit dem Quantensprung beim Eingriff unserer Vorfahren in die natürliche Evolution vergleichbar. Die wohl größte Natur-Revolution, das Nahrungsangebot durch Ackerbau zu ergänzen, veränderte die Welt grundlegend. Von reiner Natur kann seit diesen Entwicklungen nicht mehr die Rede sein. Sogar die selbständige Überlebensfähigkeit – Triebkraft der Evolution – ging dabei vielen Kulturpflanzen verloren; sie sind auf den Menschen und dessen ackerbauliche Schutzmaßnahmen angewiesen. Diese Produktionssteigerung ruhte im 20. Jahrhundert recht gleichmäßig auf den drei Säulen Züchtung, Agrochemie und Agrartechnik (Abb. 1A). Unter dem Aspekt erhöhter Biomasseproduktion sind die Säulen Agrochemie und Agrartechnik weit ausgereizt (Abb. 1B).

Fortschritt dort diente in den letzten 15 Jahren vor allem besserer Umweltverträglichkeit oder Kosteneinsparungen, und so steigt der Produktionszuwachs heute deutlich langsamer. Die Weizenproduktion hat sich z. B. seit 1990 weltweit kaum noch verändert. Damit stellt sich vor allem der Züchtung die Aufgabe, hier wieder für einen Produktionszuwachs zu sorgen, der zumindest mit dem Bevölkerungswachstum Schritt hält (WENZEL 1997).

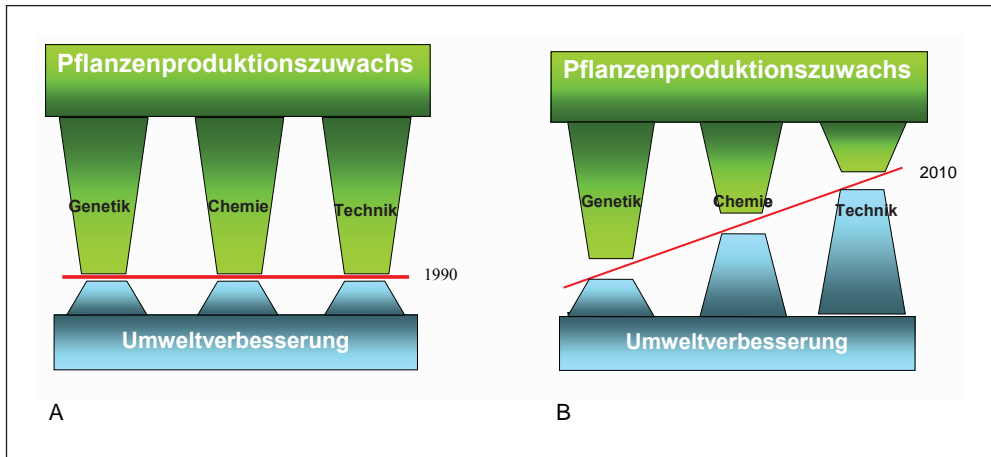


Abb. 1 Veränderung der Beiträge von Züchtung, Agrochemie und Agrartechnik: Seit dem gleichmäßigen Beitrag bis 1990 (A) nimmt die Bedeutung von Chemie und Technik für den Produktionszuwachs ab (B) und dient zunehmend der Umweltverbesserung (WENZEL 2005).

2.1 Die klassische Züchtung

Zunächst ein Blick in die klassische Züchtung; sie hat mit der Schaffung der Kulturpflanzen Enormes geleistet. Ein Prozess, der sich ununterbrochen fortsetzt und z. B. auch in jüngerer Zeit ganz neue Fruchtarten geschaffen hat, wie die Zuckerrübe aus der Runkelrübe oder Triticale als Kreuzungsprodukt von Weizen und Roggen. Bezüglich der Qualität gelang die Verbesserung des Weizenmehls, so dass heute kein kanadischer Aufmischweizen importiert werden muss (FISCHBECK 1993, PORSCHE 2008). Das Rapsöl, zunächst nur als Industrieöl nutzbar, wurde durch züchterische Veränderung der Ölqualität – genetische Entfernung von Erucasäure und Glucosinolanten – zum hochwertigen Speiseöl (RÖBBELEN 1995).

2.2 Biotechnologie

Für die Bewältigung der Herausforderungen droht die klassische Züchtung zu langsam zu werden. Es ist ein glücklicher Umstand, dass Zellkulturverfahren und Molekulargenetik im pflanzlichen Sektor, mit der „grünen Gentechnik“, ein zusätzliches biotechnologisches Methodenspektrum verfügbar machen. Die grüne Biotechnologie steht heute mit ihren beiden Teilbereichen, Zellkultur und Genomik, als immer besser optimiertes Werkzeug zur Verfügung. Da bei Pflanzen leicht mit extrem großen Individuenzahlen, mit großen Mutantensortimenten und vor allem mit dauerhaften Veränderungen des Genoms, die in den gentechnisch veränderten Organismen (GVOs) verankert werden, gearbeitet werden kann, ist das Potenzial der Genomik bei Pflanzen größer als im „roten“, pharmazeutischen und humangenetischen Bereich. Die praktisch-züchterischen Arbeiten konzentrieren sich allerdings auf nur wenige Fruchtarten, die aufgrund ihrer großen Bedeutung eine Amortisation der hohen Entwicklungskosten erwarten lassen. An erster Stelle ist die Sojabohne zu nennen, die als wichtigste Protein-liefernde Pflanze vielfältig in unserer Nahrung und in Futtermitteln vertreten ist. Nahezu 70% des Weltanbaus sind inzwischen transgen (JAMES 2007). Es folgt der Mais,

der als C4-Pflanze ein Weltmeister in der Ertragseffizienz ist und der deshalb extrem intensiv züchterisch bearbeitet wird. Daneben haben nur transgene Baumwolle und Raps größere Bedeutung. In allen Fällen liegen zugelassene Sorten vor, die inzwischen auf über 120 Millionen ha angebaut werden (JAMES 2007). Von zentralem zukünftigem Interesse, vor allem unter dem Aspekt der Produktion in der weißen Biotechnologie, sind die Fruchtarten, für die bereits heute gut funktionierende Aufarbeitungsketten verfügbar sind: in erster Linie Kartoffeln und sicherlich zunehmend die Zuckerrübe, die als reiner Zuckerlieferant auf dem freien Weltmarkt kaum ohne speziellere Produkteigenschaften wirtschaftlich erfolgreich sein wird. Grundsätzlich lassen sich erwünschte Ziele auf unterschiedlichsten Wegen erreichen, und so wird immer zu fragen sein, welcher ist der effizienteste. In Abbildung 2 ist dargestellt, wie sich der klassische Ansatz und das molekulare Vorgehen ergänzen.

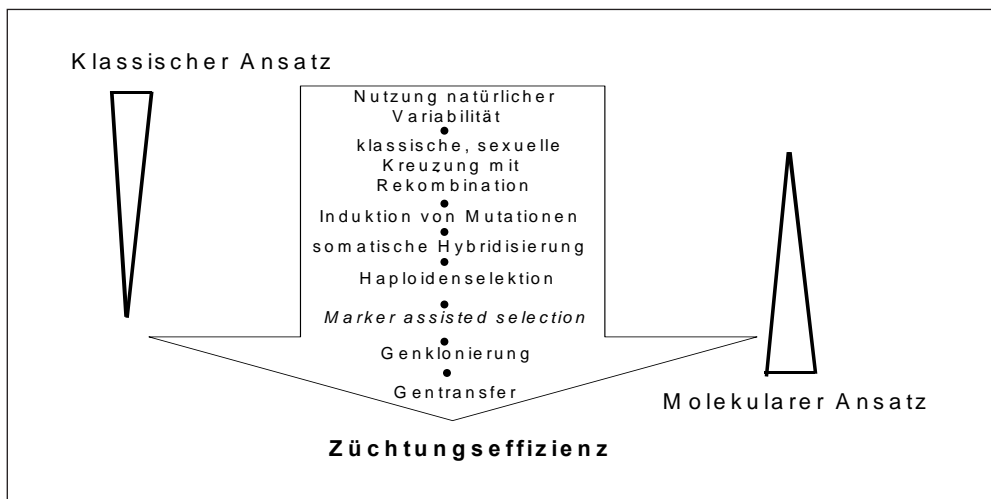


Abb. 2 Intensität von klassischem und molekularem Ansatz beim Zusammenspiel der Züchtungstechniken (WENZEL 2006a)

2.2.1 Zellkultur

Mit schneller Vermehrung, Haploidtechniken und Zellfusion haben Methoden in die Züchtung Eingang gefunden, die es gestatten, einen wichtigen Genotyp effizient zu klonieren oder bei Selbstbefruchtern in einer Generation homozygote Linien durch Verdopplung von Haploiden aufzubauen (WEYEN 2008). Doppelhaploide erlauben bei Liniensorten, aber auch bei Inzuchtlinien für die Hybridzüchtung eine deutliche Verkürzung des Züchtungsprozesses, da nach einem Kreuzungsschritt die Zeit für die Erreichung der Homozygotie wegfällt. Aufgrund der verringerten Generationszahlen reduziert sich auch die Anzahl von Rekombinationen, und damit können qualitative Eigenschaften besser erhalten bleiben (WENZEL et al. 1995). Schließlich können bei vegetativ vermehrten Pflanzen in somatischen Hybriden die Eigenschaften beider Eltern ohne Meiose addiert werden (WENZEL 2006b).

Zellkulturtechniken spielen auch in der Genomik eine entscheidende Rolle: Sie erlauben es zum einen, in Doppelhaploid-Populationen, in denen heterozygote Individuen fehlen,

sichere Gene und molekulare Marker zu lokalisieren, und zum anderen aus einer einzigen transformierten Zelle eine insgesamt transformierte Pflanze zu regenerieren.

2.2.2 Gentransfer

Die Züchtung optimaler Genkombinationen durch den Gentransfer erfordert ein ganzheitliches Vorgehen: Struktur und Funktionsaufklärung des Genoms, Isolation und Genübertragung; letztlich muss die Expression und Regulation zum übrigen Stoffwechsel der Pflanze passen. Auf die methodischen Fragen soll hier nicht eingegangen werden, es sei auf Zusammenfassungen verwiesen (z. B. LÖRZ und WENZEL 2005). Interessant sind jedoch einige zusätzliche Befunde, die sich bei der molekularen Kartierung der Gene auf den Chromosomen ergeben haben.

Die Gene sind nicht völlig zufällig im Genom verteilt, sondern in Clustern angeordnet, so dass nach Kenntnis eines spezifischen Nukleotidmotivs eine Suchstrategie möglich wird. Mit Sonden für entsprechende Motive können die riesigen Genome nach entsprechenden Clustern durchsucht werden, was die Erfolgsaussichten, aktive Resistenzgene zu finden, deutlich erhöht (MOHLER und WENZEL 2004). Allerdings ist nur ein Bruchteil dieser Motive dann ein wirklich aktives Gen. So kann sich eine Strategie eröffnen, bei der nicht fremde Gene genutzt werden müssen, sondern durch Aktivitätsveränderung vorhandener Gene Regulationsproteine so geschaltet werden, dass ein gezielter Eingriff in den Stoffwechsel gelingt. Das präformierte Gen könnte das erwünschte Produkt in veränderter Konzentration oder abgewandelter Form in der Zelle bereitstellen. Diese molekulargenetischen Arbeiten eröffnen Möglichkeiten für die Verbesserung der Resistenzen, der Qualität und auch der Ertragsleistung.

Die Lokalisation solcher monogenischen Marker zeigte bei Weizen, dass es vorzugsweise die Chromosomenenden sind, an denen sich solche Marker für Resistenzen finden (MOHLER 2006). Dies passt sehr gut zur Erwartung, denn es sind die Chromosomenenden, wo sich aufgrund hoher Rekombinationsraten die größte Variabilität finden dürfte. Die evolutiv sicherlich jungen Ereignisse des Auftretens von Resistenzgenen sollten somit dort gehäuft auftreten, wo hohe Rekombination zu erwarten ist. Besonders eindrucksvoll zeigt sich dies bei der Weizengruppe des Chromosoms 1, wo insgesamt über 20 Resistenzloci lokalisiert wurden. Von WENZEL et al. (2001) wurden auch Marker beschrieben, die recht generell für die Gruppe der Triticeae Bedeutung haben. So detektiert der Marker 207 in Gerste und Roggen Allele für Mehlauresistenz und liegt im Weizen in einem Bereich mit quantitativer Fusarium-Resistenz.

3. Züchtungsziele

Für die Strategien bei der Umsetzung von Züchtungszielen spielte zunächst die methodische Machbarkeit eine große Rolle. Zuerst ließ sich mit klassischer Rekombination nach sexueller Kreuzung sehr viel erreichen, so dass nahezu alle heutigen Sorten mit dieser Technik erstellt wurden. Auch beim Übergang zu molekularen Techniken war zunächst die methodische Machbarkeit der ausschlaggebende Faktor. Besonders einfach war zuerst die Isolierung von Genen aus Mikroorganismen. So fanden sie zunächst Einsatz. Sehr schnelle Entwicklungen haben sich dabei auf dem Herbizidsektor vollzogen. Abbildung 3 zeigt die Prognose für die Umsetzung weiterer Ziele.

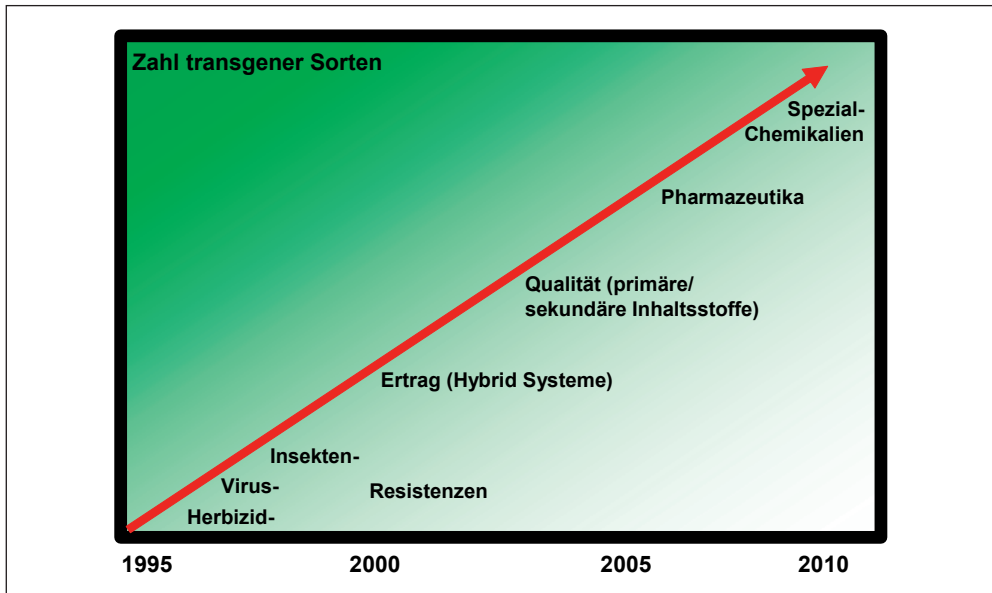


Abb. 3 Ziele des Gentransfers (WENZEL 2005)

3.1 Herbizidresistenz

Die ersten transgenen Produkte, die jetzt auch auf den europäischen Markt drängen, sind herbizidtolerantes Mais- und Sojasaatgut. Zwei Herbizidklassen sind zu unterscheiden: selektive und nicht-selektive Wirkstoffe. Nur die selektiven Herbizide können nach Auflaufen der Kulturpflanze gespritzt werden und unterscheiden dann zwischen Unkraut und Nutzpflanze. Ihre Produktion ist naturgemäß schwieriger, da sie gezielt der Fruchtart angepasst werden müssen, und folglich ist die Entwicklung teurer. Bei der Herbizidtoleranz wird nicht mehr der Wirkstoff der Pflanze, sondern die Pflanze dem Wirkstoff angepasst. Im Mittleren Westen der USA und in Kanada muss die Feldbearbeitung pfluglos erfolgen, da sonst die letzten Wasserreserven verdunsten und der Wind zu Erosion führt. Zentrales Problem ist dann der Unkrautdruck, der über Herbizide in der Regel im Voraufbau prophylaktisch kontrolliert wird. Übertragene bakterielle Gene versetzen die Pflanze in die Lage, einen für sie toxischen herbiziden Wirkstoff zu entgiften. Pflanzen mit diesem Entgiftungsgen überleben die Herbizidbehandlung. Damit kann der Landwirt ein nicht-selektives Mittel plus die dagegen spezifisch tolerante Kulturpflanze einsetzen. Der Anbau herbizidtoleranter Kulturpflanzen, der jetzt seit knapp 20 Jahren in USA erfolgt, bringt für den Farmer bis zu 30% Kostenersparnis, da in der Regel eine der drei üblichen Herbizidbehandlungen wegfallen kann. Wird, wie in Deutschland üblich, gepflügt, so ist der Gewinn wesentlich geringer (DIETZ et al. 1993).

3.2 Insektenresistenz

Weiterhin ist es gelungen, biologische Pflanzenschutzsysteme gentechnologisch umzusetzen. Beispielhaft ist hier *Bacillus thuringiensis* als Insektenschädling zu nennen. Die

Bakterien produzieren das *Bt*-Toxin, das spezifisch im Darm von Insektenlarven die Permeabilität erhöht und als Folge die Larven abtötet. Beim gentechnischen Ansatz wurde das für die Toxinproduktion verantwortliche Gen aus dem Bakteriengenom isoliert und in die Nutzpflanzen übertragen. Jetzt produziert die Nutzpflanze dieses Eiweiß und schützt heute z. B. den Mais gegen den Maiszünsler oder den Wurzelbohrer, die Baumwolle gegen den Kapselwurm oder die Kartoffel gegen den Kartoffelkäfer (BARTON et al. 1987). Der ökologisch wichtigste Gewinn ergibt sich durch die hohe Spezifität des *Bt*-Toxins: Nicht-Zielorganismen werden wesentlich besser geschont, als es der chemische Pflanzenschutz vermag.

3.3 Resistenzen gegen Krankheiten

Krankheiten und Schädlinge vernichten auch heute noch rund 25 % der möglichen Ernte. Unabhängig vom dramatischen Quantitätsverlust sind befallsfreie Pflanzen die erste Bedingung für gute Produktqualität. Ist die Pflanze gesund, wird sie die erwünschten Nährstoffe in der zuvor ermittelten Konzentration enthalten. Die prophylaktischste Form des Pflanzenschutzes liefert die Resistenzzüchtung, die dafür sorgt, dass eine Sorte aufgrund ihrer genetischen Konstitution gar nicht erst krank werden kann. Die dauerhafte Einlagerung von Resistenzen ist somit ein zentrales Ziel pflanzlicher Züchtungsforschung.

Wichtigstes Ziel ist die molekulare Identifizierung der verantwortlichen Resistenzgene im Genom der Pflanze. Heute sind nach den Anfängen vor rund 15 Jahren viele Resistenzgene molekular identifiziert und weitgehend im Genom unserer Kulturpflanzen lokalisiert (GRÄNER et al. 1995, LÜBBERSTEDT et al. 2002). Besonders intensiv wurden Mais, Gerste und Kartoffel bearbeitet. Für diese Fruchtarten existieren umfangreiche molekulare Genkarten, auf denen die meisten wichtigen Resistenzgene und eine große Zahl quantitativer Merkmale lokalisiert sind (HOISINGTON und MELCHINGER 2005, VARSHNEY et al. 2005, GEBHARDT 2005). Auch für den Weizen liegen zahlreiche molekulare Marker vor, mit denen sich z. B. 15 divergente Mehlauresistenzgene spezifisch nachweisen lassen (MOHLER und SINGRÜN 2005). Aufgrund der Verfügbarkeit von PCR-gestützten Nachweisverfahren ließen sich entsprechende Marker schnell in der Züchtungspraxis für die Selektion einsetzen. So wurden die drei Mehlauresistenzen *Pm1c* (auf Chromosom 7AL), *Pm24* (auf Chromosom 1DS) und *Pm29* (auf Chromosom 7DL) in einer Linie marker-gestützt pyramidiert (WENZEL 2006b). Rein klassisch, ohne die Marker-gestützte Selektion wäre die Genkombination kaum möglich gewesen. Wegen des Zusammenwirkens mehrerer Abwehrgene sollte diese Resistenz dauerhafter sein, als nach Einlagerung von nur einem Resistenzgen.

Das Wissen, welche Gene nach einem Pathogenbefall eingeschaltet werden, nimmt rapide zu. Ein wichtiges Werkzeug sind dabei differentielle DNA-Techniken. Bei der Kartoffel wurden damit in einer Plasmidbibliothek 23 induzierte Gene gefunden, von denen 13 eine Funktionshomologie zu bekannten Genen, z. B. zu den LRR-Domänen besitzen, und 10 Gene mit bisher nicht bekannten Abwehrreaktionen (ROS et al. 2005). Mit einem ähnlichen Ansatz wird jetzt auch in Wildarten nach neuen Resistenzgenen gesucht. Es wird somit immer besser möglich, endogen durch Veränderung des Genoms bzw. exogen durch spezifische Wirkstoffentwicklung den Metabolismus der Pflanze gezielt gegenüber Stress zu stärken und so zu gesunden Ernten zu kommen (ROS et al. 2008).

Zum Komplex Resistenzzüchtung gehört es, auch die Krankheitserreger sicher und schnell ansprechen zu können. Auch dabei helfen molekulargenetische Verfahren, so dass dem Züch-

ter ein neues Werkzeug in die Hand gegeben ist, mit dem er früh, z. T. auch bei Ausbleiben einer sichtbaren Infektion, das verantwortliche Pathogen ansprechen kann.

3.4 Klimatoleranz

Zentraler Grund für die stagnierenden Erträge von Weizen, der weltweit wichtigsten Nahrungspflanze, ist die zunehmende Frühsommerhitze, vor allen im kontinentalen Klima. In Bayern lagen die durchschnittlichen Erträge zwischen 1996 und 2001 bei 68,6 dt/ha und zwischen 2001 und 2006 bei 69,0 dt/ha (Anonym 2007). So wird es zunehmend wichtiger, Pflanzen unter schwierigen klimatischen Bedingungen zu produzieren.

Die Weizenblüte ist extrem empfindlich gegenüber Hitze; Temperaturen über 25 °C führen zu schlechter Kornfüllung und damit zu Mindererträgen. So kam die Idee auf, dem Frühsommerhitze stress durch Sorten, die früher blühen, zu entgehen (MOHLER et al. 2004). Durch Isolierung und Übertragung von Genen, die für den Blühzeitpunkt verantwortlich sind, soll der Entwicklungsgang einer Pflanze so gesteuert werden, dass er zu klimatisch möglichst günstigen Zeitpunkten unter dem Aspekt der Ertragsbildung abläuft.

Der Blühzeitpunkt des Weizens wird durch drei Genfamilien beeinflusst (WELSH et al. 1973):

- Gene für den Photoperiodismus (*Ppd*-Gene),
- Vernalisationsgene (*Vrn*-Gene),
- Gene für die Frühreife *per se* (*Eps*-Gene).

Es gelang, diese Gene bezüglich ihres Erbgangs zu analysieren und sie auf der molekularen Genkarte des Weizens zu lokalisieren (MOHLER et al. 2004). Drei *Ppd*-Gene folgen einem monogenischen und damit qualitativen Erbgang; ebenso vier bisher analysierte *Vrn*-Gene. An der Verteilung auf den Chromosomen erkennt man, dass die Gene auf mehreren Chromosomen liegen und vor allem nicht allelisch sind, weshalb sie durch Kombinationszüchtung in einer Linie zusammengebracht werden können. Die *Eps*-Gene dagegen werden quantitativ vererbt. Mit ihnen züchterisch zu arbeiten, ist somit ungleich schwieriger. Abbildung 4 zeigt, wie diese Gengruppen auf der molekularen Genkarte des Weizens verteilt sind. Die Kartierung erfolgte im Wesentlichen mit 74 Linien einer Doppelhaploidpopulation aus der Kreuzung Mercia × C 5912 A; 70 Linien aus einer rekombinanten Inzuchtpopulation der Eltern Chinese Spring × Marquise 2B und 94 Linien einer Inzuchtpopulation von Chinese Spring × Hope 5D. Die Analysen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem CYMMIT in Mexiko durchgeführt (MOHLER et al. 2004).

Mit dem jetzt vorliegenden Wissen kann man die monogenisch vererbten Gene *Ppd* und *Vrn* Marker-gestützt kombinieren. Dazu wird zunächst ganz klassisch gekreuzt, und in der F₂ mit den spezifischen Gensonden geprüft, ob die erwünschten Allele für Frühreife vorhanden sind. Im Feldanbau ist bei den positiv bewerteten Linien zu bonitieren, ob die Allele für die frühe Blüte ohne negativen Einfluss auf andere agronomische Merkmale ausgeprägt werden. Nach der Kombination entsprechend vieler Allele in Experimentallinien erfolgt der Transfer in Sortenmaterial. Auch dieser Prozess muss mit molekularen Markern unterstützt werden, damit der kunstvoll zusammengebaute Komplex nicht weg segregiert.

Sollte es gelingen, den Weizen deutlich früher zur Blüte zu bringen, was natürlich auch zu einer früheren Ernte führt, so dürfte es möglich werden, eine zweite Ernte, z. B. von einer Energiepflanze, einzubringen.

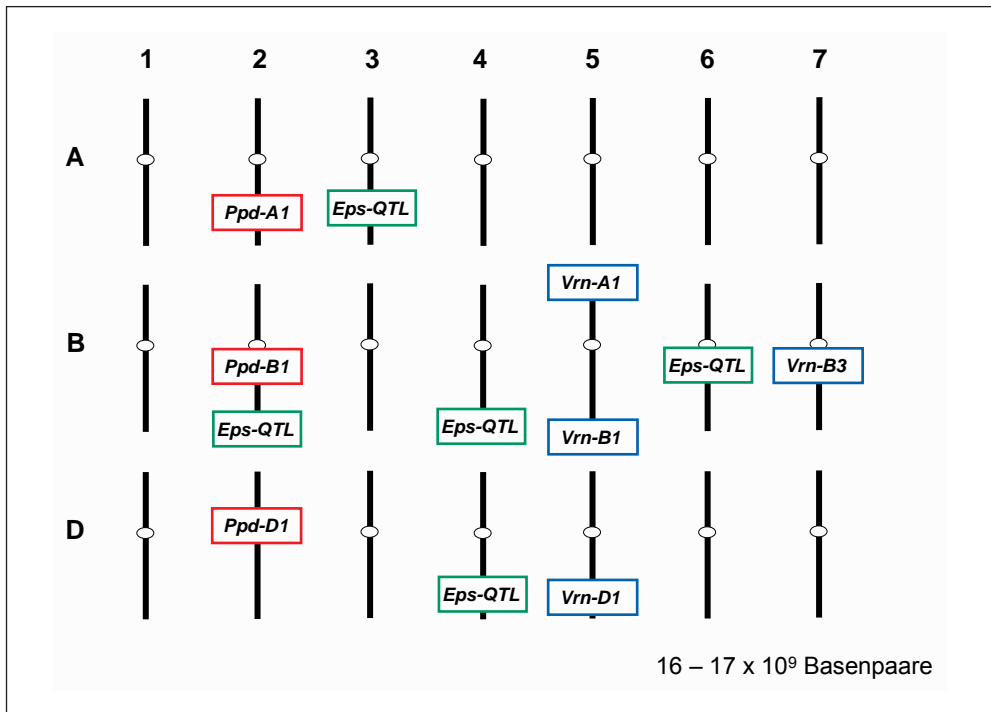


Abb. 4 Verteilung der für den Blühzeitpunkt verantwortlichen Allele auf der genetischen Karte des hexaploiden Weizens (MOHLER 2006)

Neben der Hitzetoleranz hat die Suche nach Wegen zur Überwindung des Trockenstresses begonnen. Hierzu läuft intensive Forschung an der Modellpflanze *Arabidopsis*, bei der man mit Fluoreszenzfarbstoffen das Signal verfolgen kann, dass z. B. Wassermangel von der Wurzelspitze an die Spaltöffnungen meldet (CHRISTMANN et al. 2004). Da es sich meist um komplexe Reaktionen handelt, gewinnen auch hier differentielle Techniken, bei denen das Genom unter Kontroll- und Stressbedingungen verglichen wird, an Bedeutung. Dabei ist die Optimierung der Stomataregulation besonders wichtig, bei der die Abscissinsäure (ABA) eine zentrale Rolle spielt. Es gelang durch genetische Deletion, einen ABA-Transporter so zu verändern, dass die Spaltöffnungen früher geschlossen werden und damit die Wassernutzungseffizienz und in Folge die Trockenstresstoleranz der Pflanze steigt (CHRISTMANN et al. 2005, GRILL und CHRISTMANN 2007).

Eine verbesserte Wassernutzung kann auch durch Vergrößerung der Wurzelmasse erreicht werden. In der Regel haben heterotische Hybriden auch ein vergrößertes Wurzelsystem. Bei Weizen führt die Heterosis insgesamt nur zu mäßigen Mehrerträgen, jedoch helfen die verstärkten Wurzeln, Trockenperioden besser zu überstehen als vergleichbare Liniensorten.

3.5 Qualitätsoptimierung

Nach Aufklärung der Struktur und Funktion pflanzeigener Gene gelingt es zunehmend, isolierte Pflanzengene zu übertragen, die für ganz bestimmte Stoffwechselprodukte kodieren

und damit erwünschte Qualitäten erzeugen oder als Beitrag zur weißen Biotechnologie die Bildung von Spezialchemikalien z. B. in Kartoffel oder Rübe bewirken. Eindrucksvoll sind die erzielten Ergebnisse beim Raps. Diese vorwiegend mit Fettsäuren einer mittleren Kettenlänge (18 C-Atome) und hohem Sättigungsgrad ausgestattete Pflanze konnte über Gentransfer so verändert werden, dass von 10 C-Atomen bis zu 22 C-Atomen alle Fettsäuren gebildet werden können und dies auch noch in unterschiedlichem Sättigungsgrad (TÖPFER und MARTINI 1998). Möglich wurde diese Ingenieurleistung der Gentechniker durch die extrem gute biochemische Kenntnis des Fettsäurestoffwechsels, der einen schnellen Zugriff auf die verantwortlichen Enzyme und von dort ausgehend auf die steuernden Gene ermöglicht (Tab. 1).

Tab. 1 Gentechnische Veränderungen der Ölsäuren in *Brassica napus* (Angaben in mol % nach TÖPFER und MARTINI 1998)

	C _{8:0}	C _{10:0}	C _{12:0}	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{22:1}
Klassischer Raps					3	1	17	14	9	50
00 Raps					4	2	62	22	10	0
ACP-Thioesterase-Gen aus <i>Cuphea</i>	1		3							
ACP-Thioesterase-Gen aus <i>Cuphea</i>				7	15					
ACP-Thioesterase-Gen aus <i>Umbellularia</i>		50								
ACP-Thioesterase-Gen aus <i>Carthamus</i>					25					
Antisense-Desaturase von <i>Brassica rapa</i>						40				
Antisense-Desaturase von <i>Brassica napus</i>							83			
ACP-Synthase-Gen aus <i>Somondsia</i>									20	

Vergleichbares gilt für den Kohlenhydratstoffwechsel der Pflanze, insbesondere der Kartoffel, wo z. B. durch die ausschließliche Produktion nur einer Stärkeform, Amylose oder Amylopektin, wichtige gentechnische Innovationen für die Stärkenutzung gelungen sind. Auch konnten ganz neue Zucker, Inulin oder Pentosane, nach Transformation gewonnen werden (HELLWEGE et al. 2000).

Ein weiterer eindrucksvoller Fortschritt ist bei Reis mit dem β -Carotin-haltigen „Golden Rice“ gelungen (YE et al. 2000), der einen substantiellen Beitrag zur Bekämpfung der Vitamin-A-Mangelversorgung in asiatischen Ländern liefern wird. Es mussten dazu drei Gene übertragen und zur Funktion gebracht werden. Ferner waren für 70 Patente Lizenzabsprachen notwendig, um in Richtung einer kommerziellen Produktion zu annehmbaren Konditionen für den Subsistenzfarmer zu kommen. Seit 2001 existieren auch bei der Kartoffel erste Prototypen mit erhöhtem Carotinoidgehalt, dem Zeaxanthin, das möglicherweise einmal helfen wird, die altersbedingte Makula-Degeneration zu vermindern (RECHKEMMER et al. 2006, BUB et al. 2008). Hiervon sind rund 1 Millionen Bundesbürger betroffen, ca. 25 % der über 75-Jährigen und von denen wiederum 1–5 % so schwer, dass die Krankheit zum Erblinden führt.

Mit diesen transgenen Pflanzen der zweiten Generation, die endlich *Output Traits* optimieren und damit nicht wie die gentechnisch im Input-Bereich veränderten Pflanzen nur dem Landwirt nützen, öffnet sich die Gentransformation in Richtung *Nutraceuticals*, *Functional Food*, *Farmaceuticals* und schließlich der weißen Biotechnologie.

3.6 Lignin

Von der Evolution wurde das Lignin als besonders robuster Baustein für die Struktur der Pflanze selektiert. Will man dagegen die Pflanze leicht degradieren oder wünscht man eine bessere Zellwanddurchlässigkeit für Exsudate, so müsste der Ligningehalt niedriger sein. Im Fall vom Ligningehalt bei Mais, der für den Futterwert große Bedeutung hat, erlauben die umfassenderen Ansätze des *Association mappings* einen Zugang zu verantwortlichen Genen und damit zu universellen Markern. So gelang es ZEIN et al. (2007), funktionale Marker für den Ligningehalt zu identifizieren. Inzwischen sind weitere Gene des Phenylpropanstoffwechsels amplifiziert und Assoziationen zur Futterqualität hergestellt (ANDERSON et al. 2009).

3.7 Ertrag

Ertrag setzt sich aus einer Vielzahl von Einzelparametern zusammen, die ihrerseits wiederum polygen bestimmt werden. In der klassischen Hybridzüchtung und verstärkt bei der Zellfusion gelingt es, komplexe Merkmale zu kombinieren und aufgrund von nur einer (bei F_1 -Hybriden) bzw. keiner Rekombination bei Zellfusionen auch in der vegetativ erzeugten Nachkommenschaft als Komplex zusammenzuhalten. Bei Kartoffeln ist dies ein Weg, der in die praktische Züchtung Eingang gefunden hat (THACH et al. 1993, MÖLLERS et al. 1994). Auch Optimierungen der Photosyntheseaktivität bzw. der Lichtausbeute sind zu nennen.

Sehr intensiv wird am Verständnis des Prozesses der Heterosis geforscht. Bei Kreuzung geeigneter homozygoter Elternlinien zu F_1 -Hybriden zeigen diese Bastardwüchsigkeit, Heterosis. Die molekulare Grundlage dieses Prozesses ist bisher nicht verstanden. In einem umfassenden DFG-Schwerpunkt sind aber neue Erkenntnisse gewonnen worden (GARCIA et al. 2008). So konnten mit subtraktiven Genbanken in F_1 -Hybriden gegenüber den Elternlinien gesteigerte Genaktivitäten z. B. bei den für die Gibberellinbildung verantwortlichen Enzymen gezeigt werden (UZAROWSKA et al. 2007).

Ein weit gestecktes Ziel ist die Umwandlung von C3- in C4-Pflanzen, wozu die entsprechenden Gene, die für den Kohlehydratzyklus verantwortlich sind, verändert werden müssen. C4-Pflanzen wie der Mais haben eine höhere CO_2 -Fixierungskapazität als C3-Pflanzen wie der Weizen. In ersten Versuchen gelang es, verantwortliche Schlüsselenzyme aus C4- in C3-Pflanzen zu übertragen und z. B. Reislinien mit erhöhter Carboxylase-Aktivität herzustellen (HÄUSLER et al. 2002).

4. Komplexe Eigenschaften

Es ist viel schwieriger, Gene zu analysieren, die eine quantitative Ausprägung besitzen und die in der Regel oligogen oder polygen wirken. Auch im Rahmen der Lokalisierung und Isolierung von komplexen Genen wird deutlicher Fortschritt aufgrund molekularer Diagnosen sichtbar, so liegen für die Getreide-Fusariosen Genlokalisierungen vor (Voss et al. 2008). Fusarien geben Deoxynivalenol (DON) und Zeralenon (ZON) in Lebensmittel ab, und so hat die Einlagerung von Fusarium-Resistenz in der Weizenzüchtung höchste Priorität. Auf den Weizenchromosomen 5A, 3B, 6B und 7B wurde je eine Fusarium-Resistenz lokalisiert. Damit ist es jetzt möglich, bei dieser chemisch schwer zu bekämpfenden Ährenkrankheit zu resistenteren Sorten zu kommen (BUERSTMAYR et al. 2008). Bei quantitativ vererbten Merkmalen ist es häufig nicht einfach, genügend Polymorphismen zu finden. KLAHR et al. (2004) konnten zeigen, dass eine

kodominante Auswertung von AFLP-Banden, d. h., bei der Auswertung wird auch die Stärke der Bande berücksichtigt, zu erheblichem Informationsgewinn führt. Konnten im System Weizen-Fusarium bei einfacher Auswertung nur 5 Polymorphismen abgesichert werden, so ergab diese kodominante Auswertung 35 informative Banden. Für die Auswertung von QTLs ist die Absicherung der Ergebnisse in unterschiedlichen Umwelten von zentraler Bedeutung. So zeigte STERN (2003) für die Kombination Weizen-*Stagonospora* (*Septoria*), wie gut sich die Lage eines Resistenz QTLs auf Chromosom 1B durch Wiederholung über mehrere Jahre sichern lässt. Damit gilt für QTLs generell, dass der erfolgreiche Einsatz im Wesentlichen auf der Heritabilität und genetischen Struktur der betreffenden Eigenschaft beruht.

Vor allem bei komplexen Merkmalen spielt die Güte des Markers, die wesentlich von der Größe der ursprünglichen Kartierungspopulation abhängt, eine zentrale Rolle. Marker werden umso sicherer sein, je näher sie am Zielgen liegen; besonders universell dürften Marker sein, die direkt im Zielgen liegen. Zunehmend gewinnen hier die differentiellen Techniken Bedeutung, wobei sich immer stärker eine holistische Gesamtgenom-Sicht durchsetzt, die die Genexpression einbezieht. ROS et al. (2005) zeigten unter Einsatz entsprechender differentieller Techniken bei der Kartoffel, dass sich die Vielzahl der nach einem Stress unterschiedlich stark exprimierten Gene durch entsprechende Vergleiche einzelnen Stressereignissen spezifisch zuordnen lassen. Bei Mais verfolgt CHUN et al. (2005) den gleichen Weg. Von insgesamt 497 analysierten Maisgenen wurden etliche verstärkt, abgeschwächt bzw. blieben nach einer Infektion der Pflanzen mit dem *Sugar-cain-mosaic*-Virus (SCMV) in anfälligen und resistenten Genotypen unverändert exprimiert. Ein solches Vorgehen erlaubt es, zunehmend Marker auszuwählen, die nicht einfach für einen Stress spezifisch sind, sondern auch generelle Abwehrreaktionen anzeigen. Eine Konzentration der Züchtungsarbeit auf solche generellen Abwehrallele könnte zu breiten Resistenzen führen.

Derartige funktionelle Marker runden den Einsatz von Markern in der Pflanzenzüchtung zum heutigen Zeitpunkt ab. Als neues Werkzeug ist jetzt die Mutationszüchtung wieder entdeckt worden, die es mit der *Target-induced-local-lesion*-Technik in der Genomik (TILLING) erlauben soll, Verlustmutanten zu erzeugen, mit deren Hilfe, ähnlich wie beim *Transposon Tagging Knockout*-Mutanten erzeugt werden, die den Weg zum verantwortlichen Gen und damit zum universellen Marker weisen sollen (MCCALLUM et al. 2000).

5. Sicherheit transgener Pflanzen

Die Sicherheit neuer mit moderner Züchtung erzeugter Produkte ist durch das Gentechnikgesetz garantiert: Erst nach umfassenden Prüfungen erhalten auf neuen Wegen hergestellte Sorten eine auf zunächst fünf Jahre befristete Freisetzungsgenehmigung. Damit gibt es kaum etwas Sichereres als transgene Lebensmittel, denn normale pflanzliche Produkte werden entsprechenden Prüfungen nicht unterzogen. Um dennoch die Wahlfreiheit – für oder gegen Gentechnik – zu garantieren, gilt zur Information der Verbraucher seit April 2004 mit der *Novel-Food*-Verordnung, dass gentechnisch veränderte Produkte gekennzeichnet werden müssen, sofern ein Schwellenwert von 0,9% Transgenität überschritten ist. Solche Festlegungen, die in keiner Weise sicherheitsrelevant sind, mögen psychologisch hilfreich sein, es fragt sich aber, ob die extrem teure Überwachung einen Mehrwert bringt. Trotz der hohen Sicherheitsauflagen ist die Akzeptanz der Gentechnik in Deutschland noch gering und der Wunsch nach veränderten Pflanzen nur bedingt verbreitet.

Eine berechtigte kritische Frage von Ökologen und von Landwirten, die Gentechnik-frei arbeiten wollen, ist, ob, und wenn ja wie, sich die neu eingebrachte Eigenschaft vertikal auf Vertreter der gleichen Spezies oder horizontal sogar auf andere Organismen ausbreitet. Deshalb werden erste Anbauversuche genutzt, um die Ausbreitung der übertragenen Gene auf die gleiche Fruchtart, auf verwandte Arten und auf die Ruderalflora zu verfolgen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen dabei z. B. für den Raps eine Verfrachtung des transgenen Pollens über Entfernungen bis zu 300 m. Der Befruchtungserfolg liegt aber bereits in nur 6 m Entfernung unter 0,5 % (Abb. 5).

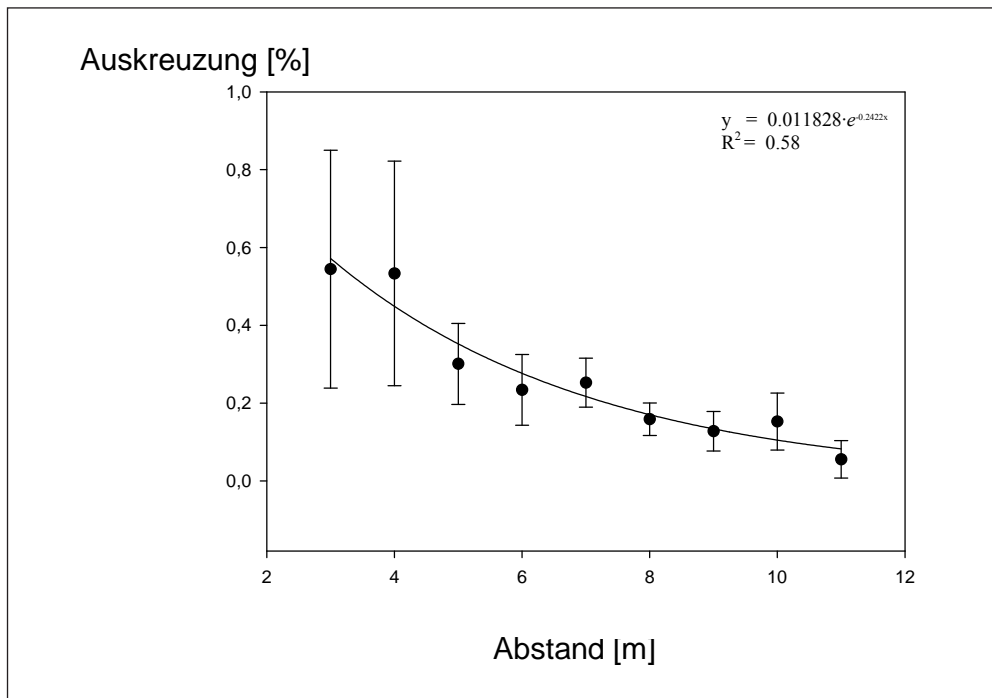


Abb. 5 Durchschnittliche Auskreuzungsfrequenzen als Funktion der Distanz von 100 % transgenen Parzellen. Die Regressionskurve beschreibt den Zusammenhang zwischen Auskreuzungsfrequenz und Entfernung, unabhängig von der Himmelsrichtung (FUNK et al. 2004).

Der eigene Pollen des nicht-transgenen Rapses ist schneller und kommt dem transgenen Pollen bei der Befruchtung zuvor. Auch die wichtige Frage zur Überdauerung transgener Samen im Boden ließ sich mit Gen-Markern sehr genau verfolgen. Es wurde deutlich, dass die Samenbank bei guter landwirtschaftlicher Praxis sich keinesfalls aufschaukelt, sondern dass eine nahezu 100 % Reduktion erfolgt. Eine gewisse Ausbreitung lässt sich in der Biologie aber nicht ausschließen, weshalb der Schwellenwert von 0,9 % nicht unsinnig ist. Nur wo der Schwellenwert überschritten ist, muss nach Gründen und Verantwortlichen gesucht werden. Hier liegen wohl die heikelsten Punkte bei der Inverkehrbringung transgener Nahrungsmittel. Sehr umfangreiche Auflagen und Monitorprogramme, die vom Züchter zu finanzieren sind, erlauben es nur kapitalkräftigen Großunternehmen, die Anforderungen zu erfüllen. Ein Zu-

viel an teurer Kontrolle reduziert die Vielfalt der Züchter, bis hin zur Monopolisierung, und gefährdet damit die dringend notwendige genetisch-züchterische Umsetzung des neuen Wissens in mehr und noch bessere Grundnahrungsmittel.

6. Zeitbedarf

Im Folgenden soll kurz auf den Zeitbedarf für neue Züchtungswege eingegangen werden: Begrüßt man die grundlegende Entdeckung in der Grundlagenforschung mit einem Jubelschrei und setzt diesen Zeitpunkt mit dem Jahr 0 an, so beginnt im Jahr 5 die Arbeit des Züchters mit Überlegungen, wie die neue Technik zielorientiert genutzt werden kann. Entschließt sich der Züchter für die entsprechende Forschungsinvestition, so kann nach rund 10 Jahren ein erster Prototyp vorliegen, mit dem der Übergang in die Praxis beginnen sollte. Nach weiteren ca. 10 Jahren sind nach dem Sortenaufbau mit dem Beginn der Sortenzulassung die Voraussetzungen für den kommerziellen Anbau erfüllt. Auch mit den molekular unterstützten Techniken dauert die Umsetzung einer neuen Idee folglich leicht 20 Jahre; langer Atem wird dabei vorausgesetzt. Würde man mit der Bearbeitung der Herausforderungen z. B. durch den Klimawandel erst heute beginnen, wäre ein vorzeigbares Ergebnis frühestens in 20 Jahren verfügbar. Grundlagen- und Vorlauftforschung muss dementsprechend hinreichend visionär sein. Nur deshalb existiert in diesem Forschungssektor bereits 15 bis 20 Jahre Vorarbeit. Trotz dieses Zeitbedarfs ist die Züchtung der derzeit schnellste Lösungsansatz, um die Probleme, die durch den Klimawandel und durch das zwar verlangsamte, aber immer noch deutliche Bevölkerungswachstum existieren, zu entschärfen.

7. Ausblick

Einblicke in die Funktionsweise der Gene eröffnen ganz neue Möglichkeiten für die quantitative und qualitative Verbesserung unserer Kulturpflanzen: Man wird nicht mehr fremde Gene nutzen müssen, sondern durch Aktivitätsveränderung vorhandener Gene Regulationsproteine so steuern, dass immer gezieltere Eingriffe in den Stoffwechsel gelingen und das natürliche Produkt in veränderter Konzentration oder abgewandelter Form in der Zelle bereitsteht.

Es sei aber angemerkt, dass von den 25 000 Genen, die in einer durch Evolution und klassische Züchtung optimierten Kulturpflanze vorliegen, weiterhin nur eine begrenzte Zahl an Eigenschaften auf gentechnischem Weg ins Genom gelangen werden. Die Gentechnik veredelt somit ein bereits gutes Genom. Dies bedeutet, dass bei allen gentechnischen Strategien die klassische Züchtung nie ausgeklammert werden kann. Sicherlich wird nur die intelligente Kombination von klassischen und molekularen Ansätzen zu genügend Nahrungsmitteln mit guter Resistenz und hoher Qualität führen. Die Anforderungen steigen weiter, und es betrifft zunehmend komplexe Merkmale, die zu kombinieren sind. Der Zeitraum zwischen grundlegenden züchterischen Arbeiten und der Markteinführung der resultierenden neuen Sorte wird aufgrund dieser Erschwernis immer länger und damit teurer. Dauerte die Einzüchtung einer Eigenschaft, die nur auf einer einzigen klar definierten Erbinformation beruht, bereits leicht 10 – 15 Jahre, muss der Züchter für die sichere Einlagerung oder gar die Kombination komplexer Merkmale leicht die doppelte Zeit einkalkulieren. Gendiagnose und Genübertragung sind dabei heute hilfreiche Werkzeuge. Landwirt und Verbraucher werden von einer

auf Grundlage der Gentechnik flexibleren Pflanzenproduktion mit Sorten und Lebensmitteln bedient, deren Menge und Qualität gezielt ihren Forderungen angepasst ist. Die mit dem Werkzeug Gentechnik gezüchteten transgenen Pflanzen bergen kein höheres Risiko als klassische Sorten. Viele sind aufgrund der vielen Untersuchungen sogar sicherer als konventionell gezüchtete Pflanzen. BUSCH et al. (2002) haben ein Bewertungsmodell zur Nutzung der Grünen Gentechnik aus ethischer Sicht mit einem Entscheidungsbaum vorgelegt, der ethisch zu fordernde Produkte von abzulehnenden trennt. Damit sich diese Erkenntnis durchsetzt, ist weltweit vor allem aber in Europa noch viel Diskussionsbereitschaft zwischen Öffentlichkeit und den Regulationsbehörden erforderlich.

Literatur

- ANDERSON, J. R., ZEIN, I., WENZEL, G., DARNHOFER, B., EDER, J., OUZUNOVA, M., and LÜBBERSTEDT, T.: Characterization of phenylpropanid pathway genes within European maize (*Zea mays*) inbreds. *BMC Plant Biol.* 8, 2 (2008)
- Anonymous: Bundessortenamt: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen und Hackfrüchte. Hannover: Deutscher Landwirtschaftsverlag 2007
- BARTON, K. A., WHITELEY, H. R., and YANG, N.-S.: *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin expressed in transgenic *Nicotiana tabacum* provides resistance to Lepidopteran insects. *Plant Physiol.* 85, 1103–1109 (1987)
- BUB, A., MÖSENER, J., WENZEL, G., RECHKEMMER, G., and BRIVIBA, K.: Zeaxanthin is bioavailable from genetically modified zeaxanthin-rich potatoes. *Eur. J. Nutr.* 47, 99–103 (2008)
- BUERSTMAYR, H., LEMMENS, M., SCHMOLKE, M., ZIMMERMANN, G., HARTL, L., MASCHER, F., TROTTET, M., GOSMAN, N. E., and NICHOLSON, P.: Multi-environment evaluation of level and stability of FHB resistance among parental lines and selected offspring derived from several European winter wheat mapping populations. *Plant Breeding* 127, 325–332 (2008)
- BUSCH, R. J., HANIEL, A., KNOEPFFLER, N., and WENZEL, G.: Grüne Gentechnik ein Bewertungsmodell. München: H. Utz 2002
- CHRISTMANN, A., HOFFMANN, T., TEPLOVA, I., GRILL, E., and MÜLLER, A.: Generation of active pools of abscisic acid revealed by in vivo imaging of water-stressed *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 137, 209–219 (2005)
- CHUN, S., THÜMLER, F., WENZEL, G., MELCHINGER, A. E., and LÜBBERSTEDT, T.: Association between SCMV resistance and macroarray-based expression patterns in maize inbreds. *Molec. Breeding* 16, 173–184 (2005)
- DIETZ, A., NIEMANN, P., WENZEL, G., HEIDLER G., and EGGERS, T.: Aspekte des Anbaus herbizidresistenter Kulturpflanzen. *Mittl. Biol. Bundesanst.* 286, 3–73 (1993)
- FISCHBECK, G.: Entwicklungsphasen in der Steigerung der Hektarerträge wichtiger Kulturpflanzen des Ackerlandes in der Bundesrepublik Deutschland 1955–1990. *Ber. Landwirtschaft* 66, 236–255 (1993)
- FUNK, T., WENZEL, G., and SCHWARZ, G.: Outcrossing frequencies and distribution of transgenic oilseedrape (*Brassica napus* L.) in the nearest neighbourhood. *Eur. J. Agronomy* 24, 26–34 (2006)
- GARCIA, A. A., WANG, S., MELCHINGER, A. E., and ZENG, Z. B.: Quantitative trait mapping and the genetic basis of heterosis in maize and rice. *Genetics* 180, 1707–1724 (2008)
- GEHARDT, C.: Potato genetics: Molecular maps and more. In: LÖRZ, H., and WENZEL, G. (Eds.): *Molecular Marker Systems in Plant Breeding and Crop Improvement*; pp. 215–228. Berlin: Springer 2005
- GRANER, A., KELLERMANN, A., and WENZEL, G.: Markergestützte Kombination von Resistenzen bei Gerste: Molekulare Kartierung verschiedener Pilzresistenzen. *Ber. Arbeitstg. Gumpenstein* 46, 189–192 (1995)
- GRILL, E., and CHRISTMANN, A.: A plant receptor with a big family. *Science* 315, 1676–1677 (2007)
- HÄUSLER, R. E., HIRSCH, H.-J., KREUZALER, F., and PETERHÄNSEL, C.: Overexpression of C4 cycle enzymes in transgenic C3 plants: a biotechnological approach to improve C3-photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 53, 591–607 (2002)
- HELLWEGE, E. M. A., CZAPLA, A., JAHNKE, A., WILLMITZER, L., and HEYER, A. G.: Transgenic potato (*Solanum tuberosum*) tubers synthesize the full spectrum of inulin molecules occurring in globe artichoke (*Canara scolymus*) roots. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 8699–8704 (2000)
- HOISINGTON, D. A., and MELCHINGER, A. E.: Marker assisted selection in Maize. In: LÖRZ, H., and WENZEL, G. (Eds.): *Molecular Marker Systems in Plant Breeding and Crop Improvement*; pp. 305–318, Berlin: Springer 2005
- JAMES, C.: Global status of commercialized transgenic crops: 2006. ISAAA (2007)

- KLAHR, A., MOHLER, V., HERZ, M., WENZEL, G., and SCHWARZ, G.: Enhanced power of QTL detection for Fusarium head blight resistance in wheat by means of codominant scoring of AFLP and resistance gene analog markers. *Molec. Breeding* 13, 289–300 (2004)
- KUCKUCK, H., KOBABE, G., and WENZEL, G.: *Fundamentals in Plant Breeding*. Berlin: Springer 1991
- LÖRZ, H., and WENZEL, G.: *Molecular Marker Systems in Plant Breeding and Crop Improvement*. Berlin: Springer 2005
- LÜBBERSTEDT, T., MOHLER, V., and WENZEL, G.: Function of genetic material: Genes involved in quantitative and qualitative resistance. *Prog. Botany* 63, 80–105 (2002)
- MCCALLUM, C. M., COMAI, L., GREENE, E. A., and HENIKOFF, S.: Targeted screening for induced mutations. *Nature Biotechnol.* 18, 455–457 (2000)
- MOHLER, V.: *Distribution of disease resistance genes on the physical map of the wheat genome*. TU München: Habilitation (2006)
- MOHLER, V., LUKMAN, R., ORTIZ-ISLAS, S., WILLIAM, M., WORLAND, A. J., BEEM, J. VON, and WENZEL, G.: Genetic and physical mapping of photoperiod insensitive gene Ppd-B1 in common wheat. *Euphytica* 138, 33–40 (2004)
- MOHLER, V., and SINGRÜN, C.: Marker assisted selection. In: LÖRZ, H., and WENZEL, G. (Eds.): *Molecular Marker Systems in Plant Breeding and Crop Improvement*; pp. 305–318. Berlin: Springer 2005
- MOHLER, V., and WENZEL, G.: Function of genetic material – Contribution of molecular markers in improving crop plants. *Prog. Botany* 65, 72–89 (2004)
- MÖLLERS, C., FREI, U., and WENZEL, G.: Field evaluation of tetraploid somatic potato hybrids. *Theor. Appl. Genet.* 88, 147–152 (1994)
- PORSCH, W.: Weizen, *Triticum aestivum* L. – Qualität für das tägliche Brot – von der Mangelware zum Exportgut. In: RÖBBELEN, G. (Ed.): *Die Entwicklung der Pflanzenzüchtung in Deutschland (1908–2008)*. S. 287–297. Göttingen: Gesellschaft für Pflanzenzüchtung 2008
- RECHKEMMER, G., LÜBECK, J., and WENZEL, G.: Die Zeaxanthinkartoffel – Ernährungsziel, Züchtungsweg und aktueller Stand. Freising-Weißenstephan: 8. GPZ Tagung März 2006
- RÖBBELEN, G.: Beiträge der Biotechnologie zur Verbesserung von Qualitäts- und Leistungseigenschaften. In: SCHELL, T. VON, und MOHR, H. (Eds.): *Biotechnologie – Gentechnik eine Chance für neue Industrien*. S. 201–214. Heidelberg: Springer 1995
- ROS, B., THÜMLER, F., and WENZEL, G.: Comparative analysis of *Phytophthora infestans* induced gene expression in potato cultivars with different levels of resistance. *Plant Biol.* 7, 686–693 (2005)
- ROS, B., MOHLER, V., WENZEL, G., and THÜMLER, F.: *Phytophthora infestans* triggered response of growth- and defence-related genes in potato cultivars with different levels of resistance under the influence of nitrogen availability. *Physiol. Plantarum* 133, 386–396 (2008)
- STERN, G. F. H.: Kartierung von quantitativen Resistenzloci gegen die Blatt- und Spelzenbräune (*Septoria nodorum* Berk.) bei Weizen (*Triticum aestivum* L.) mittels molekularer Marker. Diss. TU München 2003
- THACH, N. Q., FREI, U., and WENZEL, G.: Somatic fusion for combining virus resistance in *Solanum tuberosum* L. *Theor. Appl. Genet.* 85, 863–867 (1993)
- TÖPFER, R., and MARTINI, N.: Engineering of crop plants for industrial traits. In: ALTMAN, A. (Ed.): *Agricultural Biotechnology*; pp. 161–181. New York: M. Dekker Inc. 1998
- UZAROWSKA, A., KELLER, B., PIEPHO, H.-P., SCHWARZ, G., INGVARSDEN, C., WENZEL, G., and LÜBBERSTEDT, T.: Comparative expression profiling in meristem of inbred-hybrid triplets of maize based on morphological investigations of heterosis for plant height. *Plant Mol. Biol.* 63, 21–34 (2007)
- VARSHNEY, R. K., PRASAD, M., and GRANER, A.: Molecular marker maps of barley. In: LÖRZ, H., and WENZEL, G. (Eds.): *Molecular Marker Systems in Plant Breeding and Crop Improvement*; pp. 305–318. Berlin: Springer 2005
- VOSS, H. H., HOLZAPFEL, J., HARTL, L., KORZUN, V., RABENSTEIN, F., EBMAYER, E., COESTER, H., KEMPF, H., and MIEDANER, T.: Effect of the Rht-D1 dwarfing locus on Fusarium head blight rating in three segregating populations of winter wheat. *Plant Breeding* 127, 333–339 (2008)
- WELSH, J. R., KLEIN, D. L., PIRASTEH, B., and RICHARDS, R. D.: Genetic control of photoperiod response in wheat. In: DEARS, E. R., and SEARS, L. M. S. (Eds.): *4. International Wheat Genetic Symposium*; pp. 879–884. Missouri: University 1973
- WENZEL, G.: Genomik bei Pflanzen – ein in Deutschland schlecht beackertes Feld. *Spektrum der Wissenschaft* 7, 30–34 (1997)
- WENZEL, G.: Pflanzenbiotechnologie – Ein effizienter Weg zur besseren Pflanze. *mensch+umwelt* 17, 18–25 (2005)
- WENZEL, G.: *Biotechnology in Potato improvement*. In: GOPAL, J., and KHURANA, S. M. P. (Eds.): *Potato Production, Improvement and Postharvest Management*; pp. 109–146. New York: Haworth 2006a

- WENZEL, G.: Molecular plant breeding: achievements in green biotechnology and future perspectives. *Appl. Microbial. Biotechnol.* 70, 642–650 (2006b)
- WENZEL, G., FREI, U., JAHOR, A., GRANER, A., and FOROUGH-WEHR, B.: Haploids – an integral part of applied and basic research. In: TERZI, M., CELLA, R., and FALAVIGNA, A. (Eds.): *Current Issues in Plant Molecular and Cellular Biology*; pp. 127–135. Dordrecht: Kluwer 1995
- WENZEL, G., LÜBBERSTEDT, T., EL-BADAWY, M., und MOHLER, V.: Verteilung von Resistenzgenen im Genom von Gerste und Mais und die daraus folgenden Konsequenzen für die Züchtung. *Ber. 52. Tagung Ver. Pflanzenzücht. Saatgutkaufleute Österreich.* S. 121–125. Gumpenstein: BAL 2001
- WEYEN, J.: In-vitro-Kulturverfahren. In: RÖBBELEN, G. (Ed.): *Die Entwicklung der Pflanzenzüchtung in Deutschland (1908–2008)*. S. 215–221. Göttingen: Gesellschaft für Pflanzenzüchtung 2008
- YE, X., AL-BABILL, S., KLÖTI, A., ZHANG, J., LUCCA, P., BEYER, P., and POTRYKUS, I.: Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into rice endosperm. *Science* 287, 303–305 (2000)
- ZEIN, I., WENZEL, G., ANDERSEN, J. R., and LÜBBERSTEDT, T.: Low level of linkage disequilibrium at the COMT (Caffeic acid o-methyl transferase) locus in European maize (*Zea mays* L.). *Gen. Res. Crop Evolut.* 54, 139–148 (2007)

Prof. Dr. Gerhard WENZEL
Department Pflanzenwissenschaften
Technische Universität München
85350 Freising-Weihenstephan
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 8161 713258
Fax: +49 8161 713900
E-Mail: gwenzel@wzw.tum.de

Festakt zur Ernennung der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina zur Nationalen Akademie der Wissenschaften

Ceremony to Mark the Nomination of the German Academy of Sciences Leopoldina to the National Academy of Sciences

Nova Acta Leopoldina N. F., Bd. 98, Nr. 362

Herausgegeben vom Präsidium der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina
(2009, 76 Seiten, 50 Abbildungen, 21,95 Euro, ISBN: 978-3-8047-2551-5)

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina wurde am 14. Juli 2008 im Rahmen eines Festaktes in Halle zur Nationalen Akademie der Wissenschaften ernannt. Damit erhielt Deutschland – wie andere europäische Länder oder die USA – eine Institution, die Politik und Gesellschaft wissenschaftsbasiert berät und die deutsche Wissenschaft in internationalen Gremien repräsentiert. Der Band dokumentiert den Festakt mit der Übergabe der Ernennungsurkunde durch die Vorsitzende der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz und Bundesministerin für Bildung und Forschung Annette SCHAVAN. Er enthält die Reden von Bundespräsident Horst KÖHLER, Sachsens-Anhalts Ministerpräsident Wolfgang BÖHMER und Leopoldina-Präsident Volker TER MEULEN sowie den Festvortrag „Rolle und Verantwortung nationaler Akademien der Wissenschaften“ von Jules A. HOFFMANN, Präsident der *Académie des sciences*, Paris. Der Aufbau einer Nationalen Akademie ist ein richtungsweisender Schritt für die deutsche Forschungslandschaft, da für den kontinuierlichen Dialog von Wissenschaft und Politik eine solche Einrichtung erforderlich wurde. Der Publikation ist eine DVD mit dem Mitschnitt der Festveranstaltung beigelegt.

Nahrungsmittelströme

Magere Zeiten – Die Herausforderungen der modernen Landwirtschaft¹

Wilhelm GRUISSEM und Petra BÄTTIG-FREY (Zürich)

Mit 10 Abbildungen

Zusammenfassung

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

Abstract

The dramatic increase in the world's population is an immense challenge for modern agriculture and food production. Climate fluctuations, urban growth and new dietary habits will have a strong and long-term impact on food security in both developing and developed countries. A sobering analysis of upcoming agricultural challenges and an objective assessment of the risks and benefits of new technologies in food production are urgently needed. Past experience with plant breeding and accurate information about our crops in a rapidly changing environment is the basis for this.

1. Einleitung

Die Zahl der Menschen nimmt täglich zu. Bereits in 40 Jahren, im Jahr 2050, werden 9,2 Milliarden Menschen auf dieser Welt leben. Dies sind gegenüber heute 50 % mehr Menschen (UN 2007). Dieses Wachstum verdanken wir vorwiegend einem Rückgang der Sterberate durch bessere medizinische Versorgung, mehr Nahrung und sauberes Wasser. Die erfreulich tiefe Sterberate stellt uns aber auch vor neue Probleme, denn in 40 Jahren müssen 50 % mehr Menschen ernährt werden, was eine erhebliche Steigerung der Nahrungsmittelproduktion erfordert. Ein zusätzlicher Bedarf ergibt sich aus der Tatsache, dass seit Mitte der 1960er Jahre der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch von durchschnittlich 2360 kcal auf 2800 kcal (FAO 2003)

¹ Der Artikel wurde vorgängig in *BioFokus* (Nr. 80, Mai 2009) des Vereins Forschung Für Leben, Zürich (<http://www.forschung-leben.ch>) sowie als kürzere englischen Fassung (Food Security – Risks and Challenges for Modern Agriculture) im *Risk Dialogue Magazine* (Januar 2009) des *SwissRe Centre for Global Dialogue*, Rüschlikon, publiziert.

angestiegen ist und gleichzeitig die Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln wie Früchten, Gemüse oder Fleisch zunahm und auch weiterhin zunehmen wird (*World Bank* 2007). Alleine die Fleischproduktion wurde während der letzten 15 Jahre verdoppelt (*World Bank* 2007). Um den wachsenden Fleischbedarf zu decken, wird heute bereits rund die Hälfte der produzierten Energie aus Pflanzen an Nutztiere verfüttert. Zudem werden neu in großem Stil aus Pflanzen Chemikalien und Bio-Treibstoffe² hergestellt. Mit der konkurrierenden Nutzung von Pflanzen, die traditionell als Nahrungsmittel nun vermehrt als alternativer Rohstoff produziert werden, steigen die Anforderungen an die moderne Landwirtschaft weiter an.

Die zunehmenden Nahrungsbedürfnisse wurden seit Beginn der Landwirtschaft mit immer größeren Produktionsflächen gedeckt. Wir verfügen auf dieser Welt über 148 940 000 km² Land, wovon nur 11 % landwirtschaftlich genutzt werden können (*Central Intelligence Agency* 2008). Zudem gehen davon jährlich 5 bis 10 Millionen ha wegen Verstädterung, Bodenerosion und Verwüstung verloren (SCHERR und SATYA 1996). Noch sind neue Flächen für die landwirtschaftliche Produktion vorhanden, doch ist unklar, welchen Preis die Umwelt für die Umnutzung in produktives Land bezahlen müsste (FAO 2003). In Asien ist der Landmangel bereits in vielen Regionen akut, da die sich stark ausbreitenden Städte das landwirtschaftlich nutzbare Land stetig reduzieren. Auch heute versuchen die Staaten, die wachsenden Nahrungsbedürfnisse der eigenen Bevölkerung über eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche zu decken wie beispielsweise Süd-Korea, das sich zurzeit darum bemüht, einen Teil von Madagaskar, immerhin 1,3 Millionen ha, zu pachten.

Neben Land ist auch Süßwasser ein begrenzter Rohstoff der Landwirtschaft. Weltweit stieg während des letzten Jahrhunderts der Wasserverbrauch im Vergleich zum Bevölkerungswachstum fast doppelt so schnell. Verantwortlich für diese enorme Zunahme ist mindestens zur Hälfte die Landwirtschaft, welche große Gebiete bewässert – mit steigender Tendenz (POSTEL 1999, WOOD et al. 2000). Bis 2025 erwarten die Vereinten Nationen deshalb eine weitere Steigerung des Wasserverbrauchs durch die Landwirtschaft um 20%. Versalzung und lang andauernde Nassperioden von Böden sind häufig die Folgen von Bewässerung und schlechter Wasserbewirtschaftung. Bereits rund 20% der bewässerten Felder weltweit sind davon betroffen (GHASSEMI et al. 1995). Da gleichzeitig die Temperaturen wegen der Klimaerwärmung steigen, befürchten Experten, dass auch die Verlässlichkeit unserer Wasservorräte in vielen Gebieten abnehmen wird. Zudem wird der steigende Meeresspiegel zur Versalzung des Grundwassers beitragen und damit den Süßwasservorrat weiter einschränken (KUNDZEWICZ et al. 2007).

Eine Abflachung der landwirtschaftlichen Produktion aufgrund der Einschränkungen bei den Ressourcen ist eine neue Entwicklung. Während der letzten 40 Jahre hat die landwirtschaftliche Produktion schneller zugenommen als die Weltbevölkerung, was zu einer stetig steigenden Pro-Kopf-Produktion und zu tieferen Preisen geführt hat (Abb. 1).

Dieser Erfolg beruht vorwiegend auf technologischen Innovationen und Verbesserungen wie z. B. Bewässerungssystemen, besserem Saatgut und erfolgreicherer Sorten sowie auf der Anwendung von Düngern und Spritzmitteln. Die hohe Produktionsrate ist allerdings oft mit Umweltschäden verbunden. Obwohl die globale Getreideproduktion weiter steigt, gibt es immer mehr Hinweise darauf, dass die Steigerungsraten abflachen – bei allen Getreiden und

2 Bio- oder Agrotreibstoffe sind flüssige oder gasförmige Treibstoffe, welche aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt wurden. Bioethanol wird zum Beispiel durch Vergärung und Destillation von Getreide, Mais oder Zuckerrüben hergestellt und kann Benzin als Treibstoff ersetzen. Die Verwendung von Biotreibstoffen ist CO₂-neutral.



Abb. 1 Der Index der landwirtschaftlichen Produktion (A: Produktion total; B: Pro-Kopf-Produktion) stieg von 1990 bis 2006 global und auch in den Entwicklungsländern kontinuierlich an. Der Anstieg in den Entwicklungsländern ist nun verlangsamt. Trotz dieses großen Produktionszuwachses ist wegen des raschen Bevölkerungswachstums und der verlangsamteten Ertragszunahmen die Produktion pro Kopf vor allem in den ärmsten Ländern gesunken. (Quelle: *FAO World Food and Agricultural Review* 2008)

fast weltweit. Bei steigenden Bevölkerungszahlen und gleichbleibender Landwirtschaftsfläche sinkt folglich die Pro-Kopf-Produktion (Abb. 1B).

Die abflachende Ertragssteigerung und der wachsende Bedarf an Nutzpflanzen als Rohstoffquelle haben in den vergangenen Jahren die weltweiten Nahrungsreserven stark verringert (Abb. 2) und zu einem drastischen Anstieg der Lebensmittelpreise geführt (Abb. 3). Von den hohen und instabilen Preisen am meisten betroffen sind die am wenigsten entwickelten und ärmsten Länder, wo die Bevölkerung bereits heute Hunger leidet.

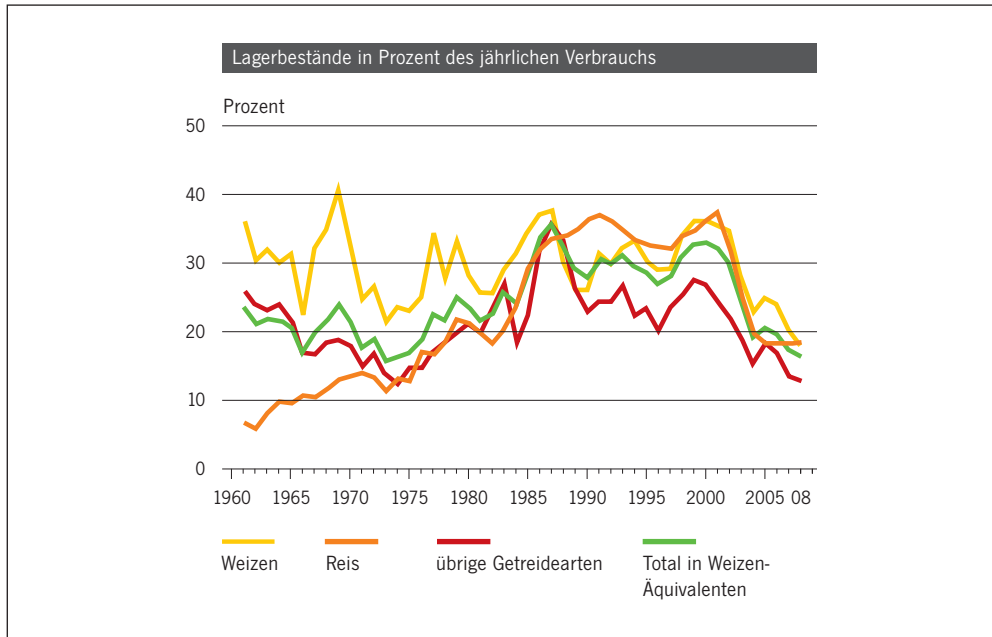


Abb. 2 Große Getreidevorräte können kurzfristige Schwankungen im Agrarmarkt, z. B. wegen Ernteausfällen, ausgleichen. Diese Vorräte haben jedoch seit 2000 rasch abgenommen. Das aktuelle Verhältnis zwischen Lagerbestand und Nachfrage von 16 % ist auf dem tiefsten Stand seit 45 Jahren. (Quelle: *FAO World Food and Agricultural Review* 2008)

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

2. Eine kurze Geschichte der Landwirtschaft

Viele tausend Jahre lang waren unsere Vorfahren Jäger und Sammler. Sie lebten ausschließlich von wilden Tieren und wilden Pflanzen. Erst vor rund 10000 Jahren begannen Gruppen von

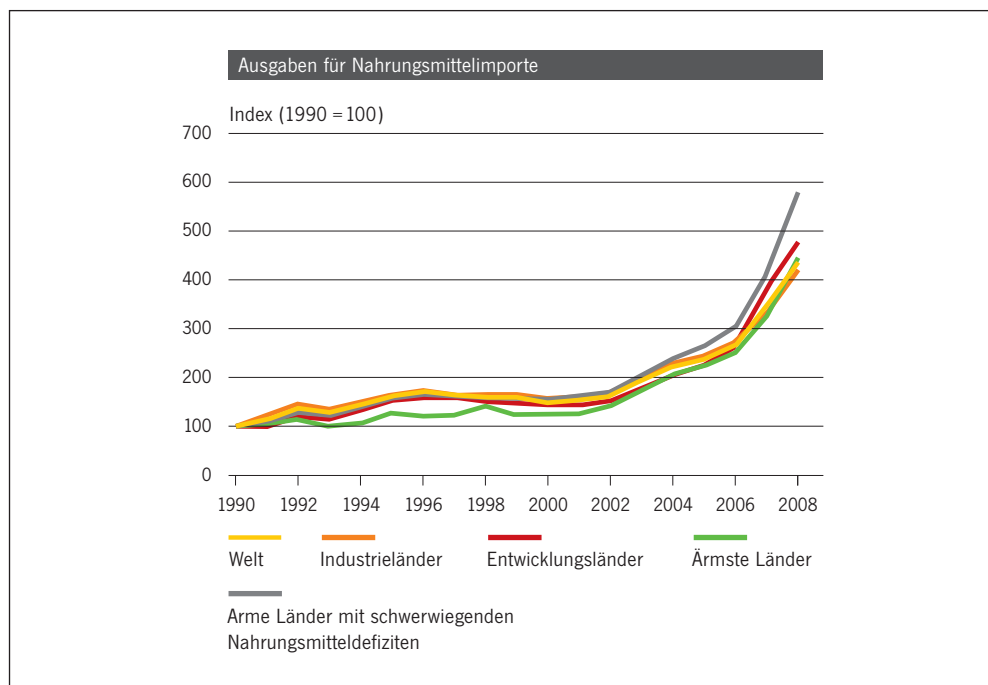


Abb. 3 Die globalen Ausgaben für den Nahrungsmittelimport haben während der letzten Jahren stark zugenommen. Dafür verantwortlich sind vor allem höhere Preise. Diese sind im Jahr 2008 stark geschwankt. (Quelle: *FAO World Food and Agricultural Review* 2008)

Menschen in verschiedenen Gebieten der Welt gleichzeitig Pflanzen anzubauen und Tiere zu zähmen. Die Samen von wilden Pflanzen, welche bereits vorher als Nahrung dienten, wurden nicht mehr nur gegessen, sondern auch gesät, damit im nächsten Jahr wieder geerntet werden konnte. Alle wichtigen Kulturpflanzen, von denen wir uns heute ernähren, wurden in dieser Zeit zum ersten Mal kultiviert: Weizen und Gerste im Nahen Osten, Reis in China, Kartoffeln in den Anden und Mais in Mexiko. Landwirtschaft entwickelte sich aber auch im Osten der USA, in einigen Regionen Indiens, im südlichen Afrika und der östlichen Sahara (SMITH 1995).

Die ersten Bauern experimentierten mit vielen verschiedenen Pflanzensorten, doch nur wenige ließen sich erfolgreich anbauen. Die kultivierten Pflanzen unterschieden sich schon nach wenigen Generationen von ihren wilden Vorfahren, da unter den neuen, geschützten Bedingungen ganz andere Merkmale wichtig wurden. Diese konnten sich in den kultivierten Pflanzen rasch durchsetzen. Zum Beispiel sammelten die Bauern bevorzugt Getreidearten, deren Körner nach der Reifung nicht zu Boden fielen, sondern fest mit dem Stängel verbunden blieben. Diese Eigenschaft wäre in der Wildnis hinderlich, da dort die Samen über eine große Fläche verteilt werden sollen, damit möglichst viele Samen erfolgreich keimen und wieder Nachkommen produzieren. Doch war die Ernte viel einfacher und effizienter, wenn die Samen als ganze Ähre gesammelt werden konnten und nicht als einzelne Körner vom Boden aufgelesen werden mussten. Deshalb haben die Bauern Pflanzen ausgewählt, bei denen die Ähre die fertigen Körner bis zur Ernte zusammenhält und nicht auf den Boden fallen lässt, wo das Korn keimen oder verderben würde. Auch andere morphologische

Veränderungen, wie größere Körner, dünnere Samenschalen oder Samen, die sehr schnell keimen, sind Merkmale von kultivierten Pflanzen (Abb. 4). Solche Eigenschaften wären in der Wildnis ungünstig, sind aber in der geschützten Welt der Landwirtschaft von Vorteil. Man nimmt heute an, dass neue Eigenschaften sich in sehr kurzer Zeit, innerhalb von 20 bis 200 Jahren nach Beginn des Anbaus einer Wildpflanze, etabliert haben (HILLMAN und DAVIES 1999). Das sind nur wenige Jahrzehnte wiederholter Aussaat, Anbau und Ernte und nur wenige Jahrzehnte der Selektion von mutierten Wildgräsern (HUANG et al. 2002). Deshalb scheint es wahrscheinlich, dass frühe Bauern bereits kurz nach dem ersten erfolgreichen Anbau ihrer Pflanzen gezielt Samen mit positiven Eigenschaften wie hohem Ertrag oder gutem Nährwert ausgewählt und vermehrt haben.

Die ersten bekannten kultivierten Pflanzen sehen im Vergleich zu unseren heutigen Kultursorten immer noch wie Wildgräser aus: Nur wenige kleine Körner sitzen auf einem langen Stiel. Moderner Weizen dagegen hat große, kompakte Ähren mit großen Körnern auf einem kurzen, stabilen Stängel. Doch ist der Weizen, aus welchem wir heute unser Brot backen, nur zum Teil das Resultat moderner Zuchtprogramme. Denn zwei wichtige Änderungen im Weizen ereigneten sich spontan. Weizen hat nämlich nicht einen einzelnen Vorfahren, sondern ist die Kombination von drei verschiedenen, nah verwandten Wildgräsern. Einkorn, eine frühe Weizensorte, hybridisierte³ spontan mit einem Wildgras (*Aegilops speltoides*). Daraus entstand der tetraploide⁴ Emmer, welcher die kompletten Genome⁵ beider Vorfahren enthält. Kultivierte Sorten von Emmer und Einkorn wurden an verschiedenen archäologischen Stätten im östlichen Mittelmeerraum und im Irak gefunden, welche bis zu 10 000 Jahre alt sind. Dies weist darauf hin, dass der Schritt vom Einkorn zum Emmer bereits vor der Domestikation dieser Pflanze stattgefunden hatte. Vor rund 8000 Jahren führte eine zweite spontane Hybridisierung mit einem weiteren Wildgras (*Aegilops tauschii*) zu unserem heutigen Brotweizen, welcher seither drei komplette Genome enthält, also hexaploid ist. Neben dem Brotweizen werden bis heute die inzwischen weiter entwickelten Vorfahren des Weizens, das Einkorn und der Emmer, gezüchtet und angebaut.

Bereits vor 9000 Jahren waren Getreidepflanzen und Landwirtschaft in der gesamten Gegend des fruchtbaren Halbmonds bekannt (ungefähr das Gebiet des heutigen Irak, Syrien, Palästina und Israel sowie Ägypten). Erst 2000 Jahre später wurden in Griechenland und dem Gebiet der Ägäis Emmer, Einkorn und Gerste angebaut und Viehzucht betrieben. Es dauerte nochmals 2000 Jahre bis auch in Spanien Getreide kultiviert wurde. Seit dieser Zeit hat sich die Landwirtschaft in Europa bis etwa um 1700 wenig verändert. Erst im 18. Jahrhundert verbreiteten sich neue Kulturpflanzen wie Kartoffeln und Mais aus Süd- und Nordamerika rasch in ganz Europa und führten zu einer größeren Abwechslung in der Ernährung sowie zu wesentlich höheren Erträgen. Eine weitere Steigerung der Erträge wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert

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

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

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

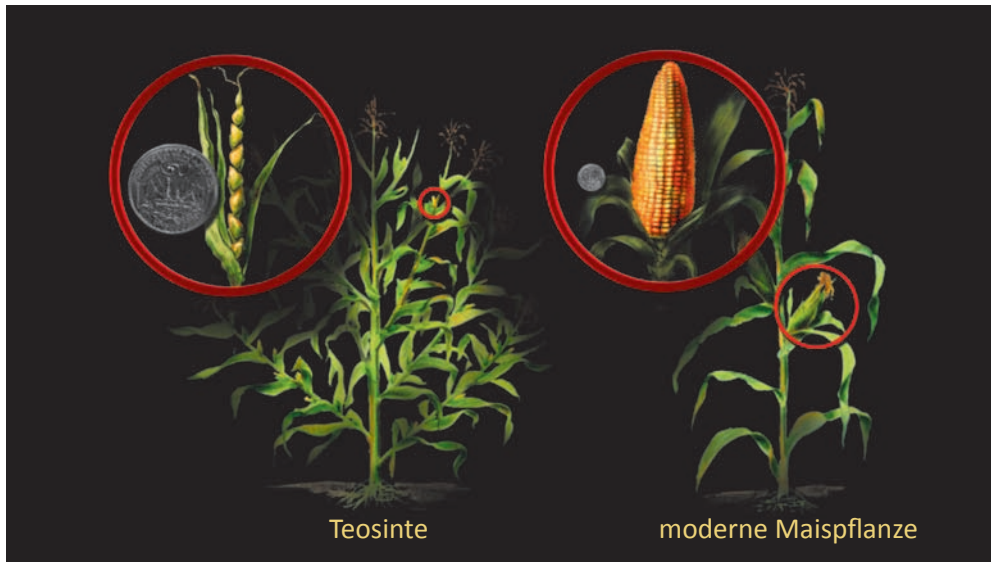


Abb. 4 Teosinte ist die Ursprungsorte von Mais, welche vor mehr als 6000 Jahren erstmals angebaut wurde. Während der Domestikation gingen viele Eigenschaften, welche das Überleben in der Wildnis ermöglicht hatten, verloren, dafür wurden landwirtschaftlich wichtige Eigenschaften verstärkt. Die moderne Maispflanze besitzt nur noch wenige große kompakte Kolben mit vielen Reihen weicher Maiskörner auf einem einzelnen unverzweigten Stängel. (Quelle: National Science Foundation)

mit der Mechanisierung der Landwirtschaft und der Zucht von neuen Hybridpflanzen erreicht. Diese entstanden in neuen Gewächshäusern, welche ursprünglich zur Kultivierung von exotischen Pflanzen gebaut worden waren. Die Verbreitung dieser Hybridpflanzen, wie auch der neue künstliche Dünger und etwas später die Einführung der chemischen Pflanzenschutzmittel waren wichtige Neuerungen in der Landwirtschaft des vergangenen Jahrhunderts.

3. Die Grüne Revolution

Alle diese Errungenschaften haben vor allem die Landwirtschaftserträge in den entwickelten Ländern erhöht, wodurch die schnell wachsende Bevölkerung dieser industrialisierten Nationen ernährt werden konnte. Doch in den Entwicklungsländern litten weiterhin viele Menschen Hunger. Mitte des 20. Jahrhunderts entwickelte Norman BORLAUG zusammen mit weiteren Forschenden neues Saatgut mit deutlich höherem Ertrag (HEDDEN 2003, HUANG et al. 2002). Gleichzeitig half er mit, Dünger, Bewässerung und chemische Pflanzenschutzmittel in die Entwicklungsländer zu bringen. Diese Modernisierung der Landwirtschaft führte zur sogenannten „Grünen Revolution“ (Abb. 5). Noch 1960 wurde in Asien fast ein Drittel der Reisernte von Insekten gefressen (HEINRICHS 1998). Der Einsatz von Pestiziden und Dünger, die Ausweitung der Bewässerungsfläche sowie der Anbau von neuartigen Sorten wie Weizen mit kürzeren und stabileren Stängeln oder die Hochertragsreissorte IR8 von den Philippinen haben die Getreideproduktion zwischen 1965 und 1980 mehr als verdoppelt. Im Jahr 1970 bekam Norman BORLAUG den Friedensnobelpreis für seine Leistungen.

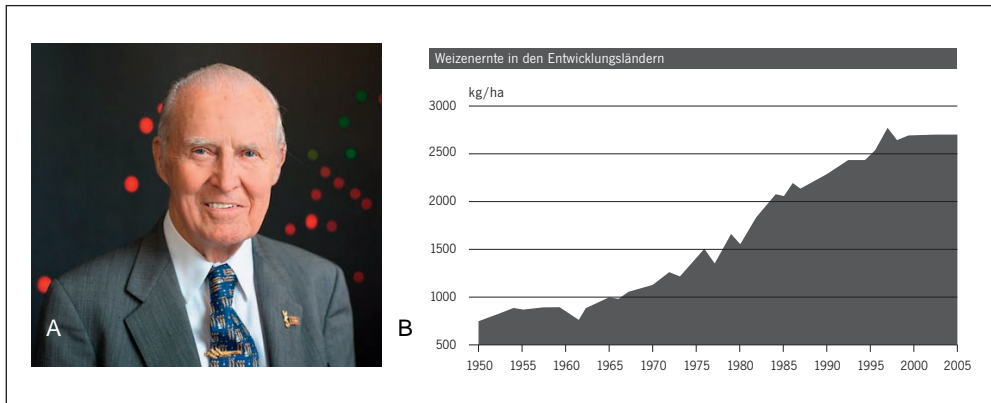


Abb. 5 Norman BORLAUG (A) wird als „Vater“ der Grünen Revolution bezeichnet. Er hat die Züchtung von Weizen- und Reissorten für Entwicklungsländer mit erheblich höheren Erträgen vorangetrieben (B). (Quelle: Nobelprize.org, FAO)

Diese industrialisierte Landwirtschaft hat zwar eine breite Hungersnot verhindert und ermöglichte, dass heute Milliarden von Menschen genügend Nahrung haben, doch die Verbesserungen sind nicht in allen Regionen gleich zum Tragen gekommen. So hat sich die Lage vor allem in Afrika südlich der Sahara deutlich weniger verbessert als in Asien oder Südamerika. Während in Asien bereits 37 % der Anbaufläche bewässert werden, sind es in Afrika südlich der Sahara erst 5 %, und statt durchschnittlich 129 kg Dünger pro Hektar werden dort nur 11 kg pro Hektar ausgebracht (FAO 1996a). In Afrika kann folglich der Ertrag mit heutigem Saatgut noch verbessert werden. In anderen Weltregionen, wo bereits eine intensive Landwirtschaft betrieben wird, werden immer mehr auch die negativen Folgen der Grünen Revolution sichtbar. Wie bereits die ersten Bauern versuchen deshalb moderne Züchter, den Ertrag unserer Kulturpflanzen zu erhöhen, um in Zukunft mit den begrenzten Ressourcen an landwirtschaftlich nutzbarem Land und Wasser möglichst viel Nahrung zu produzieren.

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

4. Klimaänderung als Herausforderung

Neue Methoden sind in der Landwirtschaft auch deshalb nötig, weil wir in Zukunft mehr Nahrung unter neuen klimatischen Bedingungen produzieren müssen. So wird es laut dem vierten Sachstandsberichts des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) in den meisten Regionen dieser Welt wärmer werden. Danach wird die Bodenfeuchtigkeit in den Subtropen abnehmen, was in einigen Gebieten zu Trockenheit führen wird, in anderen zu Überschwemmungen. Diese Auswirkungen der Klimaänderungen werden vor allem die armen Länder treffen. Damit in diesen Regionen auch unter sich ändernden Bedingungen Landwirtschaft betrieben werden kann, sind verschiedene Anpassungen nötig. In Zukunft werden die Bauern Sorten verwenden müssen,

welche besser an die höheren Temperaturen angepasst sind, oder sie müssen auf ganz neue Kulturpflanzen umstellen, die vorher nicht verwendet wurden. Um lang anhaltende Trockenperioden zu bewältigen, werden neue Bewässerungssysteme nötig sein. Zudem müssen neue Sorten entwickelt werden, welche mit nur wenig oder zu viel Wasser überleben können. Fast alle diese Änderungen sind zeitaufwendig, arbeitsintensiv und teuer.

Oft wird erwähnt, dass die steigende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre nicht nur Nachteile mit sich bringe, sondern eine positive Auswirkung auf die Landwirtschaft habe. Der Grund dafür ist, dass die Ribulose-1,5-bisphosphatcarboxylase, das Enzym, welches in der Pflanze CO₂ aus der Luft fixiert, bei hohen CO₂-Konzentrationen besser funktioniert. Mehr CO₂ in der Atmosphäre könnte vorerst wegen der sogenannten Kohlenstoffdüngung tatsächlich einen positiven Effekt haben, vorausgesetzt für die CO₂-Fixierung aus der Luft stehen genügend Stickstoff und genügend Wasser zur Verfügung (CURE und ACOCK 1986). Aber der Einfluss des atmosphärischen CO₂ ist bei verschiedenen Arten sehr unterschiedlich, und der positive Effekt von mehr CO₂ auf den Ertrag ist bei höheren Temperaturen nicht mehr sichtbar (FUHRER 2003).

Klar ist, dass die Klimaänderung die Landwirtschaft regional sehr unterschiedlich beeinflussen wird. Vor allem in Regionen mit saisonaler Trockenheit und in den Tropen nahe dem Äquator könnten die Erträge bereits bei geringen Temperaturerhöhungen abnehmen. Südasien und Südafrika, zwei typische Hungerzonen, werden wahrscheinlich am meisten unter dem Einfluss der Klimaänderung zu leiden haben. So wird beispielsweise geschätzt, dass bei Mais als wichtigstem Kohlenhydratlieferanten im südlichen Afrika bis 2030 mit Produktionseinbußen von rund 30 % gerechnet werden muss. Auch in Südasien, wo heute etwa ein Drittel aller unterernährten Menschen der Welt lebt, werden wichtige Kulturpflanzen wie Weizen, Reis, Raps, Hirse und Mais mit mehr als 75-%iger Wahrscheinlichkeit Ernteeinbußen aufgrund der Klimaänderung verkraften müssen (LOBELL et al. 2008). Gerade diese Bauern werden auf die Züchtung von Pflanzen, welche besser an die neuen Verhältnisse angepasst sind, angewiesen sein. Doch dies ist ein langjähriger Prozess, welcher in der Regel rund 10 Jahre dauert. Eher länger dauert die Zucht von neuen Sorten mit so komplizierten Eigenschaften wie Trockenheitsresistenz oder Überschwemmungstoleranz. Nach der Züchtung wird mit weiteren 5 Jahren zur Sortenprüfung und Vermehrung gerechnet.

Wegen der prognostizierten Veränderungen in der Landwirtschaft durch die Klimaerwärmung wird erwartet, dass bis ins Jahr 2020 das landwirtschaftliche Bruttoinlandsprodukt weltweit um 16 % zurückgehen wird (CLINE 2007). Diese Vorhersagen sind beängstigend. Sie zeigen deutlich, dass dringend Zuchtprogramme und die Nutzung von neuen Zuchtmethoden von öffentlicher und kommerzieller Seite gefördert und finanziert werden müssen, um neue Sorten zu entwickeln, welche auch unter widrigen Umweltbedingungen gedeihen.⁶

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

Man geht davon aus, dass die Hauptursache der globalen Klimaveränderung die Verwendung von fossilen Brennstoffen ist, welche zu erhöhten Treibhausgasemissionen beiträgt. Die heu-

6 <http://www.basf.com/group/corporate/en/content/news-andmedia-relations/news-releases/P-07-187>; <http://www.fao.org/wairdocs/TAC/Y5198E/y5198e02.htm>.

tige Weltwirtschaft und mit ihr die moderne Landwirtschaft basieren vorwiegend auf fossilen Treibstoffen. Sie sind die Hauptquelle für Energie wie auch die Grundlage für die chemische Industrie. Diese Abhängigkeit von einer Energiequelle, welche nur beschränkt und nur in einzelnen Regionen auf der Erde vorkommt, stellt unsere Gesellschaft vor verschiedene Herausforderungen. Sie wird den fossilen Energiekonsum in Zukunft weiter beeinträchtigen. In den letzten Jahren hat deshalb die Verwendung von Nahrungsmitteln wie Mais oder Weizen als Grundlage für die Herstellung von technischer Energie stark an Bedeutung gewonnen. Dies führt zu neuen Bedenken hinsichtlich unserer Nahrungssicherheit, da dies in direkter Konkurrenz zu unserer Ernährung steht und die Preise für Grundnahrungsmittel bereits in die Höhe getrieben hat (DALE 2008). Aus diesen Gründen haben Länder wie China vorläufig die Herstellung von Ethanol aus Mais oder einem anderen Getreide mit einem Moratorium eingestellt.

Zur Sicherung der Energieversorgung der USA hat der ehemalige US-Präsident BUSH im Dezember 2007 ein Gesetz unterschrieben (*U. S. Energy Independence and Security Act of 2007*, H. R. 6), welches verlangt, dass bis 2022 mindestens 44% der alternativen Energien auf pflanzlicher Basis hergestellt werden.⁷ Eine ähnliche Richtlinie der Europäischen Union zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen⁸ fordert bis 2020 einen verbindlichen Biokraftstoff-Mindestanteil im Verkehrssektor von 10%. Dieses Ziel kam trotz der Bedenken zustande, dass der Druck auf die Biomasseressourcen zu Engpässen oder unerwünschten Umweltfolgen führen könnte. Die Verwendung von neuem pflanzlichem Ausgangsmaterial wird wohl nötig sein, um diese Ziele zu erreichen, ohne den Druck auf die Nahrungsmittelpreise zu erhöhen (Abb. 6). Gleichzeitig muss gerade bei der Herstellung von Biomasse zur Treibstoffgewinnung die Energiebilanz genau überlegt werden. Landwirtschaft benötigt sehr viel Energie, z. B. für die Fahrten bei Aussaat und Ernte, die Bewässerung oder zur Herstellung von Dünger. Für eine nachhaltige Landwirtschaft muss diese Energiebilanz optimiert werden.

Pflanzen sind die Hauptlieferanten von organischem Material, wobei Zellulose, Hemicellulose und Lignin aus den pflanzlichen Zellwänden die wichtigsten Biopolymere⁹ sind, welche bislang zur Energiegewinnung genutzt werden. Sogar die fossilen Energieträger basieren vorwiegend auf pflanzlichem Material. Wie die konkurrierende Nutzung von Pflanzen als Nahrungsmittel und als alternativer Rohstoff für die chemische Industrie und zur Energiegewinnung in der Landwirtschaft gehandhabt werden soll, ist noch offen. Fest steht, dass künftige Lösungsansätze umweltverträglich und Ressourcen schonend sein müssen. Damit Agrotreibstoffe als alternative Energiequelle genutzt werden können, muss wesentlich mehr Biomasse zu Verfügung stehen, und diese muss effizienter in Bio-Treibstoff umgewandelt werden. Studien deuten darauf hin, dass nur Stroh eine sinnvolle Quelle für Bio-Treibstoff ist, da nur Stroh nicht in direkter Konkurrenz mit unserer Nahrung steht. Die Zeit, um die US- und EU-Ziele bis 2022 resp. 2020 zu erreichen, ist kurz, dauert es doch mindestens 10 bis 15 Jahre bis neue Zuchtformen von Pflanzen, welche effizient als alternative Energiequelle genutzt werden können, auf den Markt kommen und von den Bauern angebaut werden können.

7 <http://www.govtrack.us/congress/billtext.xpd?bill=h110-6>.

8 <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008PC0019:EN:NOT>.

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

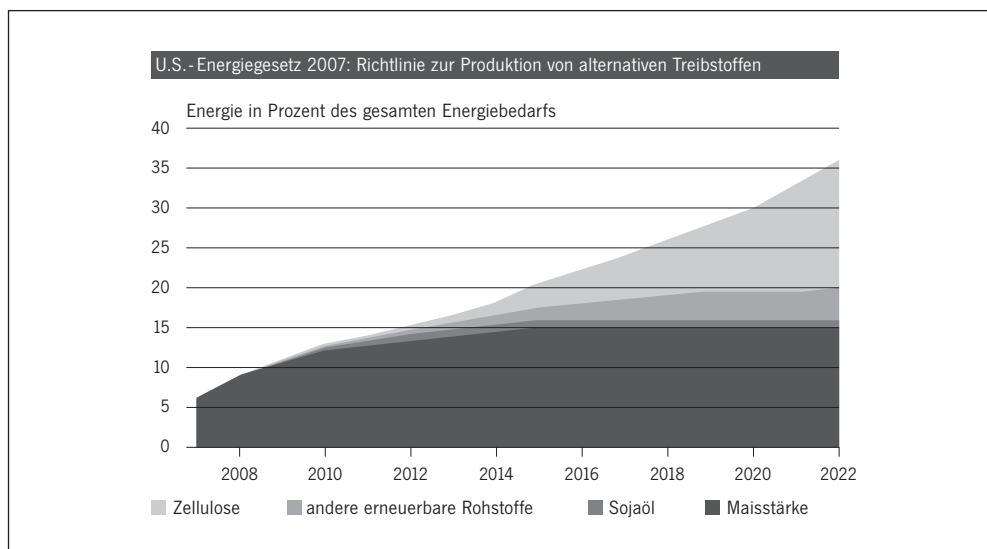


Abb. 6 Um die Produktionsziele für alternative Energien bis 2022 zu erreichen, braucht es sehr viel pflanzliches Material, welches nicht aus Nahrungspflanzen stammt. Die Zucht von Pflanzen wie Rutenhirse oder Chinaschilf, welches in Europa bereits als Ausgangsmaterial für die Bio-Ethanolproduktion getestet wurde, könnte das Problem der konkurrierenden Nutzung für Nahrung und Biotreibstoffe reduzieren. (Quelle: Grafik von Ceres, Inc.)

6. Pflanzenkrankheiten als Herausforderung

Nicht nur neue Herausforderungen stellen sich der modernen Landwirtschaft, auch alte Probleme sind noch nicht gelöst. Pflanzenkrankheiten haben immer wieder in der Geschichte für schwere Ernteausfälle gesorgt und führen auch heute noch zu großen Ertragseinbußen. Wie Menschen, so sind auch Pflanzen anfällig für Krankheiten. Eine Reduktion der pflanzlichen Vielfalt, wie diese in einem Feld mit Kulturpflanzen herrscht, macht es den Krankheitserregern viel einfacher sich auszubreiten. Besonders großflächige Monokulturen¹⁰, welche ihre Resistenzen durch die Jahrtausende währende Kultur verloren haben, sind ein idealer Vermehrungsort für Krankheiten. Das klassische Beispiel dazu ist die große Hungersnot in Irland zwischen 1845 und 1850, welche zum Tode von schätzungsweise einer Million Iren geführt hatte (etwa 12% der Population). Grund war der Ausfall der Kartoffelernte wegen der Kartoffelfäule. Diese wurde durch den Pilz *Phytophthora infestans* ausgelöst, welcher mit einer Ladung Pflanzkartoffeln aus den USA nach Irland und Europa gebracht wurde. Da zu jener Zeit die Bauern in Irland nur drei verschiedene Sorten Kartoffeln als große Monokulturen anbauten und keine dieser Sorten resistent gegen den Pilz war, konnte sich *Phytophthora infestans* mit seinen Sporen über den Wind ungehindert im ganzen Land ausbreiten. Die Folgen waren verheerend: Knollen verfaulten im Feld, die Menschen hungerten. Doch auch gegen-

¹⁰ Von einer Monokultur spricht man, wenn auf einer großen Fläche nur eine einzelne Pflanzenart angebaut wird. Neben Vorteilen wie der einfacheren und effizienteren Handhabung eines solchen Anbaus, birgt eine Monokultur auch Gefahren, da sich Krankheiten in solchen Feldern sehr rasch ausbreiten können.

wärtig sind praktisch alle Kulturkartoffelsorten anfällig für Kartoffelfäule. Der Pilz lässt sich aber durch wiederholte Behandlungen mit Fungiziden¹¹ begrenzt in Schach halten.

Pflanzen, welche gegen eine bestimmte Krankheit resistent sind, vererben diese Eigenschaft häufig dominant¹² an ihre Nachkommen. Als dies erkannt wurde, haben moderne Züchter neue Programme entwickelt, um resistente Sorten bei Wildpflanzen zu identifizieren und deren Resistenzeigenschaften in die Kultursorten einzukreuzen. Damit konnten neue Sorten vor Krankheitsbefall geschützt werden. Gleichzeitig wurde dabei entdeckt, dass am geographischen Ursprung einer Pflanze die größte Vielfalt an wilden Verwandten existiert. Dort gibt es auch die größte Vielfalt an Krankheitserregern und die zugehörigen Resistenzgene¹³. Diese Erkenntnisse erleichtern die Arbeit der Züchter, welche in den Ursprungsgebieten wilde Verwandte für die Zucht von neuen Sorten nutzen. Die neuen, nun gegen gewisse Krankheiten resistenten Sorten wurden sehr erfolgreich angebaut und halfen, Krankheiten einzudämmen.

Bald wurde Bauern und Züchtern klar, dass es sich dabei nur um einen vorübergehenden Erfolg handelte, denn viele Resistenzen wurden schon nach wenigen Jahren kommerzieller Anwendung von den Pathogenen überwunden. Schwere Epidemien waren das Resultat. Seither wechseln sich Zeiten, in denen die Pflanzen vor der Krankheit geschützt sind, ab mit Zeiten, in denen die Resistenz von einem neuen Stamm der Krankheitserreger durchbrochen wird. Durch die Verbreitung einer neuen Sorte mit einem neuen Resistenzgen lässt sich die Krankheit wieder einige Zeit kontrollieren. So herrscht ein ständiger Wettlauf zwischen Züchtern und Krankheitserregern. Immer wieder sind neue Sorten mit verbesserten Eigenschaften nötig. Dabei ist es oft schwierig vorherzusagen, wie lange Pflanzen gegen Erreger resistent sind. Der Ausbruch der Weizenbraunrostkrankheit (Abb. 7), welche kürzlich durch einen bösartigen Stamm des Pilzes UG99 hervorgerufen wurde, ist ein Beispiel dafür. Der Nobelpreisträger Norman BORLAUG meint, diese Krankheit illustrierte gut, dass Pflanzenkrankheiten immer noch ein „immenses Zerstörungspotential“ hätten.¹⁴ Nach den verheerenden Ernteverlusten zu Beginn und in der Mitte des 20. Jahrhunderts sind die meisten heute angebauten Weizensorten resistent gegen Braunrost. Doch der neue Pilzstamm Ug99, welcher 1999 in Uganda entdeckt wurde, ist viel gefährlicher. Mit dem Wind verbreiten sich die Sporen und damit die Krankheit immer weiter. Weil die heutigen Weizensorten gegen diesen neuen Pilzstamm nicht resistent sind, werden ähnlich hohe Ernteverluste wie beim ersten Ausbruch der Braunrostkrankheit erwartet. Die FAO schätzt, dass Ug99 die weltweite Weizenproduktion um 60 Millionen t verringern könnte. Als erste Gegenmaßnahme gegen diese Krankheit werden Pilzvernichtungsmittel eingesetzt. Doch sind diese für die Bauern in den Entwicklungsländern meist zu teuer oder in den nötigen Mengen gar nicht erhältlich. Wer sie dennoch anwendet, kann oft die nötigen Schutzmaßnahmen (z. B. Schutzmasken) nicht ergreifen, was zur Beeinträchtigung der Gesundheit führen kann.

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

12 Die meisten Organismen, die sich sexuell fortpflanzen, sind diploid, das heißt, sie enthalten je einen kompletten Gensatz von der Mutter und einen vom Vater. Nachkommen erhalten demnach die mütterliche als auch die väterliche Variante eines Gens. Diese Genvarianten können dominant oder rezessiv sein. Unter der Annahme, dass die rote Blütenfarbe dominant vererbt wird, weiße aber rezessiv, werden Pflanzen, die von ihren Eltern sowohl eine weiße als auch eine rote Genvariante geerbt haben, rote Blüten haben. Nur diejenigen Pflanzen, welche von beiden Elternpflanzen je die Genvariante weiß bekommen haben, werden weiße Blüten tragen.

13 Ein Resistenzgen ist ein Gen, welches das Lebewesen vor einer Krankheit schützt. Ein Pilzresistenzgen kann z. B. eine Pflanze vor Pilzbefall schützen.

14 New Scientist, 3 April 2007 (<http://www.newscientist.com/article/mg19425983.700>).



Abb. 7 Der erneute Ausbruch der Weizenbraunrostkrankheit ist eine Bedrohung für die Weizenproduktion weltweit. (Quelle: www.globalrust.org)



Abb. 8 Die Panamakrankheit ist eine von zwei Pilzkrankungen, welche heute die weltweite Bananenproduktion gefährdet. (Quelle: www.bodenoekosysteme.unibonn.de)

Es gibt analog zum Schwarzrost Ug99 weitere Beispiele von aktuellen Krankheitserregern. Die meisten der heute weltweit gegessenen Bananen gehören zur Sorte Cavendish. Diese Banane ersetzte die früher verwendete Sorte Gros Michel, welche 1960 durch die Panama-Krankheit, ausgelöst durch den Pilz *Fusarium oxysporum* (Abb. 8), völlig verwüstet wurde. Seit etwa 30 Jahren breitet sich eine neue Pilzkrankheit aus: *Mycosphaerella fijensis* löst die Black-Sigatoka-Krankheit aus. Black Sigatoka bedroht die Cavendish-Bananen und möglicherweise weitere Sorten, welche die Grundnahrung und die einzige Einkommensquelle von Millionen von Menschen sind.¹⁵ Schuld an der Misere sind nicht nur die Monokulturen und das Vordringen des Pilzes, sondern auch die Tatsache, dass die meisten Bananen steril sind und als Klone¹⁶ vermehrt werden. Dies macht die Züchtung neuer, resistenter Arten schwierig und erleichtert die Ausbreitung von Krankheiten.

Um im Wettlauf mit neuen und alten Erregern weiterhin vorne zu liegen, ist es unabdingbar, dass kontinuierlich in die Zucht von neuen Sorten investiert wird. Immer wichtiger werden dabei neue Zuchtmethoden und neue Anbaumethoden, welche die Erreger beim Durchbrechen der Resistenz verlangsamen. Grundlage dafür ist weiterhin eine große Vielfalt an verschiedenen Resistenzgenen. Diese Vielfalt ist heute bedroht.

7. Biodiversität als Herausforderung

Landwirtschaft und Züchtung reduzierten von Anfang an wegen Rodungen und wegen des Anbaus einer einzelnen Sorte auf einem ganzen Feld die Artenvielfalt. Doch der aktuelle Rückgang der Biodiversität¹⁷ in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten ist alarmierend. Der Verlust der Biodiversität ist nicht nur eine Bedrohung für die Gesundheit unserer Kulturpflanzen, sondern auch eine Gefahr für die zukünftige Forschung, da die Anzahl zur Verfügung stehender Kreuzungspartner geringer wird. Schätzungen gehen davon aus, dass auf der Erde rund 400 000 verschiedene Pflanzenarten vorkommen. Im Laufe der langen Geschichte der Landwirtschaft wurden rund 7000 verschiedene Pflanzen kultiviert. Davon spielen heute noch 150 Pflanzen (2%) eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft als Nahrungsmittel oder für die Textilherstellung. Und weltweit liefern nur 30 der heute angebauten Pflanzen 95% aller Nahrungs- und Futtermittel (Abb. 9).

Beängstigend ist zudem die rasche Abnahme der Diversität innerhalb einer einzelnen Art. Immer größere Flächen werden mit nur einer einzigen modernen Kultursorte bestellt. Zum Beispiel wurde die Reissorte IR 36 im Jahr 1982 in Asien auf 11 Millionen ha (rund 2,5-mal die Fläche der Schweiz) angepflanzt. Und in China enthalten alle Hybridreissorten, welche auf 15 Millionen ha angebaut werden, dasselbe Gen, welches für die männliche Sterilität verantwortlich ist. Gar alle modernen Reissorten enthalten weltweit das gleiche Gen für Zwergwuchs. Nicht nur beim Reis werden immer weniger Sorten nachgefragt, sondern auch bei allen anderen Pflanzen. 1949 wurden in China mehr als 10 000 Weizensorten angebaut, doch bereits 1970 sind davon nur noch 1000 Sorten in Gebrauch. Im Jahr 1983 wurden in

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

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

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

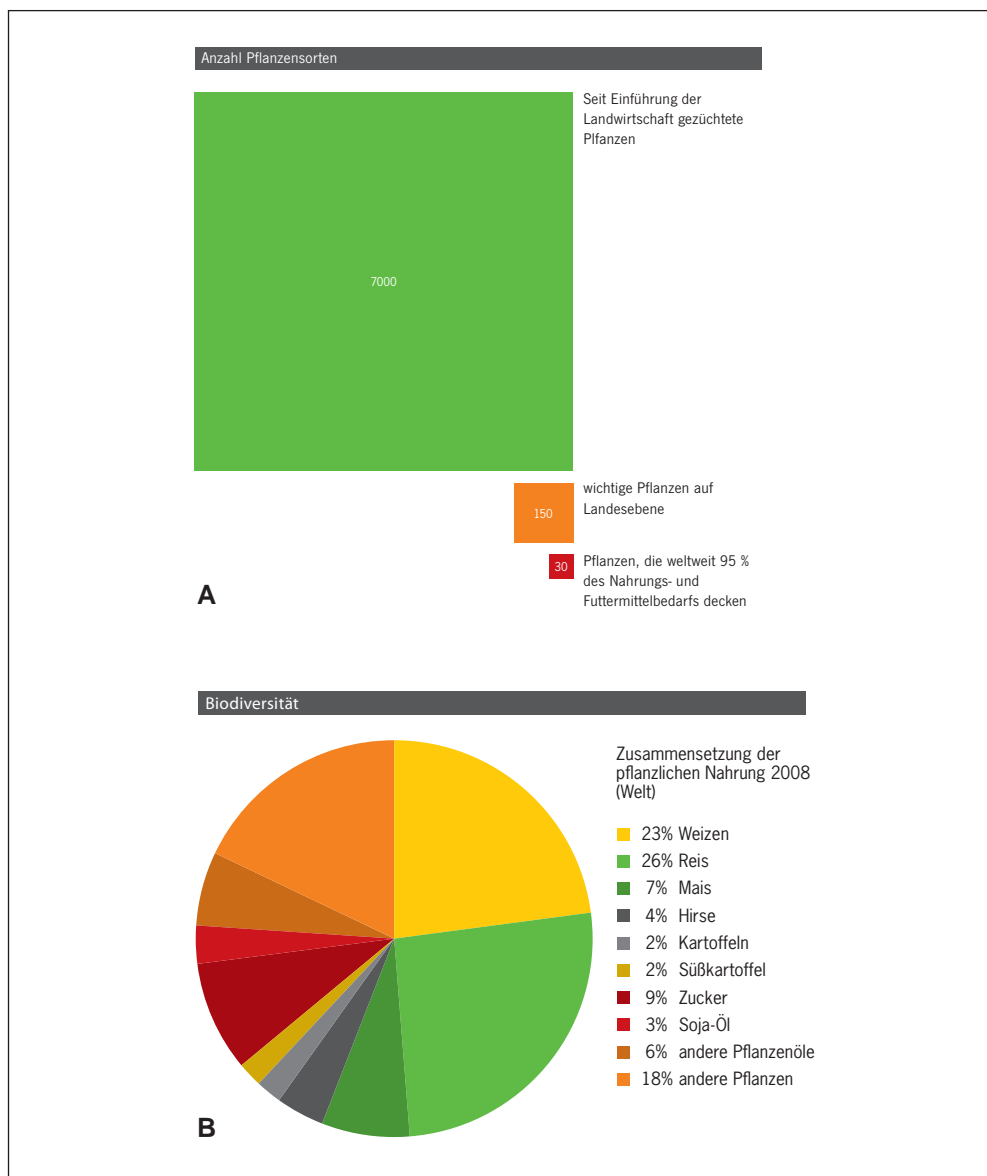


Abb. 9 Die Diversität der landwirtschaftlich genutzten Pflanzen hat seit dem Beginn der Landwirtschaft stark abgenommen. Rund 95 % des weltweiten Kalorienbedarfs wird von gerade 30 verschiedenen Kulturpflanzen gedeckt (A). Allein Weizen, Reis und Mais sind für die Deckung von fast 60 % der menschlichen Kalorienbedarfs verantwortlich (B).

Bangladesch 67 % aller Getreidefelder mit einer einzigen Sorte bestellt. Auch in Europa ist die Situation nicht besser. Zum Beispiel werden in Irland nur 6 verschiedene Sorten Weizen genutzt, und in den Niederlanden sind die drei Hauptsorten einer Kulturpflanze jeweils auf 81 bis 99 % der gesamten Anbaufläche zu finden. Berichte aus den Vereinigten Staaten aus

den Jahren 1972 und 1991 zeigen, dass von 8 wichtigen Kulturpflanzen jeweils weniger als 9 verschiedene Sorten auf 50 bis 75 % der Gesamtfläche angebaut werden. Zwischen 1804 und 1904 wuchsen dort 7100 verschiedene Apfelsorten. Rund 86 % dieser Sorten gingen in den letzten 100 Jahren verloren. Der Verlust der Sortenvielfalt ist gar noch höher beim Kohl (95 % der Sorten gingen verloren), beim Futtermais (91 % der Sorten gingen verloren) und bei den Erbsen (91 % der Sorten gingen verloren). Analog werden heute nur noch 19 % aller bekannten Tomatensorten in Zuchtprogrammen oder zur Produktion genutzt (FAO 1996b).

Dem weiteren drohenden Verlust der Diversität versucht man u. a. mit Samenbanken zu begegnen. In riesigen Bunkern, z. B. in Spitzbergen 120 m tief im Felsen, werden Millionen von Samenproben aus aller Welt gelagert. Dort überleben sie nicht nur den Klimawandel, sondern würden sogar einen Atomkrieg unbeschadet überstehen. In der Schweiz wurde bereits vor 100 Jahren eine Saatgut-Bank angelegt. Darin werden alle Sorten gelagert, welche heute nicht mehr angebaut werden. Schon jetzt gibt es konkrete Anwendungen für diese alten Sorten. Zum Beispiel wurden in Gerstensorten, welche während der 1930er und 1940er Jahren eingelagert wurden, Resistenzen gegen den gefürchteten Pilz Ug99 gefunden. Dieser Pilz befällt nicht nur Weizen, sondern auch Gerste. Die robusten alten Sorten aus der Schweiz sollen nun mit den heutigen anfälligen Sorten gekreuzt werden. Vielleicht lassen sich später darin Gene finden, welche unter neuen klimatischen Bedingungen wichtig sein könnten.

8. Grüne Biotechnologie – eine neue Grüne Revolution?

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

Die Züchtung von neuen Sorten wäre viel effizienter, wenn man einfach nachschauen könnte, ob eine Pflanze eine bestimmte Erbeigenschaft bereits enthält, oder wenn man eine einzelne Eigenschaft, wie z. B. ein Resistenzgen gegen den oben erwähnten Schwarzrost, direkt in die Kultursorte einbringen könnte. Die Zucht mit Hilfe von Genmarkern¹⁸, die sogenannte „Marker-assisted selection“ oder „Präzisionszucht“, ist ein erster Schritt in diese Richtung. Dabei werden bestimmte molekulare Markierungen im Pflanzengenom, welche eng mit der gewünschten Eigenschaft verknüpft sind, als Wegweiser genutzt, so dass sich einzelne

¹⁸ Ein Genmarker ist ein kurzer, bekannter Abschnitt auf der DNA, dessen Ort im DNA-Molekül genau bekannt ist. Falls dieser eng mit einer für die Landwirtschaft positiven Eigenschaft verknüpft ist, kann dieser bei der Züchtung von Kulturpflanzen eingesetzt werden.

Chromosomenabschnitte mit wünschenswerten Eigenschaften in den Pflanzen leichter identifizieren lassen. Die voll automatisierte Suche nach solchen Genmarkern ist schneller, präziser und billiger als das Sichten von vielen Pflanzenphänotypen¹⁹. Die dafür nötigen molekularen Marker wurden während der letzten 20 Jahre publiziert. Heute werden in der modernen öffentlichen wie auch kommerziellen Züchtung schätzungsweise 10000 molekulare Marker in verschiedenen Kulturpflanzen angewendet (BERNARDO 2008). Mit Hilfe der Präzisionszucht wurde beispielsweise ein Weizen entwickelt, welcher gegen Ährenfusariose, eine Pilzkrankheit, resistenter wurde, und bei dem eine 27%-ige Reduktion der Anzahl infizierter Körner erreicht werden konnte (ANDERSON et al. 2008). Auch eine Sojasorte, welche vor Nematoden geschützt ist (CONCIBIDO et al. 2004) – und damit auch vor Ertragseinbußen, konnte mit dieser Methode gezüchtet werden. Trotz dieser Erfolge und vieler noch ungenutzter Möglichkeiten wird die Präzisionszucht nicht alle Probleme der modernen Landwirtschaft lösen können. Denn auch mit Präzisionszucht ist es eine große Herausforderung, eine Sorte mit komplexen Eigenschaften zu entwickeln, welche auf der Kontrolle verschiedener Gene beruhen.

In vielen Fällen wäre es einfacher, das Gen einer gewünschten Eigenschaft zu isolieren und mit Hilfe der Gentechnik direkt in die moderne Kultursorte einzupflanzen. Dieser Ansatz wird heute sowohl an Universitäten wie in der Industrie oft verfolgt. Auch die Forschungsgruppe von Beat KELLER, Professor am Institut für Pflanzenwissenschaften der Universität Zürich, verwendet diesen Ansatz, um pilzresistenten Weizen zu entwickeln.²⁰ Dazu hat sie verschiedene Varianten eines Resistenzgenes gegen die Pilzkrankheit Mehltau aus Weizenlandrassen isoliert. Landrassen sind Weizensorten, welche ohne gezielte Züchtung in einem bestimmten Gebiet entstanden sind. Die Erträge von Landrassen sind typischerweise viel tiefer als diejenigen der modernen Weizensorten. Mit Hilfe der Gentechnik können die isolierten Resistenzgene nicht nur einzeln in die Kultursorten eingebracht, sondern auch in verschiedenen Kombinationen, um die Resistenz gegen den Pilz zu verstärken und ein Durchbrechen der Resistenz zu verzögern. Die gentechnisch veränderten Weizenpflanzen werden nun in der Schweiz in einem Feldversuch überprüft. Nach den erfolgreichen Untersuchungen im Labor soll im Feld getestet werden, ob die Pilzresistenz auch unter natürlichen Bedingungen wirkt. Daneben stehen vor allem Untersuchungen zur Biosicherheit und zu den agronomischen Eigenschaften dieser Pflanzen im Vordergrund. In einem ähnlichen Projekt konnte mit dieser Technik ein Pilzresistenzgen aus einer wilden mexikanischen Kartoffelsorte in eine Kultursorte erfolgreich eingeführt werden (SONG et al. 2003). Dadurch wurde diese resistent gegen verschiedene Stämme von *Phytophthora infestans*, dem Pilz, welcher um 1840 die große Hungersnot in Irland ausgelöst hatte und die Bauern in Europa noch immer plagt.

Mit Hilfe der Gentechnik ist es heute möglich, Gene von Wildpflanzen direkt in moderne Kultursorten einzufügen. Die langwierigen Rückkreuzungen zum Entfernen aller „wild“ Eigenschaften entfallen. Die Gentechnik kann aber noch weiter gehen. Da die Sprache – oder der Code – der Gene universal ist, können auch Gene aus ganz anderen Arten in landwirtschaftlich genutzte Pflanzen eingebracht werden. Dies gelang erstmals vor bereits fast 20 Jahren. Damals wurden die ersten gentechnisch veränderten Pflanzen im Labor entwickelt. Diese Pflanzen erhielten neue Eigenschaften, welche sie vor Schadinsekten, vor Unkraut

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

20 <http://www.konsortiumweizen.ch>.

oder Pflanzenkrankheiten schützen. Sogenannter BT-Mais und BT-Baumwolle produzieren dank eines zusätzlichen bakteriellen Gens ein eigenes Insektizid, welches sie vor Schädlingen schützt. Sie sind deshalb auf wesentlich weniger Insektizid von außen angewiesen. Herbizid-resistente Pflanzen wie Soja, Baumwolle oder Raps können auch auf ungepflügten Feldern angebaut werden, da sie gegen ein Totalherbizid resistent sind. Dieses Herbizid kann – im Gegensatz zur herkömmlichen Methode – ausgebracht werden, wenn die Pflanzen schon etwas gewachsen sind. Da so der Boden nie offen, also nie ohne Bepflanzung liegt, kann die Erosion dank dieser Pflanzen stark reduziert werden.

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

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

9. Akzeptanz als Herausforderung

Trotz der raschen Verbreitung in den Vereinigten Staaten wurden gentechnisch veränderte Pflanzen nicht überall mit Begeisterung aufgenommen. Verschiedene europäische Umweltgruppen haben die Sicherheit dieser Pflanzen lautstark in Frage gestellt und damit eine große internationale Debatte ausgelöst. Sie vermuten, dass gentechnisch veränderte Pflanzen einen negativen Effekt auf die menschliche Gesundheit und auf die Umwelt haben könnten. Auskreuzungen auf wilde Verwandte oder nicht erwartete Effekte auf Nützlinge seien möglich. Forschende haben diese möglichen Risiken sorgfältig studiert und untersucht. Jede gentechnisch veränderte Pflanze wurde genauer auf mögliche Risiken für Mensch und Umwelt untersucht als jede herkömmliche Pflanze. Daher gibt es bis heute keinen einzigen Fall

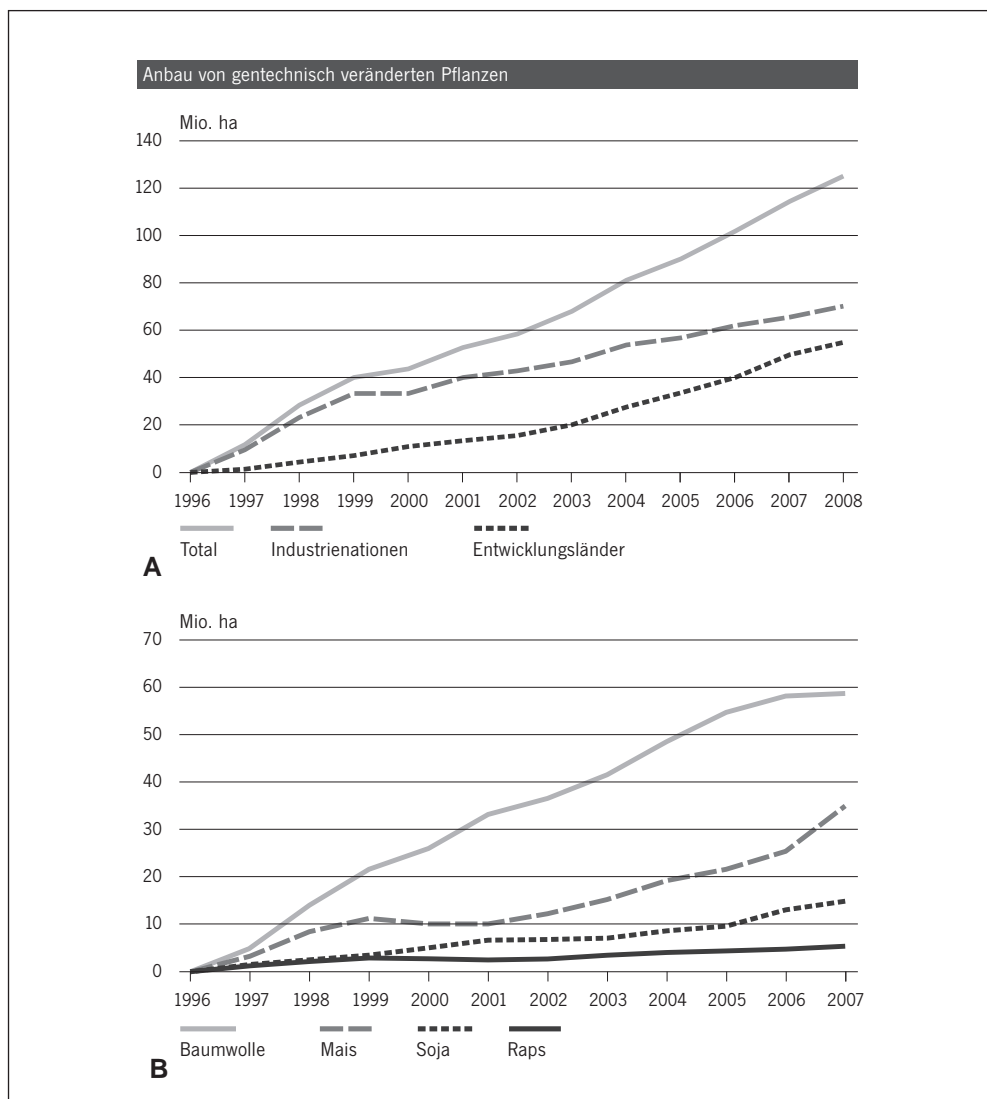


Abb. 10 Die Produktion von gentechnisch veränderten Pflanzen hat weltweit in den Industrie- und Entwicklungsländern rasch zugenommen (A). Heute werden Pflanzen (B), welche mit Hilfe der Gentechnik vor Insekten geschützt sind oder gegen ein Herbizid resistent sind, von 12 Millionen Bauern verwendet. (Quelle: Clive James, <http://www.isaaa.org>)

einer menschlichen oder tierischen Erkrankung, welche mit dem Konsum einer gentechnisch veränderten Pflanze in ursächliche Verbindung gebracht werden könnte. Auch ist bis heute kein einziger Fall belegt, der eine Beeinträchtigung der Umwelt zur Folge gehabt hätte und der spezifisch auf landwirtschaftliche Anwendung von gentechnisch veränderten Pflanzen zurückzuführen wäre. Trotz dieser Fakten ist ein großer Teil der Bevölkerung in Europa gegenüber gentechnisch veränderten Pflanzen immer noch sehr kritisch eingestellt. Wohl auch deshalb werden Gesuche für Feldversuche in Europa eher restriktiv gehandhabt, verzögert

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

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

Mit dem Anbau der gentechnisch veränderten Pflanzen wurde nicht nur wertvolles Land gespart. Mehr Ertrag auf weniger Fläche bedeutet unter anderem auch weniger Fahrten mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen und damit eine erhebliche Reduktion von Treibhausgasemissionen. Allein im Jahr 2006 wurde dank dem Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen so viel Treibhausgas eingespart, wie wenn 6,6 Millionen weniger Autos auf unseren Straßen gefahren wären (FAO 2008).

Wir werden in Zukunft mehr Nahrung für mehr Menschen auf einem endlichen Stück Erde nachhaltig produzieren müssen. Deshalb wäre es unverantwortlich, wenn neue landwirtschaftliche Konzepte und die modernen gentechnisch veränderten Sorten aufgegeben würden. Der neueste Bericht der FAO zeigt, dass im Jahr 2007 immer noch 923 Millionen Menschen hungerten. Das sind über 80 Millionen Menschen mehr als in den Jahren 1990 bis 1992 (FAO 2008). Damit die vielen Millionen hungernder Menschen heute und in Zukunft ernährt werden können, müssen alle Möglichkeiten der modernen Landwirtschaft ausgeschöpft werden. Nur so lässt sich unter den in Zukunft erschwerten Bedingungen genügend Nahrung produzieren.

10. Ernährungssicherheit – eine wissenschaftliche Herausforderung

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

Die moderne Landwirtschaft braucht wegen der drohenden Nahrungsknappheit und zum Schutz der Umwelt eine neue Grüne Revolution. Bereits im 18. Jahrhundert sagte Thomas

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

Literatur

- ANDERSON, J. A., CHAO, S., and LIU, S.: Molecular breeding using a major QTL for Fusarium head blight resistance in wheat. *Crop Science* 47, 112–119 (2008)
- BERNARDO, R.: Molecular markers and selection for complex traits in plants: learning from the last 20 years. *Crop Science* 48, 1649–1664 (2008)
- Central Intelligence Agency: The 2008 World Factbook. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>
- CLINE, W. R.: Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Washington (DC): Center for Global Development and Peterson Institute f. International Economics 2007
- CONCIBIDO, V. C., DIERS, B. W., and ARELLI, P. R.: A decade of QTL mapping for cyst nematode resistance in soybean. *Crop Science* 44, 1121–1131 (2004)
- CURE, J. D., and ACOCK, B.: Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agric. For. Meteorol.* 38, 127–145 (1986)
- DALE, B.: Biofuels: thinking clearly about the issues. *J. Agric. Food Chem.* 56, 3885–3891 (2008)
- FAO: Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. <http://www.fao.org/docrep/007/y5609e/y5609e02.htm>. Rome: FAO 1996b
- FAO: The Sixth World Food Survey. <http://www.fao.org/ES/ESS/wfs.asp>. Rome: FAO 1996a
- FAO: World Agriculture: towards 2015/2030. An FAO Perspective. <http://www.fao.org/docrep/005/Y4252E/y4252e00.htm>. FAO 2003
- FAO: The State of Food Insecurity in the World. <http://www.fao.org/docrep/011/i0291e/i0291e00.htm>. Rome: FAO 2008
- FUHRER, J.: Agroecosystem responses to combination of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 1–20 (2003)
- GHASSEMI, F., JAKEMAN, A. J., and NIX, H. A.: Salinisation of Land and Water Resources. Human Causes, Extent, Management & Case Studies. CAB International 1995
- HEDDEN, P.: The genes of the Green Revolution, *Trends in Genetics* 19, 5–9 (2003)
- HEINRICHS, E. A.: Management of Rice Insect Pests. <http://ipmworld.umn.edu/chapters/heinrich.htm> (1998)
- HILLMAN, G. C., and DAVIES, M. S.: Domestication rate in wild wheats and barley under primitive cultivation. In: ANDERSON, P. C. (Ed.): *Prehistory of Agriculture, New Experimental and Ethnographic Approaches*; pp. 70–102. University of California 1999
- HUANG, J., PRAY, C., and ROZELLE, S.: Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418, 678–684 (2002)
- KUNDZEWICZ, Z. W., MATA, L. J., ARNELL, N. W., DÖLL, P., KABAT, P., JIMÉNEZ, B., MILLER, K. A., OKI, T., SEN, Z., and SHIKLOMANOV, I. A.: Freshwater resources and their management. In: PARRY, M. L., CANZIANI, O. F., PALUTIKOF, J. P., VAN DER LINDEN, P. J., and HANSON, C. E. (Eds.): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; pp. 173–210. Cambridge, UK: Cambridge University Press 2007
- LOBELL, D. B., BURKE, M. B., TEBALDI, C., MASTRANDREA, M. D., FALCON, W. P., and NAYLOR, R. L.: Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319, 607–610 (2008)
- POSTEL, S.: *Pillar of Sand—Can the Irrigation Miracle Last?* New York: W. W. Norton Publisher 1999
- SCHERR, S. J., and SATYA, Y.: *Land Degradation in the Developing World: Implications for Food, Agriculture, and the Environment to 2020. International Food Policy Research Institute Discussion Paper 14.* Washington (DC) 1996

- SMITH, B. D.: The Emergence of Agriculture. Scientific American Library 1995
- SONG, J., BRADEEN, J. M., NAESS, S. K., RAASCH, J. A., WIELGUS, S. M., HABERLACH, G. T., LIU, J., KUANG, H., AUSTIN-PHILLIPS, S., BUELL, C. R., HELGESON, J. P., and JIANG, J.: Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broadspectrum resistance to potato late blight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100, 9128–9133 (2003)
- UN (United Nations): World Populations Prospects – The 2006 revision. http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/WPP2006_Highlights_rev.pdf (2007)
- WOOD, S., SEBASTIEN, K., and SCHERR, S. J.: Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystem. <http://www.ifpri.org/pubs/books/page/agroeco.pdf>. International Food Policy Research Institute 2000
- World Bank*: Agriculture for Development. World Development Report 2008. World Bank October 2007

Prof. Dr. Wilhelm GRUISSEM
Dr. Petra BÄTTIG-FREY
Departement Biologie
Pflanzenbiotechnologie
ETH Zürich
Universitätstrasse 2
8092 Zürich
Schweiz
Tel.: +41 44 6320857
Fax: +41 44 6321079
E-Mail: wgruissem@ethz.ch

Mangel- und Fehlernährung

Michael-Bernhardt KRAWINKEL (Gießen)

Mit 2 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Mangel- und Fehlernährung, im Extremfall Hunger, sind Folge nicht nur der ungenügenden Verfügbarkeit an Nahrungsmitteln, sondern auch Folge von Krankheit und Mangel an Fürsorge. Neben Katastrophen, die Bevölkerungen über Nacht in Elend stürzen, gibt es saisonalen Mangel an Nahrung und extrem ungleichen Zugang zu Nahrung bei Menschen, die gar nicht weit voneinander entfernt sein müssen. Mangel ist nicht gleich Mangel: neben die globale Mangelernährung, d. h. den Mangel an Nährstoffen und Nahrungsenergie, tritt der ‚hidden hunger‘, der Mangel an Mikronährstoffen, wie Eisen, Vitamin A und Jod. Mangelernährung kann schon vor der Geburt einsetzen: Der intergenerationelle Zyklus führt als Folge von Krankheit und Mangelernährung der Schwangeren zu niedrigem Geburtsgewicht, selbst wenn die Schwangerschaftsdauer normal ist. Die betroffenen Kinder haben ein hohes Sterberisiko aufgrund von Erkrankungen, die in der Verbindung mit Mangelernährung schwerer und lebensbedrohlich verlaufen. Neben die Mangelernährung tritt in zahlreichen Ländern heute kalorische Überernährung mit der Folge von Adipositas und Adipositas-assoziierten Krankheiten auf. Damit stehen die Länder vor der doppelten Herausforderung, gleichzeitig den Mangel zu bekämpfen und der Fehlernährung vorzubeugen. Hungerbekämpfung – jenseits der humanitären Hilfe – muss daher heute immer mit dem Ziel einer gesundheitsförderlichen Ernährung verknüpft werden. Gemüse kann sowohl in der primären Prävention als auch in der Verbesserung der Stoffwechseleinstellung bei Patienten mit Diabetes mellitus eine wichtige Rolle spielen.

Abstract

Undernutrition and malnutrition – even hunger – are not only resulting from insufficient availability of food but can be caused by diseases and lack of care. Besides catastrophies causing lack of food there are seasonal deficits in food supply and extreme differences in the access to food – even in nearby areas. There are different types of deficiency: global undernutrition, i.e. a lack of all nutrients and food energy. ‚Hidden hunger‘ is caused by a deficit of micronutrients, e.g. lack of iron, vitamin A and iodine. Malnutrition can be initiated even before birth: the intergenerational cycle starts with diseases and undernourishment of the pregnant women programming the fetal metabolism to a maximum utilization of available nutrients. Intrauterine undernutrition causes low birth weight. The LBW-children have a high mortality rate due to other diseases which take a more severe and life-threatening course in combination with malnutrition. In an increasing number of countries caloric overnutrition occurs beside undernutrition today. This trend is followed by a growing prevalence of obesity and obesity-related diseases. The countries are facing of a double challenge to overcome undernutrition and to prevent unhealthy dietary practices. Fighting hunger – beyond humanitarian aid – needs to be accompanied by the goal of health promoting nutrition. Vegetables can play an important role in providing micronutrients, adding to the primary prevention of diet-related diseases, and even in the management of diabetes mellitus.

1. Ernährungssicherheit

Mangelernährung im 21. Jahrhundert hat vielfältige Ursachen. Für ganze Bevölkerungen führen Naturkatastrophen, die durch den Klimawandel häufiger und gravierender werden, sowie

Kriege und Bürgerkriege zu Nahrungsunsicherheit. Für einzelne Menschen verschlechtert sich die Ernährungslage durch soziale Diskriminierung sowie Vernachlässigung und Miss-handlung.

UNICEF hat Anfang der 1990er Jahre ein Konzept vorgestellt, das die komplexe Entstehung von Mangelernährung verständlich macht. Daraus kann ein Konzept der Ernährungssi-cherheit abgeleitet werden, in dem die im ursprünglichen Modell negativ sich auswirkenden Faktoren durch die positiv formulierten Voraussetzungen für Ernährungssicherheit benannt und zugeordnet werden (Abb. 1).

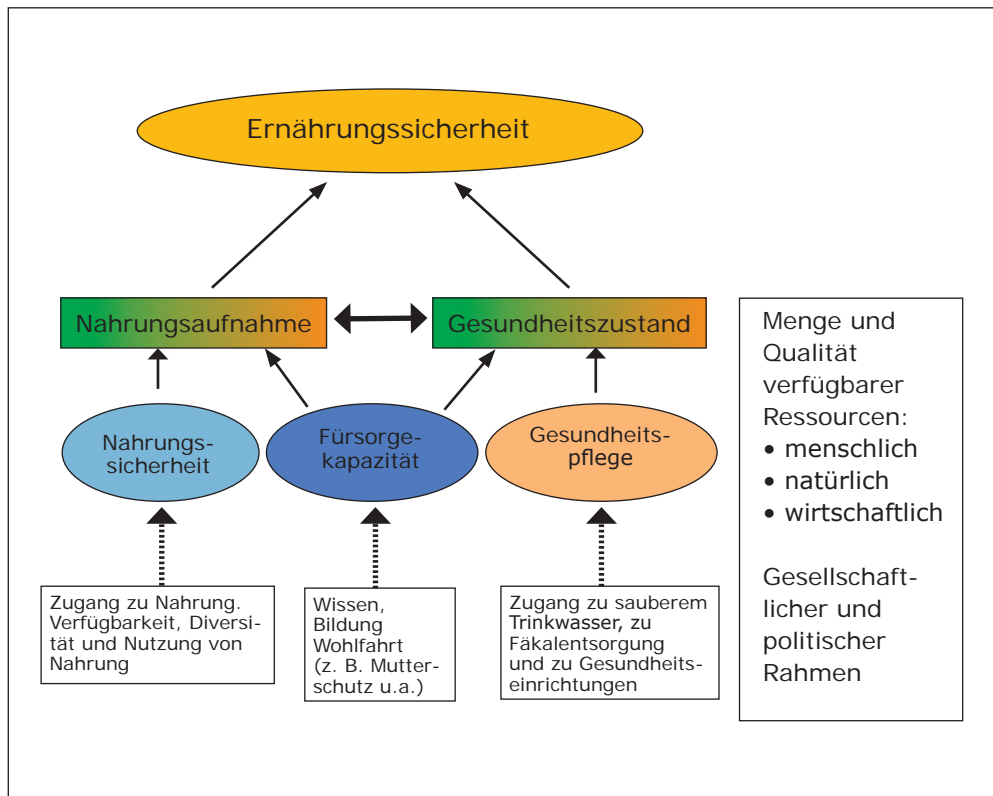


Abb. 1 Konzept zum Verständnis von Ernährungssicherheit und ihrer Voraussetzungen (nach UNICEF)

Nach diesem Konzept sind die drei grundlegenden Voraussetzungen für Ernährungssicherheit die Nahrungssicherheit, die Fürsorgekapazität und die Gesundheit. Unter Gesundheit wird in diesem Modell alles verstanden, was der Gesundheit förderlich ist, d. h. sowohl ein gesundes Milieu mit Zugang zu sauberem Trinkwasser, Toiletten oder Latrinen und geordneter Müll-entsorgung als auch der Zugang zu Gesundheitsdienstleistungen in ausreichender Qualität. Nahrungssicherheit steht für die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln in ausreichender Menge und Vielfalt; darunter wird auch die Nahrungsmittelsicherheit subsumiert als Ausdruck für die Freiheit von Kontamination mit chemischen, mikrobiellen oder physikalischen Gefahr-

stoffen, d. h. Schwermetallen und Pestiziden, Bakterien sowie Pilzen und deren Toxinen, aber auch radioaktiven Isotopen. Von Bedeutung ist die Tatsache, dass die Steigerung landwirtschaftlicher Erträge nicht zwangsläufig zu weniger Hunger führt: Zum einen fließt global nur ein Anteil von 47 % der Weltgetreideernte unmittelbar in den Nahrungssektor, zum anderen verderben bis zu 25 % der globalen Reisernte aufgrund von ungünstigen Lager- und Transportbedingungen (zu feucht, ungesichert gegen Fraß-Insekten u. a.) (FAO 1998). Indirekt ist auch die Nahrungssicherheit eine Variable der Gesundheit:

- wo Arbeitskräfte zum Beispiel durch AIDS nicht mehr landwirtschaftlich tätig sein können, wird auf die am wenigsten arbeitsintensiven Formen der Landwirtschaft zurückgegangen, und
- wo Geld im Haushalt für medizinische Versorgung, Medikamente und für Beerdigungen gebraucht wird, sinkt der Aufwand für Saatgut, Düngemittel und Bewässerung (BEIER 1997).

Schließlich kommt der Fürsorge eine oft unterschätzte Bedeutung zu: Kinder, Kranke und Alte können sich in der Regel nicht selbst versorgen, sondern bedürfen der Unterstützung und Hilfe bei der Nahrungszubereitung und -aufnahme. Die Fürsorgekapazität – und Frauen sind die wesentlichen Träger der Fürsorge – hängt nicht nur vom Einkommensniveau, sondern auch von der formalen und informalen Bildung der Frauen ab. Der Streit, ob die Frauen mit höherer Bildung nicht automatisch über höhere Einkommen verfügen, oder ob das Familieneinkommen eine unabhängige Determinante der Fürsorgekapazität ist, ist theoretisch. Modernisierung kann zum einen die Arbeitsproduktivität der Frauen steigern und damit gleichzeitig die Fürsorgekapazität erhöhen; Modernisierung kann aber auch damit einhergehen, dass Arbeitsmöglichkeiten außerhalb des Haushalts entstehen, die ein höheres Familieneinkommen versprechen und Frauen veranlassen, die Tätigkeiten im Haushalt zu vermindern. Damit sinkt die Fürsorgekapazität auf Haushaltsebene. Auch Krankheit der Trägerinnen der Fürsorge gefährdet die Ernährungssicherheit der abhängigen Kinder, Kranken und Alten im Haushalt. An den Folgen der HIV-Pandemie im südlichen Afrika wird deutlich, dass sich die Kinderbetreuung bis hin zur Verwaisung verschlechtert.

2. Mangelernährung

Früher sprach man von ‚Protein-Energie-Mangelernährung‘, weil die Bedeutung von Eiweiß und Nahrungsenergie für die Ausprägung der Krankheitsbilder Marasmus und Kwashiorkor besonders hoch eingeschätzt wurde. Nach den grundlegenden Arbeiten von Michael GOLDEN sind die beiden Ausprägungen der schweren Mangelernährung durch unterschiedliche Schweregrade von oxidativem Stress gekennzeichnet (GOLDEN 2002). Ein starkes Überwiegen freier Sauerstoff- oder Hydroxylradikale führt über die Peroxidation von Membranlipiden zur Extravasation von Flüssigkeit und damit zu den für Kwashiorkor typischen Merkmalen, Ödeme und Aszites. Die Sterblichkeit an diesem ernährungsbedingten Krankheitszustand war sehr hoch, und erst die Erkenntnisse der Gruppe um GOLDEN, JACKSON und anderen führte zu einem Behandlungsregime, das u. a. der latenten Herzmuskelinsuffizienz Rechnung trug. Erst nach einer stark medizinisch geprägten ersten Stabilisierungsphase kann die Nahrung der schwerstmangelernährten Kinder aufgebaut und gesteigert werden (MANARY und SANDIGE 2008).

Für mehr als 20 Millionen Kinder beginnt das Leben bereits mit niedrigem Geburtsgewicht, davon 7,8 Millionen in Indien, 1,1 Millionen in China, 5,3 Millionen im restlichen Asien sowie 4,3 Millionen in Afrika. Der Anteil der Neugeborenen mit niedrigem Geburtsgewicht an allen Neugeborenen liegt mit 18 % in Asien am höchsten, gefolgt von Afrika mit 14 % sowie Lateinamerika und die Karibik mit 10 % nach Schätzung von UNICEF und WHO.

In 6 afrikanischen und 5 asiatischen Ländern sind mehr als 14,9 % der Kinder im Vorschulalter akut mangelernährt. In weiteren 10 afrikanischen sowie 8 asiatischen Ländern sind mehr als 10 % der Kinder von akuter Mangelernährung betroffen.

Die saisonale Mangelernährung ist ein besonderes Problem, das dazu führt, dass im Jahresverlauf zwischen 0 und 60 % der Kinder zeitweise unterernährt gefunden werden. Hier ist darauf zu verweisen, dass zum einen nicht nur die Kinder von dieser saisonalen Mangelernährung betroffen sind, zum anderen zeigt es den Mangel an geeigneten öffentlichen und privaten Lagerkapazitäten an, um die Ernteerträge der vorausgegangenen Produktionssaison bis zur nächsten Ernte nutzen zu können.

Hinsichtlich der Entwicklung der Rate mangelernährter Kinder seit 1990 können deutliche Fortschritte in Asien und Lateinamerika verzeichnet werden. Dagegen ist in Afrika ein leichter Anstieg festzustellen (DE ONIS et al. 2000). 30 % der Kinder unter 5 Jahren sterben in der Folge von Unterernährung. Neben Nahrungsmangel wirken sich Kinderkrankheiten, wie Keuchhusten, negativ aus, weil sie die Fähigkeit, zu essen und Nährstoffe auszunehmen, beeinträchtigen. Der Weltgesundheitsreport 2008 zeigt, dass die Kindersterblichkeit wesentlich durch Mangelernährung mit verursacht wird (siehe Tab. 1).

Tab. 1 Globale Todesursachen von Kindern unter 5 Jahren (nach WHO 2008)

Krankheit	Anteil an der Kindersterblichkeit (%)	davon mit Mangelernährung (%)
Atemwegsinfektionen	20	12,0
Diarrhoen	12	7,2
Malaria	8	4,8
Masern	5	3,0
HIV/AIDS	4	2,4
Perinatale Störungen	22	13,2
Andere	29	17,4
Zusammen	100	60,0

Neben globaler Mangelernährung, d. h. dem Mangel an allen Nährstoffen und Energie, ist die Bedeutung des ‚hidden hunger‘ nicht zu unterschätzen; ‚hidden hunger‘ steht für den Mangel an einzelnen Nährstoffen, z. B. Vitamin A, Eisen und Jod. Eine der häufigsten Ernährungsmangelzustände ist der Jodmangel, der über 740 Millionen Menschen weltweit betrifft. Zu diesen Betroffenen gehören nicht nur Menschen in Entwicklungsländern, sondern eine Studie in Gießen in Deutschland förderte 2006 zutage, dass 89 von 256 untersuchten Schülern weniger Jod mit dem Harn ausscheiden, als dies bei guter Jodversorgung zu erwarten wäre (SCHLEGEL und KRAWINKEL 2009).

Auch Vitamin-A-Mangel lässt immer noch über 2,5 Millionen Kinder unter 5 Jahren jährlich erblinden. Eisenmangel hat fast ein Viertel der Erdbevölkerung, insbesondere Frauen und

Kinder. Betrachtet man die Schwangeren, so findet sich eine Anämie bei über 50 % in Afrika, Asien und Ozeanien sowie knapp 40 % in Lateinamerika und der Karibik. Neben der mangelhaften Eisenaufnahme ist allerdings zu beachten, dass 740 Millionen Menschen weltweit mit Hakenwürmern behaftet sind; dieser Darmparasit nimmt Eisen aus der Darmwand auf (BUDHATHOKI 2008).

Bei der Lösung der Problematik der Mikronährstoffmangelzustände gibt es verschiedene Optionen:

- die sinnvolle Kombination von pflanzlichen Nahrungsmitteln als Quelle für Vitamine und Mineralstoffe;
- die Einführung tierischer Nahrungsmittel, z. B. Fisch, Fleisch, Milch- und Milchprodukte, Geflügel und Eier;
- die Anreicherung von Nahrungsmitteln mit essentiellen Nährstoffen, z. B. Jodsalz;
- die Anwendung von Streuseln (*sprinkles*), mit denen im Haushalt fertigen Mahlzeiten Vitamine und Spurenelemente zugesetzt werden;
- die Züchtung von Nutzpflanzen, die einen hohen Gehalt an Betacarotin, einzelnen Vitaminen oder Spurenelementen haben.

Die Auswahl der geeigneten Intervention hängt von geographischen, historischen, sozioökonomischen und hygienischen sowie landwirtschaftlichen Bedingungen ab und kann nicht allgemein getroffen werden. Erschwert wird die Bewältigung der Mikronährstoffmangelzustände dadurch, dass ca. 50 % der Betroffenen nicht nur Mangel an einem, sondern an mehreren Nährstoffen zeigen.

Eine neue Herausforderung stellt die weltweite Verbreitung von Übergewicht und Adipositas dar. Eine Studie hat gezeigt, dass in Europa und Nordamerika ca. 20 %, in Ost- und Nordasien ca. 15 %, in Nordafrika und Südasien ca. 10 % und in Subsahara 5 % der Nahrungsenergie aus tierischen Nahrungsmitteln aufgenommen werden (ALLEN 2006).

Allein in China konnte gezeigt werden, dass der Anteil von Menschen, die weniger als 10 % der Nahrungsenergie aus Fett aufnehmen von 1987 bis 1997 in allen Einkommensgruppen stetig gesunken ist. Gleichzeitig stieg der Anteil derjenigen, die 30 % der Nahrungsenergie und mehr aus Fett aufnehmen und erreichte selbst bei denjenigen mit niedrigen Einkommen 1997 schon 20 % (WANG et al. 2008).

Selbst in Ländern, in denen erwartet wird, dass viele Menschen mit Untergewicht vorhanden sind, fanden sich – z. B. in Guinea-Bissau im Oktober 2006 – bei einer Untersuchung für das Welternährungsprogramm 63,6 % übergewichtig und 18,2 % mit Adipositas (WFP unveröffentlicht). Neben der Ernährung ist zunehmende Bewegungsarmut ein ätiologischer Faktor in der Entstehung von Übergewicht und Adipositas. Als Folge kalorischer Überernährung ist die globale Diabetes-Prävalenz bereits im Jahr 2000 beträchtlich, und für das Jahr 2030 werden Steigerungen um 31 bis 64 % erwartet. Dabei ist die Diabetes-assoziierte Mortalität in der Altersgruppe 35 bis 64 Jahre in Afrika 3- bis 4-mal so hoch wie in Europa und Nordamerika (Tab. 2; WILD et al. 2004).

Während die Anzahl der Todesopfer der AIDS-Epidemie zumindest anlässlich ihrer Veröffentlichung durch UNAIDS große globale Aufmerksamkeit findet, wird kaum wahrgenommen, dass z. B. im Jahr 2003 genauso viele Millionen Menschen an AIDS wie an den Folgen von Diabetes mellitus gestorben sind, nämlich je 30 Millionen (IDF 2006, UNAIDS 2004).

Der Zusammenhang zwischen Übergewicht/Adipositas und Diabetes mellitus Typ II in Nordtansania wurde bei einer Untersuchung der Patienten der Diabetes-Ambulanz des

Tab. 2 Globale Prävalenz von Diabetes mellitus und assoziierte Mortalität im regionalen Vergleich

	Anzahl der Menschen mit Diabetes mellitus im Jahr 2000	Anzahl der Todesfälle von Diabetikern im Jahr 2000	Todesfälle in Prozent der Diabetiker
Afrika	7 000 000	204 000	2,9
Amerika	33 000 000	231 000	0,7
Europa	33 300 000	261 000	0,8
Naher Osten	15 200 000	89 000	0,6
Asien/Australien	82 700 000	977 000	1,2

Kilimanjaro Christian Medical Centre deutlich: 70% der 70 untersuchten Patienten waren übergewichtig und adipös, nur 37% im Normalbereich und 3% untergewichtig. Die Zahlen verdeutlichen, dass zukünftig mehr für die Prävention der Adipositas getan werden muss, um Folgeerkrankungen zu vermeiden, die nur mit großem Aufwand behandelt werden können. Dabei sind Konflikte zwischen den wirtschaftlichen Interessen der Produzenten von Nahrungs- und Genussmitteln auf der einen Seite und dem Engagement für einen gesundheitsförderlichen Lebensmittelkonsum zu erwarten, obwohl der globale Bedarf an Obst und Gemüse weit höher liegt als das derzeitige Angebot (Abb. 2). Da Regierungshandeln in nicht oder gering industrialisierten Staaten finanziell stark von der Besteuerung landwirtschaftlicher Produktion abhängig ist, ist es schwierig, hier eine höhere Priorität für gesunde Ernährung durchzusetzen. Qualitativ können aber Verbesserungen erreicht werden, wenn es gelingt, den Konsum von Obst und Gemüse stark anzuheben.

Fatal für Diabetiker in ressourcenarmen Ländern ist oft, dass sie keinen Zugang zu adäquater Behandlung und Betreuung haben. Eine weitere Untersuchung ergab, dass nur 12% der

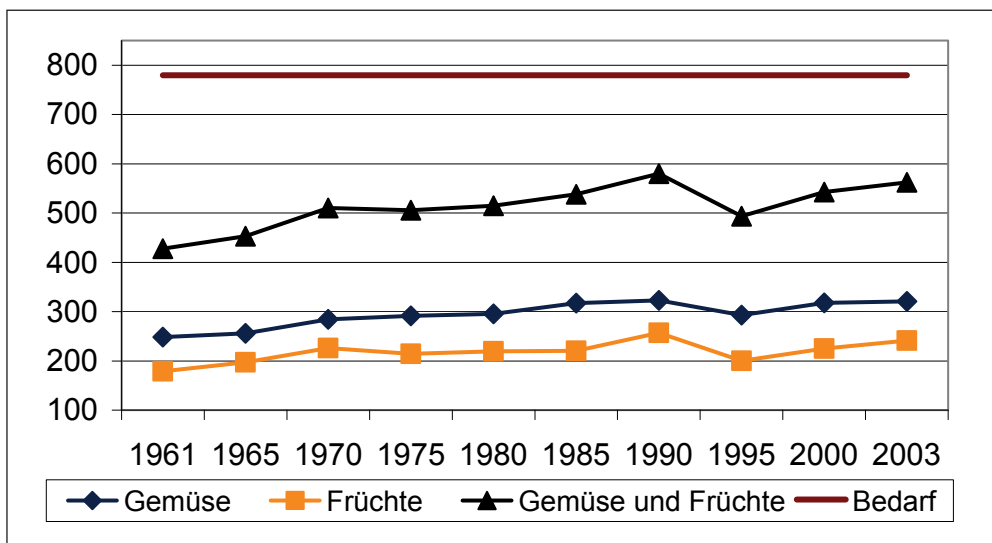


Abb. 2 Globales Angebot und globaler Bedarf (780 g) an Gemüse und Obst in Gramm pro Person und Tag (nach FAO 2009)

Patienten eine gute Stoffwechseleinstellung mit einem Wert des glykosylierten Hämoglobins unter 7 % aufwiesen, während der HbA_{1c}-Wert bei 33 % der Patienten zwischen 7 und 8,9 % als mäßig erhöht und bei 55 % mit über 9 % als schlecht einzustufen war. Diese insgesamt unbefriedigende Stoffwechseleinstellung bleibt nicht folgenlos: Bis zu 38,5 % der Patienten entwickeln eine diabetische Retinopathie, die zur Erblindung führt. Bis zu 29,2 % weisen eine Mikroalbuminurie als Zeichen der diabetischen Nierenschädigung auf, die als Vorstufe eines terminalen Nierenversagens anzusehen ist, das den Betroffenen das Überleben nur mit Dialyse oder Nierentransplantation ermöglichen würde (KRAWINKEL und PREIS 2009).

Da die meisten der Diabetes-mellitus-Patienten, die unter Armutbedingungen leben, auf mittlere Sicht keinen Zugang zu medikamentöser Therapie und Insulin haben werden, müssen diätetische Interventionen entwickelt werden. Ein Mittel dazu kann die Bittergurke (*Momordica charantia*) sein, die insbesondere in Asien mit vielen Sorten vorkommt und angebaut wird (KRAWINKEL und KEDING 2007). In einem Tierversuch konnte gezeigt werden, dass dbdb-Mäuse, die genetisch bedingt einen Diabetes mellitus Typ II entwickeln, weniger stark an Gewicht zunehmen und niedrigere HbA_{1c}-Werte aufweisen, wenn sie mit einem Bittergurke-Extrakt behandelt werden (KLOMANN et al. 2008). Weitere laufende Untersuchungen beschäftigen sich mit der Aktivität der Tyrosinphosphokinase B im Muskel sowie der Aktivität von PPAR α und γ in der Leber.

3. Fazit

- Mangelernährung durch Mangel an Nährstoffen und Nahrungsenergie ist in vielen Ländern immer noch ein Problem.
- Eine Strategie gegen die Mangelernährung ist weniger auf wissenschaftlicher als auf politischer Ebene zu finden.
- Die Häufigkeit kalorischer Überernährung nimmt weltweit rasch zu. Die Prävention führt direkt zu Konflikten zwischen Steigerung der Produktion und Reduzierung des Konsums energiereicher Lebens- und Genussmittel.
- Der Stellenwert von Vitaminen und bioaktiven Pflanzeninhaltsstoffen für eine gesunde Ernährung kann nicht hoch genug bewertet werden.

Literatur

- ALLEN, L. H.: Causes of nutrition-related public health problems of preschool children: Available diet. *J. Pediat. Gastroenterol. Nutr.* 43/Suppl. III, S8–S12 (2006)
- BEIER, E. G.: The impact of HIV/AIDS on rural households/communities and the need for multisectoral prevention and mitigation strategies to combat the epidemic in rural areas. <http://www.fao.org/docrep/x0259e/x0259e00.HTM> (1997)
- BUDHATHOKI, S., SHAH, D., BHURTYAL, K. K., AMATYA, R., and DUTTA A. K.: Hookworm causing melaena and severe anaemia in early infancy. *Ann. Trop. Paediat.* 28/4, 293–296 (2008)
- DE ONIS, M., and BLÖSSNER, M.: The World Health Organization global database on child growth and malnutrition: methodology and applications. *Int. J. Epidemiol.* 32/4, 518–526 (2003)
- DE ONIS, M., FRONGILLO, E. A., and BLÖSSNER, M.: Is malnutrition declining? – An analysis of changes in levels of child malnutrition since 1980. *Bull. World Health Organ.* 78/10, 1222–1233 (2000)
- FAO: Estimated post-harvest losses of rice in Southeast Asia. <http://www.fao.org/english/newsroom/factfile/IMG/FF9712-e.pdf> (1998)
- FAO: Statistical Yearbook. <http://www.fao.org/economicless/publications-studies/statistical-yearbook/en/> (2009)

- GOLDEN, M. H.: The development of concepts of malnutrition. *J. Nutrition* 132/7, 2117S–2122S (2002)
- IDF* (International Diabetes Federation): *Diabetes Atlas*. 2nd Edition. Brüssel 2003
- KLOMANN, S., MÜLLER, A. S., PALLAUF, J., und KRAWINKEL, M.: Antidiabetische Wirkung von Bittergurke-Extrakten bei dbdb Mäusen. Abstract. Proceedings of the 45th Congress of the German Society of Nutrition (2008)
- KRAWINKEL, M. B., and KEDING, G.: Bitter gourd (*Momordica Charantia*): A dietary approach to hyperglycemia. *Nutrition Rev.* 64/7, 331–337 (2006)
- KRAWINKEL, M. B., und PREIS, C.: Diabetische Retinopathie und Nephropathie bei Patienten in Nord-Tanzania. (Unveröffentlichtes Manuskript, Dissertationsschrift 2009)
- MANARY, M. J., and SANDIGE, H. L.: Management of acute moderate and severe childhood malnutrition. *Brit. Med. J.* 13/337, a2180 (2008)
- SCHLEGEL, A., und KRAWINKEL, M. B.: Jodversorgung Giessener Schulkinder im Jahr 2006. (Unveröffentlichtes Manuskript, Dissertationsschrift 2009)
- UNAIDS* (United Nations Agency against AIDS): AIDS epidemic update. <http://www.unaids.org/en/Knowledge-Centre/HIVData/EpiUpdate/EpiUpdArchive/2007/default.asp> (2008)
- WANG, Z., ZHAI, F., DU, S., and POPKIN, B.: Dynamic shifts in Chinese eating behaviors. *Asia Pacific J. Clin. Nutrition* 17/1, 123–130 (2008)
- WHO*: World Health Report. http://www.who.int/whr/2008/whr08_en.pdf (2008)
- WILD, S., ROGLIC, G., GREEN, A., SICREE, R., and KING, H.: Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care* 27/5, 1047–1053 (2004)

Prof. Dr. med. Michael-Bernhardt KRAWINKEL
Institut für Ernährungswissenschaft
Wilhelmstraße 20
35392 Gießen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 641 9939048
Fax: +49 641 9939039
E-Mail: Michael.Krawinkel@ernaehrung.uni-giessen.de
Homepage des Instituts: www.uni-giessen.de/fbr09/int-nutr

Nahrungsmittel tierischen Ursprungs – Bedarfsgerechtes „Design“ durch optimale Nutzung des genetischen Potentials landwirtschaftlicher Nutztiere

Bertram BRENIG ML (Göttingen)

Mit 2 Abbildungen und 5 Tabellen

Zusammenfassung

Die anhaltende Zunahme der Weltbevölkerung führt zu einer immer drastischeren Verknappung von Nahrungsmitteln. Weltweit leiden, vor allem in den Entwicklungsländern, zurzeit 860 Millionen Menschen an Unterernährung, obwohl global gesehen mit der gegenwärtigen Nahrungsmittelproduktion die Weltbevölkerung noch ernährt werden könnte. Die biologische Wertigkeit tierischer Proteine ist höher als die pflanzlicher, sodass ein Verzicht auf Nahrungsmittel tierischer Herkunft nicht zur Diskussion steht. Da jedoch der Aufwand für den Veredelungsprozess von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft wesentlich höher ist, sind Strategien zur Verbesserung der Effizienz auf verschiedenen produktionstechnischen und biologischen Ebenen, z. B. der Einsatz biotechnologischer Verfahren, erforderlich. So lassen sich im Tier z. B. die Vorgänge der Digestion, Resorption sowie des Meta- und Katabolismus genetisch beeinflussen. Eine Verbesserung der Futtermittelverwertung und der Nährstoffverfügbarkeit sowie die qualitative Veränderung der Nahrungsmittelzusammensetzung und -beschaffenheit werden angestrebt. Krankheitsresistenz und verbesserte Reproduktionsleistung sind weitere Ziele. Eine wesentliche Voraussetzung ist die Sequenzierung und Analyse der Genome der wichtigen Nutztiere. Während diese bei einigen Arten (Rind, Huhn) fast abgeschlossen ist, befindet sie sich bei anderen Arten (Schwein, Schaf, Ziege) noch in der Bearbeitung. Der Nutzen entsprechender Daten für die Nahrungsmittelproduktion zeichnet sich aber bereits ab.

Abstract

The ongoing increase in the world's population is leading to an ever more drastic shortage of food. Currently 860 million people around the world, mainly in developing countries, are suffering from undernourishment even though current food production could still feed everyone in the world. The high nutritional value of animal proteins is higher than that of plants so that doing away with food produced from animals is not an option. However since refining foods made from animals is much more involved, strategies for improving the efficiency at various production and biological levels, for example, using biotechnology processes, are necessary. Processes within the animal, such as digestion, resorption, metabolism and catabolism can be genetically influenced. Scientists are striving to make improvements in food conversion and availability and the qualitative changes in food composition and quality. Disease resistance and improved reproduction are further objectives. One major requirement is the sequencing and analysis of the genomes of important livestock. This is nearly completed in some (cows, chickens) while it is still in progress in others (pigs, sheep, goats). The benefits of such data for food production are already becoming apparent.

1. Einleitung

Die anhaltende Zunahme der Weltbevölkerung um ca. 80 Millionen pro Jahr führt zu einer immer drastischeren Verknappung von Nahrungsmitteln. Von den zurzeit 860 Millionen Menschen, die an Unterernährung leiden, leben 830 Millionen in Entwicklungsländern. Dabei geht die Schere zwischen der Produktion landwirtschaftlicher Güter und dem Nahrungsbedarf im-

mer weiter auseinander, obwohl global gesehen zur Zeit zumindest noch mit der weltweiten Nahrungsmittelproduktion die Weltbevölkerung ernährt werden könnte. Obwohl die Produktion des energetischen Äquivalents von 1 kcal bei der Veredelung über das Tier 7-fach höher als direkt über die Pflanze ist, liegt die biologische Wertigkeit in der Summe bei tierischen höher als bei pflanzlichen Proteinen. Ein Verzicht auf Nahrungsmittel tierischer Herkunft steht auch aus diesem Grund zweifelsfrei nicht zur Diskussion. Daher ist es umso wichtiger, Strategien zu entwickeln und diese auch konsequent umzusetzen, die zur Verbesserung der Effizienz des Veredelungsprozesses führen. Dieses betrifft natürlich verschiedene produktionstechnische und biologische Ebenen, wobei die Möglichkeiten durch den Einsatz biotechnologischer Verfahren heute weit über die der konventionellen Strategien hinausgehen. Prozesse, die sich gegebenenfalls im Tier genetisch beeinflussen lassen, betreffen die Vorgänge der Digestion, Resorption sowie des Meta- und Katabolismus. Als zu erwartende Effekte lassen sich die Verbesserung der Futtermittelverwertung, der Nährstoffverfügbarkeit und die qualitative Veränderung der Nahrungsmittelzusammensetzung und -beschaffenheit nennen. Aber auch die Verbesserung der Krankheitsresistenz und Reproduktionsleistung sind wesentliche Komponenten, die zur Optimierung des Veredelungsprozesses beitragen können. Darüber hinaus müssen außerdem Fragen der Emission, z. B. Treibhausgase bei Wiederkäuern, in die Überlegungen einer umweltschonenden und nachhaltigen Produktion einbezogen werden.

Eine wesentliche Voraussetzung, das genetische Potential unserer landwirtschaftlichen Nutztiere effizient zu nutzen, ist die Entschlüsselung ihrer Genome. Die Genomanalyse und Genomsequenzierung ist bei wenigen Nutztieren (Rind, Huhn) nahezu vollständig oder bereits abgeschlossen. Sie befindet sich aber bei vielen anderen Arten (Schwein, Schaf, Ziege) noch in der Bearbeitung, und es wird auch voraussichtlich noch einige Jahre dauern, bis eine ausreichende Abdeckung dieser Genome erreicht ist. Aber bereits jetzt zeichnet sich ab, wie wertvoll diese Daten sind. Die Verfügbarkeit der vollständigen DNA-Sequenz einer Art ermöglicht nicht nur, gezielt nach merkmalsbeeinflussenden Varianten zu suchen, sondern auch sehr viel effizienter, als dies zuvor möglich war, krankheitsverursachende Merkmale zu identifizieren und gezielt aus einer Population zu eliminieren. Diese Kenntnisse, in Verbindung mit der Verfügbarkeit sehr diverser Rassen, ermöglichen die Auffindung wichtiger natürlicher genetischer Potentiale und deren sinnvolle Nutzung für eine effiziente zukünftige Nahrungsmittelproduktion tierischer Herkunft.

2. Entwicklung der weltweiten Tierproduktion

Für eine detaillierte Analyse der weltweiten Tierproduktionsdaten wird auf die statistischen Erhebungen der FAO verwiesen (www.fao.org). Im Folgenden soll hier nur beispielhaft die Situation für die Schweineproduktion verdeutlicht werden. Wie aus den Daten der FAO zu ersehen ist, liegt China bei der Anzahl der Großvieheinheiten beim Schwein weit vor allen anderen Nationen (Abb. 1). Interessant ist dabei, dass die größten Wachstumsraten in der Schweineproduktion jedoch in Brunei, gefolgt von Zimbabwe, Israel, der Mongolei und Kasachstan zu verzeichnen sind (Tab. 1).

Betrachtet man den weltweiten Selbstversorgungsgrad mit Schweinefleisch im Jahr 2004, so lässt sich hier für insgesamt 174 Nationen ein Betrag von 91,43 % ermitteln. Zu berücksichtigen ist hier natürlich, dass in einigen Nationen kein Schweinefleisch verzehrt wird und dort daher keine Schweineproduktion stattfindet.

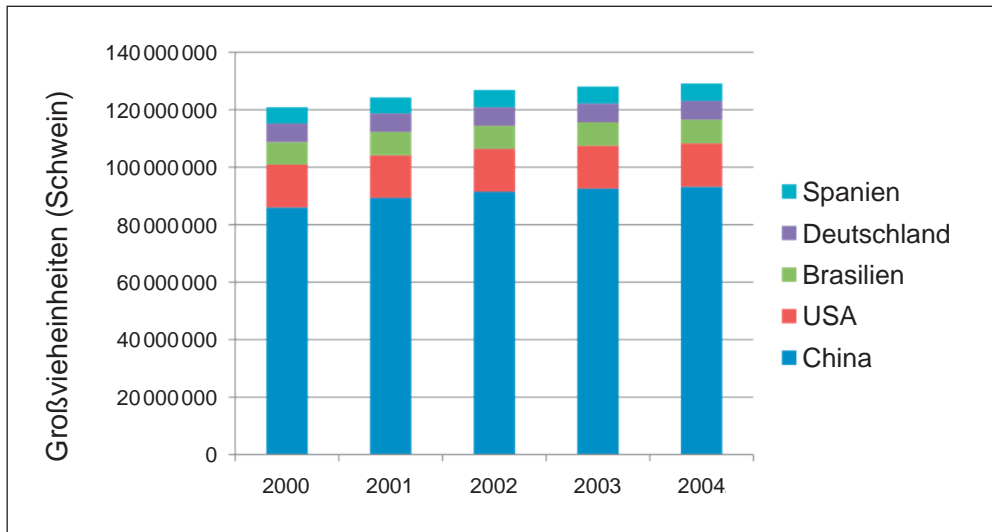


Abb. 1 Internationale Großvieheinheiten (Schwein) der fünf führenden Nationen (Quelle: FAO, www.fao.org, zuletzt aufgerufen am 29. 3. 2009)

Tab. 1 Internationale Wachstumsraten in der Schweineproduktion in 2004 (Quelle: FAO, www.fao.org, zuletzt aufgerufen am 29. 3. 2009)

Nation	Wachstumsrate (%)
Brunei	47,6
Zimbabwe	16,1
Israel	15,7
Mongolei	14,9
Kasachstan	13,6

Wenngleich, wie hier am Beispiel der Schweineproduktion verdeutlicht, der weltweite Selbstversorgungsgrad noch nicht 100% beträgt und somit eine weitere Produktionssteigerung sinnvoll erscheint, konkurriert die Tierproduktion bereits jetzt mit unterschiedlichen Ressourcen des Menschen. So wird z. B. im Zusammenhang mit der Entstehung von Treibhausgasen (z. B. Methan) und der zunehmenden Verknappung natürlicher Ressourcen (z. B. Wasser, Land), die Tierproduktion sehr kritisch diskutiert (SOLOMON und JOHNSTON 1997). Betrachtet man den Landbedarf für die Produktion von 1 kg Rindfleisch, so liegt dieser bei ca. 323 m² (bei Fütterung mit Kraftfutter) im Vergleich zu ca. 6 m² für die Herstellung von 1 kg Gemüse. Tabelle 2 gibt einige weitere Vergleichswerte für die Produktion entsprechender Produkte.

Neben dem Flächenbedarf sind außerdem noch eine Reihe anderer Parameter zu berücksichtigen, wie der Wasserverbrauch, die Feinstaubbelastung, Treibhausgase und der Einsatz von Antibiotika oder Hormonen (PICKRELL et al. 1995, FRANKLIN 1999, GONZALEZ-AVALOS und RUIZ-SUAREZ 2001, VELLE 2002, FLOREA und NIGHTINGALE 2004, HINDRICHSEN et al. 2005, GRAHAM et al. 2007).

Tab. 2 Landbedarf für die Produktion von 1 kg des entsprechenden Produkts (www.klima-allianz.com/umwelt, zuletzt aufgerufen am 29. 3. 2009)

Produkt	Landbedarf in m ²
Rind mit Kraftfutter	323
Rind auf der Weide	269
Fisch	207
Schwein	55
Masthuhn	53
Eier	44
Reis	17
Teigwaren	17
Brot	16
Gemüse/Kartoffel	6

3. Bedarf und Bedeutung tierischer Nebenprodukte

Bei der Tierproduktion geht es aber nicht nur um die Erzeugung von Fleisch, Milch, Eiern, Honig usw. und Produkten daraus. Zu den tierischen Produkten oder Tierprodukten zählen natürlich auch Produkte wie Leder und Wolle, die direkt aus Tieren hergestellt werden. Daneben fallen selbstverständlich auch Nebenprodukte an, die gemäß Art. 2 VO 1774/2002 ganze Tierkörper, Tierkörperteile oder Erzeugnisse tierischen Ursprungs umfassen, die nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind. Der Umgang mit tierischen Nebenprodukten ist in der Bundesrepublik Deutschland durch das tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG) und die tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV) geregelt.

Zu den tierischen Nebenprodukten zählen u. a.

- verarbeitetes tierisches Eiweiß;
- Heimtierfutter;
- Rohwaren zur Herstellung von Heimtierfutter;
- Nebenprodukte zur Herstellung von Heimtierfutter;
- nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte Milch und Milcherzeugnisse, ausgeschmolzene Fette, Gelatine und Kollagene, hydrolysierte Eiweiße, Di- und Tricalciumphosphat;
- Häute und Felle, Jagdtrophäen;
- Nebenprodukte zur technischen Verwertung.

Die Verwendung tierischer Nebenprodukte als Tierfutter (Tiermehle), vor allem für Wiederkäuer, wurde durch das Auftreten und die massive Verbreitung der bovinen spongiformen Enzephalopathie (BSE) seit ca. 1990 gesetzlich verboten bzw. erheblich eingeschränkt (HOINVILLE 1994, ROSSIDES 2001, SCHWERMER und HEIM 2007). Durch das Verbot der Verfütterung von Tiermehlen an landwirtschaftliche Nutztiere („feed ban“) konnte die Verbreitung der BSE in Europa inzwischen praktisch zurückgedrängt werden.

Neben der Verfütterung von Nebenprodukten spielt aber auch die Gewinnung verschiedener Substanzen, wie z. B. Gelatine, Lactose, Mg-Stearat oder Heparin, für die pharmazeutische Industrie eine wichtige Rolle. Wie in Tabelle 3 dargestellt, werden diese Substanzen

z. B. für die Herstellung von Tabletten und Kapseln sowie als Trennmittel oder Beimengung zu Lebensmitteln verwendet (SAMKOVA 1969, LERK 1987, SUGISAWA et al. 2009).

Tab. 3 Verwendung tierischer Nebenprodukte in der pharmazeutischen Industrie

Komponente	Arznei	Lactose	Mg-Stearat	Gelatine
Gewicht/Charge (g)	25 000	200 000	1 500	48 000
Ausbeute (%)	1,0	2,5	25	18,2
Menge an Ausgangsmaterial (kg)	2 500	8 000	6	264
Ausgangsmaterial	Leber	Milch	Talg, Abfälle	Knochen
Gewebemenge/Tier (kg)	2	22,7	234	25
Anzahl an Organen (Tieren)/Charge	1 250	352	0,0256	10,5

Auch der Einsatz bzw. die Gewinnung von Gelatine hat sich während der BSE-Krise in Europa gewandelt. So wurde früher ein erheblicher Teil der Gelatine aus Rindern (Rinderspalt) gewonnen (SCHRIEBER und SEYBOLD 1993, MOKREJS et al. 2009). Während der BSE-Krise wurde verstärkt auf die alternative Gewinnung von Gelatine z. B. aus Schweineschwarten (Gelatine Typ A) umgestellt. Gelatine ist ein Polypeptid mit einer Molmasse von 1500 bis über 250 000 und besteht im Wesentlichen aus Kollagen. Gelatine wird durch die Hydrolyse von Haut und Knochen gewonnen. Die weltweite jährliche Gelatineproduktion beträgt ca. 200 000 t, von denen ca. 130 000 t aus bovinem Rohmaterial gewonnen wurden (Tab. 4). In Europa wird dagegen 80 % der Speisegelatine aus Schweineschwarte gewonnen.

Tab. 4 Gelatine-Herstellung

Gelatine Typ	Material	Herstellung
Typ A	Schweineschwarte	Quellung, Säureaufschluss (3 %, 24 h)
Typ B	Knochen, Rinderspalt	Entfettung, Säuremazeration (5 % HCl, 8–12 d), Kalkung (pH 12,5, 45–90 d), Hoherhitzung (138–140 °C, 20 s)

Ein weiteres essentielles tierisches Nebenprodukt, welches u. a. aus Schweinedarm-Mukosa gewonnen wird, ist Rohheparin (GRIFFIN et al. 1995). Heparin wird zur Behandlung von Blutgerinnungsstörungen (Thrombose) verwendet (SHAFQAT et al. 2006).

Die hier dargestellten sonstigen Verwendungen tierischer Produkte und Nebenprodukte erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es sollte vielmehr beispielhaft gezeigt werden, dass die Tierproduktion nicht ausschließlich auf den Verzehr tierischer Produkte (z. B. Milch, Fleisch) reduziert werden kann. Der Verzicht auf Fleischkonsum bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Tierproduktion eingestellt werden kann. Im Gegenteil, die Folge einer Reduktion oder eines Verzichts würde eine Vielzahl anderer bedeutender Industrien bzw. die Verfügbarkeit wichtiger Substanzen und Produkte gefährden. Im Hinblick auf das mögliche hygienische Gefährdungspotential tierischer Nebenprodukte muss selbstverständlich alles unternommen werden, um eine Situation, wie sie im Zusammenhang mit der welt-

weiten Ausbreitung der BSE entstanden ist, in Zukunft zu verhindern (URLINGS et al. 1992, RODEHUTSCORD et al. 2002).

4. Entwicklung und Einsatz der Genomanalyse bei landwirtschaftlichen Nutztieren

Der momentane Stand der Genomanalyse bei den landwirtschaftlichen Nutztieren ist sehr unterschiedlich, daher soll hier nur kurz die Situation beim Rind und Schwein dargestellt werden. Für die anderen Tierarten wird auf die entsprechende aktuelle Literatur verwiesen. Eine erste Fassung des bovinen Genoms (Btau_3.1) wurde bereits im August 2006 mit einer 7,15-fachen Abdeckung verfügbar (EVERTS-VAN DER WIND et al. 2005). Seit Oktober 2007 ist Version 4 (Btau_4.0) öffentlich zugänglich. Ähnlich wie bei anderen Genomanalyse-Projekten geht auch die Fertigstellung des bovinen Genoms auf eine enorme internationale Anstrengung zurück und beinhaltet eine Reihe vorbereitender Schritte, wie die Konstruktion geeigneter Genbanken (EGGEN et al. 2001) oder die Erstellung zytogenetischer Karten (EGGEN und FRIES 1995) und Kopplungskarten (BARENDSE et al. 1994, 1997, KAPPES et al. 1997, JANN et al. 2006). Obwohl mit der momentan verfügbaren Version bereits zufriedenstellend gearbeitet werden kann, befinden sich in der genomischen Sequenz des Rindes noch immer erhebliche Lücken sowie Assemblierungs- und Annotierungsfehler. Außerdem liegen noch keine Daten für das Y-Chromosom vor.

Für das Schwein (*Sus scrofa*) existiert dagegen noch keine vollständige genomische Sequenz. Im Februar 2008 wurde aus einer ersten Sammlung sortierter BAC-Klone eine partielle DNA-Sequenz des porcinen Genoms veröffentlicht (Sscrofa5), die ca. 60,5 % des gesamten Genoms entsprach. Auch für das Schwein waren zuvor eine Vielzahl vorbereitender Projekte notwendig, die u. a. die Konstruktion geeigneter Genbanken (AL-BAYATI et al. 1999) oder Kopplungskarten beinhalteten (ELLEGREN et al. 1994, ROHRER et al. 1994, ELLEGREN und BASU 1995). Das ehrgeizige Ziel ist es, auch das porcine Genom bis Juni 2009 fertig zustellen (piggenome.org).

Neben dem Rind ist lediglich vom Huhn (*Gallus gallus*), als weiteres landwirtschaftlichen Nutztier, die vollständige genomische Sequenz mit einer 6,6-fachen Abdeckung im Mai 2006 erstellt worden (JENSEN 2005, GROENEN et al. 2009).

Die Verfügbarkeit der vollständigen genomischen Sequenz der wichtigsten landwirtschaftlichen Nutztiere ist Voraussetzung für die rasche Aufklärung potentieller genetischer Erkrankungen sowie die gezielte Auswahl und Testung geeigneter Tiere für die Tierproduktion mittels molekularbiologischer oder molekulargenetischer Verfahren. So wird z. B. neben der konventionellen Zuchtwertschätzung zukünftig in einigen Herdbuchzuchten auch die sogenannte genomische Selektion als ergänzendes Verfahren eingesetzt (GODDARD und HAYES 2007, HAYES et al. 2009). Hierbei wird mit modernen molekularbiologischen Verfahren, den sogenannten DNA-Chip-Technologien (DNA-Microarray, SNP-Chip), das Genom der Tiere an einigen hunderttausend polymorphen Positionen typisiert und die individuellen DNA-Signaturen mittels bioinformatischer Methoden spezifischen Leistungseigenschaften zugeordnet (MEUWISSEN 2007, CALUS et al. 2008). Inwieweit die „molekularen Zuchtwerte“ zukünftig ausschließlich in der Zuchtwertschätzung eingesetzt werden können, wird sich zeigen. Gegenwärtig ist es auf jeden Fall weiterhin notwendig beide Verfahren, die konventionelle als auch die molekulare Zuchtwertschätzung parallel durchzuführen (HINRICHS et al. 2008).

Neben dieser eher globalen Verwendung der Daten aus den Genomanalyseprojekten, hat die Verfügbarkeit der vollständigen genomischen Sequenz eines landwirtschaftlichen

Nutztieres jedoch auch erhebliche Bedeutung bei der Aufklärung einzelner genetischer Erkrankungen. Gerade bei dem intensiven internationalen Einsatz besonderer Zuchttiere ist die Gefahr einer Erhöhung der Inzucht und damit das Auftreten genetischer Erkrankungen besonders hoch (SCHULTZ und WILLIS 1995, WANG et al. 1999). Beispielhaft seien hier die bovine Leukozyten-Adhäsionsdefizienz (BLAD) und die komplexe vertebrale Malformation (CVM) genannt (CITEK et al. 2008, SCHUTZ et al. 2008). Erst kürzlich wurde über die sogenannte Brachyspina beim Holstein-Rind berichtet, die sich gegenwärtig in der molekularen Aufklärung befindet (AGERHOLM et al. 2006, AGERHOLM und PEPPERKAMP 2007, TESTONI et al. 2008).

Die Erfolge der Aufklärung genetischer Erkrankungen bei den Haussäugetieren ist deutlich an der Zunahme der Einträge in der Datenbank „Online Mendelian Inheritance in Animals“ (OMIA, omia.angis.org.au) zu erkennen (NICHOLAS 2003, LENFFER et al. 2006). Im März 2009 waren für das Rind insgesamt 376 Phänotypen beschrieben, von denen 43 auf molekularer Ebene aufgeklärt waren. Für das Schwein waren 215 Phänotypen gelistet, von denen 13 auf molekularer Ebene aufgeklärt waren. Zu beachten ist dabei, dass beim Rind von den 376 bisher bekannten Phänotypen nur 75 und beim Schwein von 215 nur 35 tatsächlich eine monogene Ursache haben. Beim Rind sind daher ca. 57% und beim Schwein ca. 37% der bis heute bekannten monogenen Erbkrankheiten aufgeklärt.

Neben den monogenen Erbkrankheiten oder Phänotypen spielen in der Tierproduktion vor allem quantitative Merkmale (QTL) eine wesentliche Rolle (ROCHA et al. 2002). Die meisten Leistungsmerkmale, z. B. Wachstum, Milchleistung, Reproduktion, Krankheitsresistenz, werden von mehreren oder vielen Genen (oligo-, polygen) beeinflusst. Die Suche nach ökonomisch wichtigen QTL-Regionen im Genom der landwirtschaftlichen Nutztiere, sogenannten ETL, ist daher ein zentraler Bestandteil der Genomanalyse (SPELMAN und BOVENHUIS 1998). In einer Vielzahl von Studien wurden bei den meisten wichtigen landwirtschaftlichen Nutztieren (Schwein, Rind, Huhn, Schaf), an unterschiedlichen Kreuzungen, die chromosomale Lokalisation quantitativer Merkmale ermittelt. Die bisher bestimmten QTL-Regionen sind in verschiedenen Datenbanken verfügbar. Eine Zusammenfassung aller bisher ermittelten QTL-Regionen befindet sich in der öffentlich zugänglichen sogenannten AnimalQTLdb (www.animalgenome.org/QTLdb/) (HU et al. 2007). Für das Rind sind derzeit aus 71 Publikationen insgesamt 1123 QTLs, die 112 verschiedene Merkmale repräsentieren, in der Datenbank erfasst. Für das Schwein sind insgesamt 1831 QTLs für 316 Merkmale aus 113 Publikationen abrufbar. Tabelle 5 zeigt beispielhaft eine Zusammenfassung der zehn häufigsten momentan nachgewiesenen QTLs beim Schwein. Die meisten beim Schwein untersuchten QTLs, insgesamt 1425 von 1831 (77,8%), gehören zur Gruppe der Fleischqualitätsmerkmale. Während beim Rind die meisten QTLs (386 von 1123, 34,4%) für das Merkmal „Milch“ identifiziert wurden.

5. Optimale Nutzung des genetischen Potentials landwirtschaftlicher Nutztiere

Wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, werden bereits in naher Zukunft die Genome der meisten landwirtschaftlichen Nutztiere analysiert sein und damit auch kommerziell besser genutzt werden können. Es stellt sich folglich die Frage, welche wichtigen Ziele in der Tierproduktion zukünftig im Vordergrund stehen sollten. Wie in Abschnitt 2 gezeigt, ist der Selbstversorgungsgrad in der Rinder- und Schweineproduktion weltweit nahezu zu 100%

Tab. 5 Anzahl von QTLs im Schwein (PigQTLdb, zuletzt aufgerufen am 29. 3. 2009)

Leistungsmerkmal	Anzahl von QTLs
Durchschnittliche Rückenspeckdicke	89
Kotelettmuskelfläche	52
Durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme	46
Schlachtkörperlänge	42
Schinkengewicht	42
pH24 <i>post mortem</i>	34
Veredelungsanteil	33
Fleischfarbe (L)	33
Magerfleischanteil	32
Rückenspeckdicke an der 10. Rippe	27

erreicht. Folglich wird es weniger um die ausschließliche Steigerung der Produktionsmengen (Quantität) als vielmehr die Verbesserung der Qualität gehen. Qualitative Verbesserungen lassen sich auch heute noch u. a. in den Bereichen

- tierische Produkte (z. B. Fleisch, Milch);
- Wachstum und Futtermittelverwertung;
- Krankheits- und Stressresistenz;
- Fruchtbarkeit

erreichen (GOGOLIN-EWENS et al. 1990, MALTIN et al. 2003, SOLOMON 2004, TOLDRA et al. 2004, SMARAGDOV 2006, COFFEY 2007, DAVOLI und BRAGLIA 2007). Dabei muss natürlich berücksichtigt werden, dass alle tierischen Produkte das Ergebnis der Interaktion zwischen Umwelt (Klima, Fütterung, Haltung) und Genotyp (Erbanlagen) sind (Genotyp-Umwelt-Interaktion). Erst durch das optimale Zusammenwirken von Genotyp und Umwelt, können hochwertige und gesunde Tierprodukte in ökonomischer Weise erzeugt werden (MULDER et al. 2006, NAUTA et al. 2006, HAILE-MARIAM et al. 2008). Daher ist es durchaus denkbar, dass zukünftig durch die Ausnutzung des spezifischen genetischen Potentials der Nutztiere standortoptimierte Linien selektiert werden. Hierzu gibt es auch schon erste Untersuchungen bzw. Beispiele. Im Bereich der Rinderzucht werden u. a. Kreuzungen von Holstein, Jersey und Brown Swiss mit Gir erprobt (TEODORO und MADALENA 2002, 2005). Holstein-Rinder sind u. a. für ihre hohe Milchleistung bekannt, während das Gir (*Bos primigenius indicus*) sich z. B. durch seine Hitzetoleranz auszeichnet. Eine Kreuzung zwischen Holstein × Gir (z. B. Brahman, *Bos taurus indicus*, USA) könnte folglich die wünschenswerten Merkmale beider Arten in sich vereinen und so eine Unterart entstehen, die bei optimaler Milchleistung besser an tropische Standorte angepasst ist.

Im Folgenden sollen einige Beispiele der qualitativen Verbesserung des Leistungsmerkmals „Fleisch“ durch molekulargenetische Ansätze beim Schwein, Rind und Schaf dargestellt werden. Ähnlich wie die anderen wichtigen Leistungsmerkmale, setzt sich auch das Merkmal „Fleisch“ oder die Fleischqualität aus unterschiedlichen zum Teil physikalisch und/oder chemisch messbaren Parametern zusammen. Zu diesen Parametern zählen die Inhaltsstoffe (Trockenmasse, Asche, Protein, Fett), das Fettsäuremuster, die Marmorierung (Verhältnis Fett zu Muskelfläche, inter- und intramuskuläres Fettgewebe), die Sensorik (Saftigkeit, Zartheit,

Geschmack), das Wasserbindungsvermögen, die Fleisch- und Fettfarbe, der pH-Wert und die Temperatur. Wie bereits weiter oben beschrieben, werden auch die Parameter der Fleischqualität nicht nur von der Genetik (Rasse, Kreuzung etc.), sondern auch von der Umwelt, in diesem Fall vom Produktionssystem (Mastendmasse, Schlachtalter, Fütterungsintensität) und der perimortalen Behandlung (Transport, Schlachtung, Kühlung, Reifung) beeinflusst (HONKAVAARA et al. 2003, VILLARROEL et al. 2003, SUZUKI et al. 2005, JUNIPER et al. 2008). Für den Konsumenten sind neben dem Nährwert vor allem die sensorischen Eigenschaften (Saftigkeit, Zartheit, Geschmack), die Struktur (Mürbheit, Fasrigkeit, Zähheit) und die Farbeigenschaften von Bedeutung. Wie in Abbildung 2 dargestellt, werden allein die sensorischen Eigenschaften bereits von mindestens 215 unterschiedlichen Genen gesteuert. Immerhin scheinen davon zumindest 58 Gene für alle drei Parameter gemeinsam verantwortlich zu sein. Da alle beteiligten Gene in einem komplizierten intra- und interzellulären Netzwerk interagieren, erscheint die gezielte genetische Modifikation eines einzelnen Gens zur Verbesserung der Fleischqualität nur schwer möglich zu sein.

Es gibt aber durchaus Beispiele, die zeigen, dass neben diesen polygen-bedingten Fleischqualitätsmerkmalen, gerade monogen-bedingte Merkmale eine sehr gezielte Beeinflussung des entsprechenden Merkmals erlauben.

Ein klassisches Beispiel war sicherlich die maligne Hyperthermie des Schweins. Durch die starke Selektion auf mageres Fleisch in schnellwüchsigen Rassen wurde unbewusst auf eine Mutation im sogenannten Ryanodin-Rezeptor-I-Gen selektiert. Die Frequenz des homo-

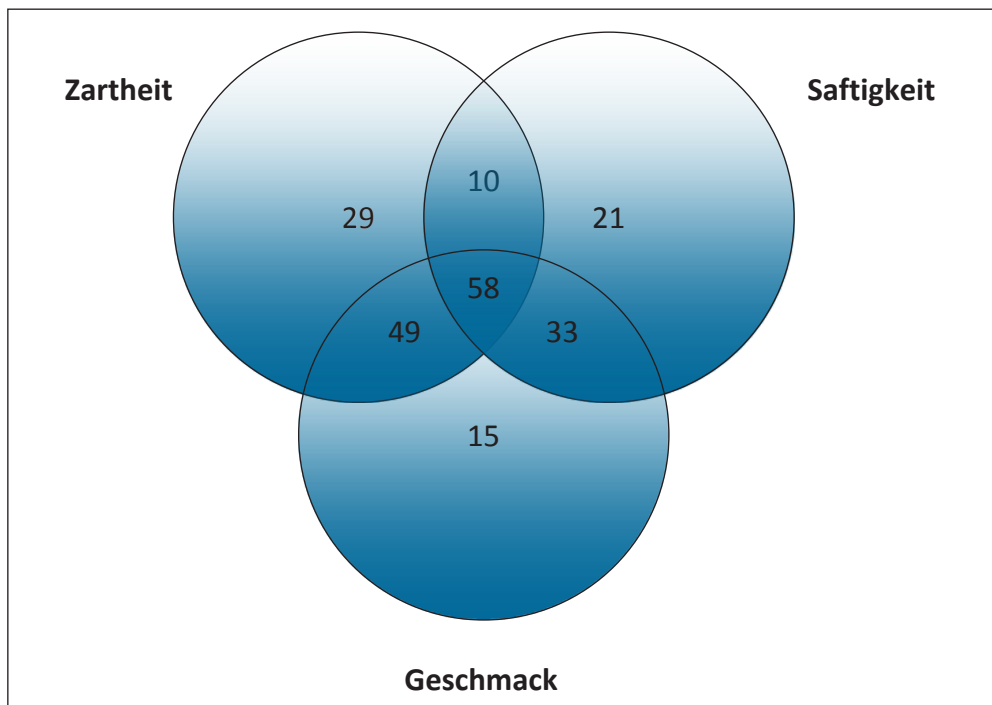


Abb. 2 Differenziell exprimierte Gene für die sensorischen Fleischeigenschaften Zartheit, Geschmack und Saftigkeit (modifiziert nach BERNARD et al. 2007)

zygot betroffenen Genotyps betrug in einigen Rassen 100% (z. B. Pietrain). Mit der Aufklärung des genetischen Defekts war es ab Mitte der 1990er Jahre möglich, gezielt betroffene Tiere aus der Zucht zu entfernen bzw. den Einsatz von Anlageträgern präzise zu steuern (FUJII et al. 1991, BREINIG und BREM 1992, SCHMOELZL et al. 1996, WEN et al. 1996, LEEB und BREINIG 1998). Ein weiteres Merkmal der Fleischqualität, welches große Bedeutung in der Schweineproduktion besitzt, ist der sogenannte Hampshire-Faktor oder Rendement Napole. Er beschreibt eine besondere Eigenschaft der Skelettmuskulatur, bei der es zu einer Verringerung des Wasserbindungsvermögens kommt. Damit verbunden sind Produktionsverluste bei der Schinkenherstellung. Die Ursache für dieses Merkmal geht auf eine Mutation in dem Proteinkinase-AMP-aktivierten Gamma-3-Untereinheit-Gen (*PRKAG3*), welches für die Gamma-3-Isoform der AMP-aktivierten Proteinkinase (AMPK) kodiert, zurück. Die Mutation betrifft vor allem die Rasse Hampshire (MILAN et al. 2000, ANDERSSON 2003).

Eine weitere ökonomisch wichtige Mutation, die nicht unmittelbar mit der Fleischqualität zu tun hat, konnte im Zusammenhang mit der Entstehung der Ödemkrankheit (Colienterotoxämie) bei Ferkeln aufgeklärt werden. Diese Erkrankung tritt in der Regel einige Tage bis zwei Wochen nach dem Absetzen oder der Einstellung zur Mast auf. Ursache für die Ödemkrankheit ist die Besiedlung des Dünndarms mit *Escherichia coli* vom Fimbrientyp F18 (ECF18), die sich an den sogenannten ECF18-Rezeptor im Bürstensaum der Enterozyten anheften und unkontrolliert vermehren können. Beim ECF18-Rezeptor handelt es sich um die $\alpha(1,2)$ -Fucosyltransferase 1 (FUT1), in der ein Aminosäureaustausch von Alanin zu Threonin an Position 103 als Ursache für die Empfänglichkeit der Schweine identifiziert werden konnte (VOGELI et al. 1997, MEIJERINK et al. 2000). Die restlichen zehn aufgeklärten Gendefekte beim Schwein haben bisher eine nicht so herausragende wirtschaftliche Bedeutung erlangt und betreffen auch nicht unmittelbar qualitative Leistungseigenschaften.

Beim Rind konnte eine ähnliche Anzahl ursächlicher Genvarianten mit Auswirkung auf die qualitativen Leistungseigenschaften „Fleisch“ aufgeklärt werden. Hierzu gehört z. B. der Doppellender-Phänotyp (mh), der vor allem bei den Rassen *Belgian Blue* und *Piedmontese* auftritt. Charakteristisch für diesen Phänotyp ist eine ca. 20%ige Zunahme der Muskelmasse, die zur substantiell höheren Ausbeute wertvoller Fleischbestandteile und Zunahme von magerem und zartem Fleisch führt. Je nach Rasse sind für den mh-Phänotyp unterschiedliche Mutationen und DNA-Varianten im Myostatin-Gen ursächlich, die entweder in einer kompletten Ausschaltung oder deutlichen Aktivitätsreduzierung des Gens resultieren (BELLINGE et al. 2005, WALSH und CELESTE 2005, RODGERS und GARIKIPATI 2008). Myostatin wirkt physiologischerweise sowohl in der embryonalen Entwicklung als auch im adulten Tier auf die Entwicklung der Muskulatur (KOCAMIS und KILLEFER 2002, LEE 2004). Für das Fleischqualitätsmerkmal Zartheit konnten ursächliche Varianten in den Genen für das Calpain und Calpastatin identifiziert werden (MORRIS et al. 2006, VAN EENENNAAM et al. 2007). Diese Varianten werden bereits intensiv kommerziell genutzt. Eine große Bedeutung für die Fleischqualität hat der Anteil an intramuskulärem Fettgewebe (IMF), der als sogenannte Marmorierung bezeichnet wird. Das Fettgewebe trägt sowohl zur Beschaffenheit als auch zum Geschmack des Fleisches bei (KILLINGER et al. 2004a, b). Eine Rinderrasse, die sich durch einen besonders hohen Anteil an IMF auszeichnet, ist das Kobe- oder Wagyu-Rind (OKA et al. 2002, KAHN und HIROOKA 2005, MIZOGUCHI et al. 2006, IMAI et al. 2007). QTL-Untersuchungen bei dieser Rasse haben gezeigt, dass eine Region auf Chromosom 7 und 9 wesentlich mit dem Merkmal „Marmorierung“ assoziiert ist (IMAI et al. 2007, HIRANO et al. 2008). Noch ist aber nicht eindeutig geklärt, welche Gene tatsächlich für die starke Ausprä-

gung der Marmorierung beim Wagyu-Rind verantwortlich sind. Interessant ist aber, dass z. B. ein Mangel von Vitamin A in der Diät bei verschiedenen Rassen (Holstein, Angus) über einen bestimmten Zeitraum zu einer Zunahme der Marmorierung führt (GOROCICA-BUENFIL et al. 2007a, b, c). Daher erscheinen Gene in der Stoffwechsellkaskade des Vitamin A als aussichtsreiche Kandidaten für die Marmorierung (BARENDSE et al. 2007).

Beim Schaf konnte vor einiger Zeit ein Phänotyp aufgeklärt werden, der mit einer starken Bemuskulung der Hintergliedmaßen einhergeht (CARPENTER et al. 1996). Dieser als „callipyge“ (griechisch: Kallipygos = die Prachthintrige) bezeichnete Phänotyp war aber lange Zeit nicht in seiner Mendelischen Vererbung nachvollziehbar, da es sich um einen genetisch „imprinted“ Locus („genetic imprinting“) handelt (COCKETT et al. 1999, GEORGES et al. 2003, LEWIS und REDRUP 2005).

Die obigen Beispiele zeigen auf eindrückliche Weise, dass es nicht nur theoretisch, sondern bereits praktisch möglich ist, auf bestimmte qualitative Leistungsmerkmale mit dem Einsatz molekulargenetischer Methoden gezielt zu selektieren.

6. Schlussfolgerungen

Nutztiere sind sicherlich ein wesentlicher Nahrungsmittelkonkurrent für den Menschen. Ihre Produktion erzeugt einen erheblichen Anteil an Emissionen und verbraucht wichtige Ressourcen wie Wasser, Energie und Fläche. Darüber hinaus ist der Mensch verantwortlich für einen artgerechten und ethisch einwandfreien Umgang mit seinen „Mitgeschöpfen“. Auf der anderen Seite sind tierische Nahrungsmittel eine wichtige und nicht ersetzbare Ernährungskomponente. Wie oben dargestellt, spielen aber auch tierische Nebenprodukte eine entscheidende unverzichtbare Rolle in unserem täglichen Leben. Außerdem ist die heutige biomedizinische Forschung ohne den Einsatz von Tieren undenkbar. Es darf weiterhin nicht vergessen werden, dass unsere Haussäugetiere ein „lebendes Kulturgut“ darstellen.

Wägt man also die Vor- und Nachteile der Tierproduktion ab, so muss vielleicht zukünftig der Erzeuger mehr auf eine effizientere, bessere und sauberere Produktion bedacht sein. Der Verbraucher dagegen sollte sein Verhalten verändern und zukünftig mehr Qualität als Quantität fordern.

Literatur

- AGERHOLM, J. S., McEVOY, F., and ARNBJERG, J.: Brachyspina syndrome in a Holstein calf. *J. Vet. Diagn. Invest.* 18, 418–422 (2006)
- AGERHOLM, J. S., and PEPPERKAMP, K.: Familial occurrence of Danish and Dutch cases of the bovine brachyspina syndrome. *BMC Vet. Res.* 3, 8 (2007)
- AL-BAYATI, H. K., DUSCHER, S., KOLLERS, S., RETTENBERGER, G., FRIES, R., and BREINIG, B.: Construction and characterization of a porcine P1-derived artificial chromosome (PAC) library covering 3.2 genome equivalents and cytogenetical assignment of six type I and type II loci. *Mamm. Genome* 10, 569–572 (1999)
- ANDERSSON, L.: Identification and characterization of AMPK gamma 3 mutations in the pig. *Biochem. Soc. Trans.* 31, 232–235 (2003)
- BARENDSE, W., ARMITAGE, S. M., KOSSAREK, L. M., SHALOM, A., KIRKPATRICK, B. W., RYAN, A. M., CLAYTON, D., LI, L., NEIBERGS, H. L., ZHANG, N., et al.: A genetic linkage map of the bovine genome. *Nature Genet.* 6, 227–235 (1994)
- BARENDSE, W., BUNCH, R. J., KUAS, J. W., and THOMAS, M. B.: The effect of genetic variation of the retinoic acid receptor-related orphan receptor C gene on fatness in cattle. *Genetics* 175, 843–853 (2007)

- BARENDSE, W., VAIMAN, D., KEMP, S. J., SUGIMOTO, Y., ARMITAGE, S. M., WILLIAMS, J. L., SUN, H. S., EGGEN, A., AGABA, M., ALEYASIN, S. A., BAND, M., BISHOP, M. D., BUITKAMP, J., BYRNE, K., COLLINS, F., COOPER, L., COPPETTIERS, W., DENYS, B., DRINKWATER, R. D., EASTERDAY, K., ELDUQUE, C., ENNIS, S., ERHARDT, G., LI, L., et al.: A medium-density genetic linkage map of the bovine genome. *Mamm. Genome* 8, 21–28 (1997)
- BELLINGE, R. H., LIBERLES, D. A., IASCHI, S. P., O'BRIEN, P. A., and TAY, G. K.: Myostatin and its implications on animal breeding: a review. *Anim. Genet.* 36, 1–6 (2005)
- BERNARD, C., CASSAR-MALEK, I., LE CUNFF, M., DUBROEUQ, H., RENAND, G., and HOCQUETTE, J. F.: New indicators of beef sensory quality revealed by expression of specific genes. *J. Agric. Food Chem.* 55, 5229–5237 (2007)
- BRENI, G., and BREM, G.: Genomic organization and analysis of the 5' end of the porcine ryanodine receptor gene (*ryr1*). *FEBS Lett.* 298, 277–279 (1992)
- CALUS, M. P., MEUWISSEN, T. H., DE ROOS, A. P., and VEERKAMP, R. F.: Accuracy of genomic selection using different methods to define haplotypes. *Genetics* 178, 553–561 (2008)
- CARPENTER, C. E., RICE, O. D., COCKETT, N. E., and SNOWDER, G. D.: Histology and composition of muscles from normal and callipyge lambs. *J. Anim. Sci.* 74, 388–393 (1996)
- CITEK, J., REHOUT, V., SCHROFFELOVA, D., and HRADECKA, E.: Frequency of BLAD and CVM alleles in sires and elite heifers of Czech Holstein cattle. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 115, 475–477 (2008)
- COCKETT, N. E., JACKSON, S. P., SNOWDER, G. D., SHAY, T. L., BERGHMANS, S., BEEVER, J. E., CARPENTER, C., and GEORGES, M.: The callipyge phenomenon: evidence for unusual genetic inheritance. *J. Anim. Sci.* 77, Suppl. 2, 221–227 (1999)
- COFFEY, S. G.: Prospects for improving the nutritional quality of dairy and meat products. *Forum Nutr.* 60, 183–195 (2007)
- DAVOLI, R., and BRAGLIA, S.: Molecular approaches in pig breeding to improve meat quality. *Brief Funct. Genomic Proteomic* 6, 313–321 (2007)
- EGGEN, A., and FRIES, R.: An integrated cytogenetic and meiotic map of the bovine genome. *Anim. Genet.* 26, 215–236 (1995)
- EGGEN, A., GAUTIER, M., BILLAUT, A., PETIT, E., HAYES, H., LAURENT, P., URBAN, C., PFISTER-GENSKOW, M., EILERTSEN, K., and BISHOP, M. D.: Construction and characterization of a bovine BAC library with four genome-equivalent coverage. *Genet. Sel. Evol.* 33, 543–548 (2001)
- ELLEGREN, H., and BASU, T.: Filling the gaps in the porcine linkage map: isolation of microsatellites from chromosome 18 using flow sorting and SINE-PCR. *Cytogenet. Cell Genet.* 71, 370–373 (1995)
- ELLEGREN, H., CHOWDHARY, B., JOHANSSON, M., and ANDERSSON, L.: Integrating the porcine physical and linkage map using cosmid-derived markers. *Anim. Genet.* 25, 155–164 (1994)
- EVERTS-VAN DER WIND, A., LARKIN, D. M., GREEN, C. A., ELLIOTT, J. S., OLMSTEAD, C. A., CHIU, R., SCHEIN, J. E., MARRA, M. A., WOMACK, J. E., and LEWIN, H. A.: A high-resolution whole-genome cattle-human comparative map reveals details of mammalian chromosome evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102, 18526–18531 (2005)
- FLOREA, N. F., and NIGHTINGALE, C. H.: Review of the pharmacodynamics of antibiotic use in animal food production. *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.* 49, 105–108 (2004)
- FRANKLIN, A.: Current status of antibiotic resistance in animal production. *Acta Vet. Scand. Suppl.* 92, 23–28 (1999)
- FUJII, J., OTSU, K., ZORZATO, F., DE LEON, S., KHANNA, V. K., WEILER, J. E., O'BRIEN, P. J., and MACLENNAN, D. H.: Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science* 253, 448–451 (1991)
- GEORGES, M., CHARLIER, C., and COCKETT, N.: The callipyge locus: evidence for the trans interaction of reciprocally imprinted genes. *Trends Genet.* 19, 248–252 (2003)
- GODDARD, M. E., and HAYES, B. J.: Genomic selection. *J. Anim. Breed Genet.* 124, 323–330 (2007)
- GOGOLIN-EWENS, K. J., MEEUSEN, E. N., SCOTT, P. C., ADAMS, T. E., and BRANDON, M. R.: Genetic selection for disease resistance and traits of economic importance in animal production. *Rev. Sci. Tech.* 9, 865–896 (1990)
- GONZALEZ-AVALOS, E., and RUIZ-SUAREZ, L. G.: Methane emission factors from cattle manure in Mexico. *Biore-sour. Technol.* 80, 63–71 (2001)
- GOROCICA-BUENFIL, M. A., FLUHARTY, F. L., BOHN, T., SCHWARTZ, S. J., and LOERCH, S. C.: Effect of low vitamin A diets with high-moisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition of beef steers. *J. Anim. Sci.* 85, 3355–3366 (2007a)
- GOROCICA-BUENFIL, M. A., FLUHARTY, F. L., REYNOLDS, C. K., and LOERCH, S. C.: Effect of dietary vitamin A concentration and roasted soybean inclusion on marbling, adipose cellularity, and fatty acid composition of beef. *J. Anim. Sci.* 85, 2230–2242 (2007b)

- GOROCICA-BUENFIL, M. A., FLUHARTY, F. L., REYNOLDS, C. K., and LOERCH, S. C.: Effect of dietary vitamin A restriction on marbling and conjugated linoleic acid content in Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 85, 2243–2255 (2007c)
- GRAHAM, J. P., BOLAND, J. J., and SILBERGELD, E.: Growth promoting antibiotics in food animal production: an economic analysis. *Public Health Rep.* 122, 79–87 (2007)
- GRIFFIN, C. C., LINHARDT, R. J., VAN GORP, C. L., TOIDA, T., HILEMAN, R. E., SCHUBERT, R. L. 2nd, and BROWN, S. E.: Isolation and characterization of heparan sulfate from crude porcine intestinal mucosal peptidoglycan heparin. *Carbohydr. Res.* 276, 183–197 (1995)
- GROENEN, M. A., WAHLBERG, P., FOGGIO, M., CHENG, H. H., MEGENS, H. J., CROOIJMANS, R. P., BESNIER, F., LATHROP, M., MUIR, W. M., WONG, G. K., GUT, L., and ANDERSSON, L.: A high-density SNP-based linkage map of the chicken genome reveals sequence features correlated with recombination rate. *Genome Res.* 19, 510–519 (2009)
- HAILE-MARIAM, M., CARRICK, M. J., and GODDARD, M. E.: Genotype by environment interaction for fertility, survival, and milk production traits in Australian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 91, 4840–4853 (2008)
- HAYES, B. J., BOWMAN, P. J., CHAMBERLAIN, A. J., and GODDARD, M. E.: Invited review: Genomic selection in dairy cattle: progress and challenges. *J. Dairy Sci.* 92, 433–443 (2009)
- HINDRICHSEN, I. K., WETTSTEIN, H. R., MACHMULLER, A., JORG, B., and KREUZER, M.: Effect of the carbohydrate composition of feed concentrates on methane emission from dairy cows and their slurry. *Environ. Monit. Assess.* 107, 329–350 (2005)
- HINRICHS, D., BENNEWITZ, J., TETENS, J., und THALLER, G.: Simulationen über die Konsequenzen der genomischen Selektion in einem Rinderzuchtprogramm. *Züchtungskunde* 80, 443–451 (2008)
- HIRANO, T., WATANABE, T., INOUE, K., and SUGIMOTO, Y.: Fine-mapping of a marbling trait to a 2.9-cM region on bovine chromosome 7 in Japanese Black cattle. *Anim. Genet.* 39, 79–83 (2008)
- HOINVILLE, L. J.: Decline in the incidence of BSE in cattle born after the introduction of the ‘feed ban’. *Vet. Rec.* 134, 274–275 (1994)
- HONKAVAARA, M., RINTASALO, E., YLONEN, J., and PUDAS, T.: Meat quality and transport stress of cattle. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 110, 125–128 (2003)
- HU, Z. L., FRITZ, E. R., and REECY, J. M.: AnimalQTLdb: a livestock QTL database tool set for positional QTL information mining and beyond. *Nucleic Acids Res.* 35, D604–609 (2007)
- IMAI, K., MATSUGHIGE, T., WATANABE, T., SUGIMOTO, Y., and IHARA, N.: Mapping of a quantitative trait locus for beef marbling on bovine chromosome 9 in purebred Japanese black cattle. *Anim. Biotechnol.* 18, 75–80 (2007)
- JANN, O. C., AERTS, J., JONES, M., HASTINGS, N., LAW, A., MCKAY, S., MARQUES, E., PRASAD, A., YU, J., MOORE, S. S., FLORIOT, S., MAHE, M. F., EGGEN, A., SILVERI, L., NEGRINI, R., MILANESI, E., AJMONE-MARSAN, P., VALENTINI, A., MARCHITELLI, C., SAVARESE, M. C., JANITZ, M., HERWIG, R., HENNIG, S., GORNI, C., CONNOR, E. E., SONSTEGARD, T. S., SMITH, T., DROGEMULLER, C., and WILLIAMS, J. L.: A second generation radiation hybrid map to aid the assembly of the bovine genome sequence. *BMC Genomics* 7, 283 (2006)
- JENSEN, P.: Genomics: the chicken genome sequence. *Heredity* 94, 567–568 (2005)
- JUNIPER, D. T., PHIPPS, R. H., RAMOS-MORALES, E., and BERTIN, G.: Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 86, 3100–3109 (2008)
- KAHL, A. K., and HIROOKA, H.: Genetic and economic evaluation of Japanese Black (Wagyu) cattle breeding schemes. *J. Anim. Sci.* 83, 2021–2032 (2005)
- KAPPES, S. M., KEELE, J. W., STONE, R. T., MCGRAW, R. A., SONSTEGARD, T. S., SMITH, T. P., LOPEZ-CORRALES, N. L., and BEATTIE, C. W.: A second-generation linkage map of the bovine genome. *Genome Res.* 7, 235–249 (1997)
- KILLINGER, K. M., CALKINS, C. R., UMBERGER, W. J., FEUZ, D. M., and ESKRIDGE, K. M.: Consumer sensory acceptance and value for beef steaks of similar tenderness, but differing in marbling level. *J. Anim. Sci.* 82, 3294–301 (2004a)
- KILLINGER, K. M., CALKINS, C. R., UMBERGER, W. J., FEUZ, D. M., and ESKRIDGE, K. M.: Consumer visual preference and value for beef steaks differing in marbling level and color. *J. Anim. Sci.* 82, 3288–3293 (2004b)
- KOCAMIS, H., and KILLEFER, J.: Myostatin expression and possible functions in animal muscle growth. *Domest. Anim. Endocrinol.* 23, 447–454 (2002)
- LEE, S. J.: Regulation of muscle mass by myostatin. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 20, 61–86 (2004)
- LEEB, T., and BRENIG, B.: Ryanodine receptors and their role in genetic diseases (review). *Int. J. Mol. Med.* 2, 293–300 (1998)
- LENFFER, J., NICHOLAS, F. W., CASTLE, K., RAO, A., GREGORY, S., POIDINGER, M., MAILMAN, M. D., and RANGANATHAN, S.: OMIA (Online Mendelian Inheritance in Animals): an enhanced platform and integration into the Entrez search interface at NCBI. *Nucleic Acids Res.* 34, D599–601 (2006)

- LERK, C. F.: [Physico-pharmaceutical properties of lactose.] *Pharm. uns. Zeit* 16, 39–46 (1987)
- LEWIS, A., and REDRUP, L.: Genetic imprinting: conflict at the Callipyge locus. *Curr. Biol.* 15, R291–294 (2005)
- MALTIN, C., BALCERZAK, D., TILLEY, R., and DELDAY, M.: Determinants of meat quality: tenderness. *Proc. Nutr. Soc.* 62, 337–347 (2003)
- MEIJERINK, E., NEUENSCHWANDER, S., FRIES, R., DINTER, A., BERTSCHINGER, H. U., STRANZINGER, G., and VOGELI, P.: A DNA polymorphism influencing alpha(1,2)fucosyltransferase activity of the pig FUT1 enzyme determines susceptibility of small intestinal epithelium to Escherichia coli F18 adhesion. *Immunogenetics* 52, 129–136 (2000)
- MEUWISSEN, T.: Genomic selection: marker assisted selection on a genome wide scale. *J. Anim. Breed Genet.* 124, 321–322 (2007)
- MILAN, D., JEON, J. T., LOOFT, C., AMARGER, V., ROBIC, A., THELANDER, M., ROGEL-GAILLARD, C., PAUL, S., IANNUCELLI, N., RASK, L., RONNE, H., LUNDSTROM, K., REINSCH, N., GELLIN, J., KALM, E., ROY, P. L., CHARDON, P., and ANDERSSON, L.: A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science* 288, 1248–1251 (2000)
- MIZOGUCHI, Y., WATANABE, T., FUJINAKA, K., IWAMOTO, E., and SUGIMOTO, Y.: Mapping of quantitative trait loci for carcass traits in a Japanese Black (Wagyu) cattle population. *Anim. Genet.* 37, 51–54 (2006)
- MOKREJS, P., LANGMAIER, F., MLADEK, M., JANACOVA, D., KOLOMAZNIK, K., and VASEK, V.: Extraction of collagen and gelatine from meat industry by-products for food and non food uses. *Waste Manag. Res.* 27, 31–37 (2009)
- MORRIS, C. A., CULLEN, N. G., HICKEY, S. M., DOBBIE, P. M., VEENVLIET, B. A., MANLEY, T. R., PITCHFORD, W. S., KRUK, Z. A., BOTTEMA, C. D., and WILSON, T.: Genotypic effects of calpain 1 and calpastatin on the tenderness of cooked M. longissimus dorsi steaks from Jersey x Limousin, Angus and Hereford-cross cattle. *Anim. Genet.* 37, 411–414 (2006)
- MULDER, H. A., VEERKAMP, R. F., DUCRO, B. J., VAN ARENDONK, J. A., and BIJMA, P.: Optimization of dairy cattle breeding programs for different environments with genotype by environment interaction. *J. Dairy Sci.* 89, 1740–1752 (2006)
- NAUTA, W. J., VEERKAMP, R. F., BRASCAMP, E. W., and BOVENHUIS, H.: Genotype by environment interaction for milk production traits between organic and conventional dairy cattle production in The Netherlands. *J. Dairy Sci.* 89, 2729–2737 (2006)
- NICHOLAS, F. W.: Online Mendelian Inheritance in Animals (OMIA): a comparative knowledgebase of genetic disorders and other familial traits in non-laboratory animals. *Nucleic Acids Res.* 31, 275–277 (2003)
- OKA, A., IWAKI, F., DOHGO, T., OHTAGAKI, S., NODA, M., SHIOZAKI, T., ENDOH, O., and OZAKI, M.: Genetic effects on fatty acid composition of carcass fat of Japanese Black Wagyu steers. *J. Anim. Sci.* 80, 1005–1011 (2002)
- PICKRELL, J. A., HEBER, A. J., MURPHY, J. P., HENRY, S. C., MAY, M. M., NOLAN, D., GEARHART, S. K., CEDERBERG, B. L., OEHME, F. W., and SCHONEWEIS, D.: Total and respirable dust in swine confinement buildings: the benefit of respiratory protective masks and effect of recirculated air. *Vet. Hum. Toxicol.* 37, 430–435 (1995)
- ROCHA, J. L., POMP, D., and VAN VLECK, L. D.: QTL analysis in livestock. *Methods Mol. Biol.* 195, 311–346 (2002)
- RODEHUTSCORD, M., ABEL, H. J., FRIEDT, W., WENK, C., FLACHOWSKY, G., AHLGRIMM, H. J., JOHNKE, B., KUHLE, R., and BREVES, G.: Consequences of the ban of by-products from terrestrial animals in livestock feeding in Germany and the European Union: alternatives, nutrient and energy cycles, plant production, and economic aspects. *Arch. Tierernähr.* 56, 67–91 (2002)
- RODGERS, B. D., and GARIKIPATI, D. K.: Clinical, agricultural, and evolutionary biology of myostatin: a comparative review. *Endocr. Rev.* 29, 513–534 (2008)
- ROHRER, G. A., ALEXANDER, L. J., KEELE, J. W., SMITH, T. P., and BEATTIE, C. W.: A microsatellite linkage map of the porcine genome. *Genetics* 136, 231–245 (1994)
- ROSSIDES, S.: Meat and bone meal still used in animal feed. *Nature* 414, 147 (2001)
- SAMKOVA, M.: [Filling of drugs into gelatine capsules in pharmacies]. *Cesk. Farm.* 18, 262–266 (1969)
- SCHMOELZL, S., LEEB, T., BRINKMEIER, H., BREM, G., and BREINIG, B.: Regulation of tissue-specific expression of the skeletal muscle ryanodine receptor gene. *J. Biol. Chem.* 271, 4763–4769 (1996)
- SCHRIEBER, R., and SEYBOLD, U.: Gelatine production, the six steps to maximum safety. *Dev. Biol. Stand.* 80, 195–198 (1993)
- SCHULTZ, S. T., and WILLIS, J. H.: Individual variation in inbreeding depression: the roles of inbreeding history and mutation. *Genetics* 141, 1209–1223 (1995)
- SCHUTZ, E., SCHARFENSTEIN, M., and BREINIG, B.: Implication of complex vertebral malformation and bovine leukocyte adhesion deficiency DNA-based testing on disease frequency in the Holstein population. *J. Dairy Sci.* 91, 4854–4859 (2008)
- SCHWERMER, H., and HEIM, D.: Cases of bovine spongiform encephalopathy born in Switzerland before and after the ban on the use of bovine specified risk material in feed. *Vet. Rec.* 160, 73–77 (2007)

- SHAFQAT, S., KAMAL, A. K., and WASAY, M.: Heparin in the treatment of cerebral venous thrombosis. *J. Pak. Med. Assoc.* 56, 541–543 (2006)
- SMARAGDOV, M. G.: [Genetic mapping of loci responsible for milk quality parameters in dairy cattle]. *Genetika* 42, 5–21 (2006)
- SOLOMON, M. B.: Effect of animal production on meat quality. *Adv. Exp. Med. Biol.* 542, 1–23 (2004)
- SOLOMON, R. E., and JOHNSTON, C. S.: Production of red meat should be curbed in order to conserve natural resources. *J. Amer. Diet. Assoc.* 97, 1249 (1997)
- SPELMAN, R. J., and BOVENHUIS, H.: Moving from QTL experimental results to the utilization of QTL in breeding programmes. *Anim. Genet.* 29, 77–84 (1998)
- SUGISAWA, K., KANEKO, T., SAGO, T., and SATO, T.: Rapid quantitative analysis of magnesium stearate in pharmaceutical powders and solid dosage forms by atomic absorption: Method development and application in product manufacturing. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 49, 858–861 (2009)
- SUZUKI, K., IRIE, M., KADOWAKI, H., SHIBATA, T., KUMAGAI, M., and NISHIDA, A.: Genetic parameter estimates of meat quality traits in Duroc pigs selected for average daily gain, longissimus muscle area, backfat thickness, and intramuscular fat content. *J. Anim. Sci.* 83, 2058–2065 (2005)
- TEODORO, R. L., and MADALENA, F. E.: Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x Holstein-Friesian/Gir dams. 2. Female liveweights. *Genet. Mol. Res.* 1, 25–31 (2002)
- TEODORO, R. L., and MADALENA, F. E.: Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x Holstein-Friesian/Gir dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. *Genet. Mol. Res.* 4, 84–93 (2005)
- TESTONI, S., DIANA, A., OLZI, E., and GENTILE, A.: Brachyspina syndrome in two Holstein calves. *Vet. J.* 177, 144–146 (2008)
- TOLDRA, F., RUBIO, M. A., NAVARRO, J. L., and CABRERIZO, L.: Quality aspects of pork meat and its nutritional impact. *Adv. Exp. Med. Biol.* 542, 25–31 (2004)
- URLINGS, H. A., VAN LOGTESTIJN, J. G., and BIJKER, P. G.: Slaughter by-products: problems, preliminary research and possible solutions. *Vet. Q.* 14, 34–38 (1992)
- VAN EENENNAAM, A. L., LI, J., THALLMAN, R. M., QUAAS, R. L., DIKEMAN, M. E., GILL, C. A., FRANKE, D. E., and THOMAS, M. G.: Validation of commercial DNA tests for quantitative beef quality traits. *J. Anim. Sci.* 85, 891–900 (2007)
- VELLE, W.: A history of hormones and their use in veterinary medicine and animal production. *Acta Vet. Scand. Suppl.* 96, 1–158 (2002)
- VILLARROEL, M., MARIA, G., SANUDO, C., GARCIA-BELENQUER, S., CHACON, G., and GEBRE-SENBET, G.: Effect of commercial transport in Spain on cattle welfare and meat quality. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.* 110, 105–107 (2003)
- VOGELI, P., MEIJERINK, E., FRIES, R., NEUENSCHWANDER, S., VORLANDER, N., STRANZINGER, G., and BERTSCHINGER, H. U.: [A molecular test for the detection of *E. coli* F18 receptors: a breakthrough in the struggle against edema disease and post-weaning diarrhea in swine]. *Schweiz Arch. Tierheilkd.* 139, 479–484 (1997)
- WALSH, F. S., and CELESTE, A. J.: Myostatin: a modulator of skeletal-muscle stem cells. *Biochem. Soc. Trans.* 33, 1513–1517 (2005)
- WANG, J., HILL, W. G., CHARLESWORTH, D., and CHARLESWORTH, B.: Dynamics of inbreeding depression due to deleterious mutations in small populations: mutation parameters and inbreeding rate. *Genet. Res.* 74, 165–178 (1999)
- WEN, G., LEEB, T., REINHART, B., SCHMOELZL, S., and BREINIG, B.: The porcine skeletal muscle ryanodine receptor gene structure coding region 1 to 10614 harbouring 71 exons. *Anim. Genet.* 27, 297–304 (1996)

Prof. Dr. Bertram BREINIG
Tierärztliches Institut
Burckhardtweg 2
37077 Göttingen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 551 393383
Fax: +49 551 393392
E-Mail: bbreinig@gwdg.de

Altern in Deutschland

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina und die Deutsche Akademie für Technikwissenschaften acatech gründeten im Mai 2005 eine gemeinsame interdisziplinäre Akademiengruppe „Altern in Deutschland“, die auf der Grundlage der besten verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz öffentliche Empfehlungen erarbeitete, um die Chancen der im letzten Jahrhundert erheblich gestiegenen Lebenserwartung – die „gewonnenen Jahre“ – vernünftig zu nutzen und mit den Herausforderungen des demographischen Alterns klug umzugehen.

Nova Acta Leopoldina N. F.

Bd. 99, Nr. 363 – Altern in Deutschland Band 1

Bilder des Alterns im Wandel

Herausgegeben von Josef EHMER und Otfried HÖFFE unter Mitarbeit von Dirk BRANTL und Werner LAUSECKER

(2009, 244 Seiten, 32 Abbildungen, 1 Tabelle, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2542-3)

Bd. 100, Nr. 364 – Altern in Deutschland Band 2

Altern, Bildung und lebenslanges Lernen

Herausgegeben von Ursula M. STAUDINGER und Heike HEIDEMEIER

(2009, 279 Seiten, 35 Abbildungen, 9 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2543-0)

Bd. 101, Nr. 365 – Altern in Deutschland Band 3

Altern, Arbeit und Betrieb

Herausgegeben von Uschi BACKES-GELLNER und Stephan VEEN

(2009, 157 Seiten, 29 Abbildungen, 20 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2544-7)

Bd. 102, Nr. 366 – Altern in Deutschland Band 4

Produktivität in alternden Gesellschaften

Herausgegeben von Axel BÖRSCH-SUPAN, Marcel ERLINGHAGEN, Karsten HANK, Hendrik JÜRGES und Gert G. WAGNER

(2009, 157 Seiten, 28 Abbildungen, 2 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2545-4)

Bd. 103, Nr. 367 – Altern in Deutschland Band 5

Altern in Gemeinde und Region

Stephan BEETZ, Bernhard MÜLLER, Klaus J. BECKMANN und Reinhard F. HÜTTL

(2009, 210 Seiten, 10 Abbildungen, 11 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2546-1)

Bd. 104, Nr. 368 – Altern in Deutschland Band 6 (in Vorbereitung)

Altern und Technik

Herausgegeben von Ulman LINDENBERGER, Jürgen NEHMER, Elisabeth STEINHAGEN-THIESSEN, Julia DELIUS und Michael SCHELLENBACH

Bd. 105, Nr. 369 – Altern in Deutschland Band 7

Altern und Gesundheit

Herausgegeben von Kurt KOCHSIEK

(2009, 302 Seiten, 46 Abbildungen, 18 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2548-5)

Bd. 106, Nr. 370 – Altern in Deutschland Band 8

Altern: Familie, Zivilgesellschaft, Politik

Herausgegeben von Jürgen KOCKA, Martin KOHLI und Wolfgang STRECK unter Mitarbeit von Kai BRAUER und Anna K. SKARPELIS

(2009, 343 Seiten, 44 Abbildungen, 9 Tabellen, 24,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2549-2)

Bd. 107, Nr. 371 (2009) – Altern in Deutschland Band 9

Gewonnene Jahre. Empfehlungen der Akademiengruppe Altern in Deutschland

(2009, 102 Seiten, 1 Abbildung, 12,00 Euro, ISBN: 978-3-8047-2550-8)

Risiken

Möglichkeiten und Grenzen der Ernährungsprävention

Ingrid KIEFER und Bettina MEIDLINGER (Wien)

Mit 2 Abbildungen und 6 Tabellen

Zusammenfassung

Ziele der ernährungsbezogenen Prävention sind u. a. die ernährungsassoziierten Erkrankungen zu verhüten sowie Krankheitsrisiken zu reduzieren, aber auch vorzeitige Todesfälle zu vermeiden und Behinderungen vorzubeugen. Ernährungsassoziierte Erkrankungen mit mehr oder weniger multifaktorieller Genese sind in Österreich eine wesentliche Ursache für Morbidität und Mortalität. Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen sind für 69 % der Todesfälle verantwortlich. Hauptrisikofaktoren für Erkrankungen und Tod sind neben einem erhöhten Blutdruck auch Tabak- und Alkoholkonsum, erhöhte Blutcholesterinspiegel, Übergewicht sowie ein niedriger Obst- und Gemüsekonsum und geringe körperliche Aktivität. Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gehen davon aus, dass etwa 41 % der verlorenen gesunden Lebensjahre auf Erkrankungen zurückzuführen sind, bei deren Entwicklung die Ernährungsweise eine wesentliche Rolle spielt. Bessere Ernährungsgewohnheiten könnten weiteren Schätzungen zufolge beispielsweise rund ein Drittel der kardiovaskulären Erkrankungen und ein Drittel aller Krebssterbefälle verhüten. Aufgabe der ernährungsbezogenen Prävention ist es, die Diskrepanz zwischen der tatsächlichen Nährstoffaufnahme und den Anforderungen der Ernährungswissenschaft zu verringern. Für die Umsetzung präventiver Ernährungsempfehlungen ist es wichtig, dass sie leicht verständlich und in den Alltag integrierbar sind. Die Ernährungsprävention ermöglicht nicht nur die Optimierung der Makro- und Mikronährstoffzufuhr und dadurch das Risiko für durch die Ernährung mitbedingte Erkrankungen zu senken, sondern auch das Ernährungsverhalten langfristig zu verändern.

Abstract

There are various aims and objectives in prevention through nutritional interventions. The main targets are to reduce nutrition related diseases and health risks and to prevent premature deaths in the target population. In Austria nutrition related diseases caused by multifactorial genesis are the main reasons for increased morbidity and mortality rates. Coronary heart disease and cancer are responsible for 69 % of all fatal casualties. Main risk factors for premature deaths and illness are, beside high blood pressure, tobacco- and alcohol consumption, overweight, low fruit and vegetable intake and low physical activity. The World Health Organisation (WHO) estimates that 41 % of disability adjusted life years relate to illness caused by poor diet. Improvements in the population's nutrition could possibly improve coronary heart disease and cancer rates per one third. The main objective of nutritional prevention is to reduce the gap between the real intake of nutrients and the recommendations of nutritional sciences. It is important to produce health messages that are easy to understand and put into practice in order to implement recommendations that actually work in terms of prevention. Nutritional prevention enables an optimized intake of macro- and micronutrients and hence reduces the prevalence of nutrition related diseases. Moreover, there is potential to influence the nutrition related behaviour in the long term.

1. Einleitung

Prävention bezeichnet alle medizinischen und sozialen Anstrengungen, die Gesundheit zu fördern (*health promotion*) und Krankheiten und Unfälle sowie deren Folgen zu verhüten. Unter

dem Begriff Prävention werden aber auch Maßnahmen, die das Fortschreiten einer Krankheit verhindern oder verlangsamen bzw. Rezidive verhindern sollen, zusammengefasst.

Die Notwendigkeit der ernährungsbezogenen Prävention ergibt sich aus der Zunahme ernährungsmitbedingter Krankheiten und der daraus resultierenden Kosten. In allen Industriestaaten sind ernährungsassoziierte Krankheiten, wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, einige Krebserkrankungen, Diabetes mellitus, chronische Erkrankungen der Leber und anderer Verdauungsorgane, wesentliche Ursache für Morbidität und Mortalität.

2. Präventives Potential der Ernährung

Laut Schätzungen der WHO entfielen in Europa im Jahr 2000 41 % der verlorenen gesunden Lebensjahre auf Erkrankungen, bei deren Genese die Ernährung eine *bedeutende Rolle* und bei weiteren 38 % *eine Rolle* spielt. Insbesondere Herz-Kreislauf-Erkrankungen (61 %), Krebserkrankungen (32 %) und Diabetes mellitus (5 %) rauben den Europäerinnen und Europäern ihre Jahre in Gesundheit (WHO 2003).

Eine Analyse des schwedischen Instituts für öffentliche Gesundheit ergab, dass in der Europäischen Gemeinschaft 4,5 % der Krankheitslast (DALY's = *disability adjusted life years*¹) auf eine inadäquate Ernährung zurückzuführen ist. Auf Adipositas entfallen 3,7 % und auf Bewegungsmangel 1,4 % der Krankheitslast. Auf Tabakkonsum sind weitere 9 % zurückzuführen (Kommission der Europäischen Gemeinschaft 2005).

Die wichtigsten Hauptrisikofaktoren für Erkrankungen und Tod sind neben erhöhtem Blutdruck, auch Tabakkonsum, Alkoholkonsum, hoher Blutcholesterinspiegel, Übergewicht, niedriger Obst- und Gemüsekonsum sowie körperliche Inaktivität (Abb. 1). Maßnahmen gegen diese sieben wichtigsten Risikofaktoren könnten ernährungs- bzw. lebensstilbasierte Erkrankungen weitgehend verhüten (WHO 2005).

2.1 Präventives Potential am Beispiel Obst und Gemüse

Schätzungen der WHO zufolge kommt es beispielsweise aufgrund des geringen Obst- und Gemüsekonsums in der Europäischen Region zu rund 18 % der Krebserkrankungen des Verdauungstraktes, zu 28 % der ischämischen Herzerkrankungen und zu 18 % der Schlaganfälle (WHO 2006).

Der Konsum von Obst und Gemüse mindert mit überzeugender Evidenz das Risiko für Hypertonie, koronare Herzerkrankungen und Schlaganfall und wahrscheinlich auch das Risiko für bestimmte Krebserkrankungen (Tab. 1) (DGE 2007). Metaanalysen zeigen zum Beispiel, dass pro Portion Obst und Gemüse das Risiko für koronare Herzerkrankungen um 4 % und das Risiko für Schlaganfall um 5 % sinkt. Ein noch höheres präventives Potential ergibt die alleinige Betrachtung des Obstverzehrs. Pro Portion Obst ist eine Risikosenkung für koronare Herzerkrankungen um 7 % und für Schlaganfall um 11 % ermittelbar (DAUCHET et al. 2005, 2006).

¹ DALYs for a disease or health condition are calculated as the sum of the years of life lost due to premature mortality (YLL) in the population and the years lost due to disability (YLD) for incident cases of the health condition (WHO).

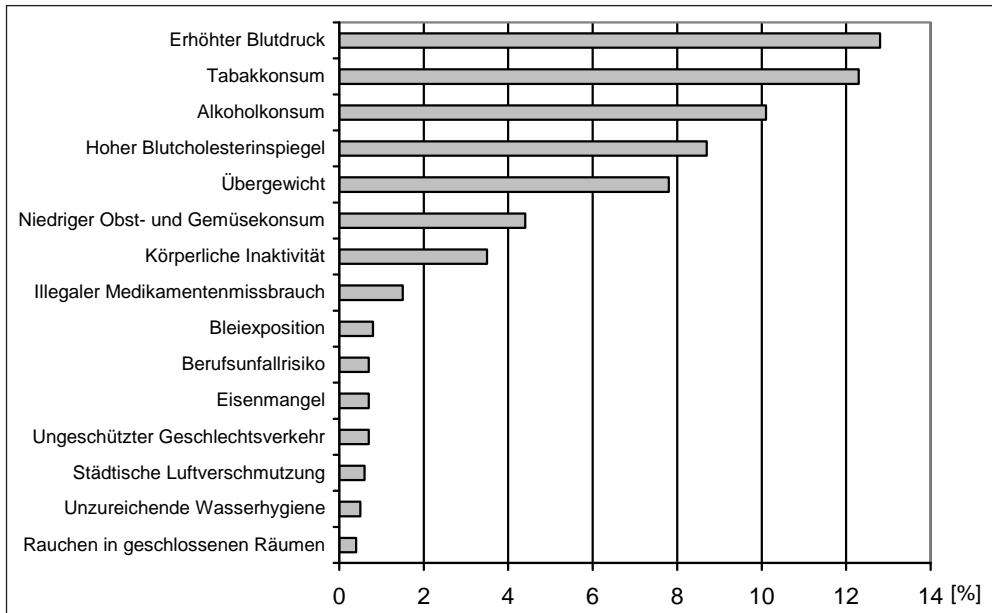


Abb. 1 Anteil der 15 Hauptrisikofaktoren an Krankheit und Tod (in % der gesamten Krankheitslast [total DALY]) in der Europäischen Region (WHO 2005)

Tab. 1 Einfluss von Obst- und Gemüseverzehr auf die Prävention ausgewählter chronischer Erkrankungen nach Evidenzklassen (modifiziert nach DGE 2007)

Datenlage	Vermindertes Risiko		
	Obst und Gemüse	Obst	Gemüse
überzeugend	Hypertonie Koronare Herzerkrankung Schlaganfall		
wahrscheinlich	Krebs (Speiseröhre)	Krebs (Magen, Dick- und Mastdarm, Lunge)	
möglich	Adipositas Krebs (Mundhöhle, Rachen, Kehlkopf, Niere, Dick- und Mastdarm) Rheumatoide Arthritis Chronische obstruktive Lungenerkrankung Asthma Osteoporose Demenz Augenerkrankungen (Makuladegeneration, Katarakt)	Krebs (Harnblase)	Krebs (Magen, Lunge, Eierstock)

3. Epidemiologie ausgewählter ernährungsassoziierter Erkrankungen

In Österreich stellen neuropsychiatrische Erkrankungen sowohl für Frauen als auch für Männer die häufigste Behinderungskategorie, gemessen in DALYs dar. Neben den neuropsychiatrischen Erkrankungen spielen aber vor allem auch Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen bei den gesundheitlichen Belastungen eine wesentliche Rolle (Tab. 2) (WHO 2004).

Tab. 2 Die zehn häufigsten Kategorien von Behinderung als Prozentsatz der Gesamt-DALYs für beide Geschlechter in Österreich (WHO 2004)

Rang	Männer	Frauen	Prozentsatz der Gesamt-DALYs	Behinderungskategorien	Prozentsatz der Gesamt-DALYs
	Behinderungskategorien				
1	Neuropsychiatrische Erkrankungen	26,0	Neuropsychiatrische Erkrankungen	30,8	
2	Herz-Kreislauf-Erkrankungen	20,0	Herz-Kreislauf-Erkrankungen	18,8	
3	Krebs	15,4	Krebs	15,5	
4	Unfallverletzungen	8,5	Sinnesorgan-Erkrankungen	5,4	
5	Krankheiten des Verdauungssystems	5,2	Muskel-Skelett-Erkrankungen	5,4	
6	Atemwegserkrankungen	4,7	Atemwegserkrankungen	5,2	
7	Sinnesorgan-Erkrankungen	4,5	Krankheiten des Verdauungssystems	4,2	
8	Vorsätzliche Verletzungen	4,1	Unfallverletzungen	3,4	
9	Muskel-Skelett-Erkrankungen	3,3	Vorsätzliche Verletzungen	1,8	
10	Diabetes mellitus	1,5	Diabetes mellitus	1,7	

Insgesamt verstarben in Österreich im Jahr 2007 74625 Personen, davon 53% Frauen und 47% Männer. Die größten Anteile an der Gesamtsterblichkeit sind vor allem auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit einem Anteil von 44%, gefolgt von Krebserkrankungen mit 25% zurückzuführen. Insgesamt ist der Anteil an Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei Frauen höher als bei Männern und der Anteil an Krebserkrankungen geringer (Abb. 2) (Statistik Austria 2008).

Die Todesursachen sind aber auch altersabhängig. Während im Alter von 40 bis 69 Jahren Krebserkrankungen dominieren, ist der Großteil der Todesfälle bei Personen ab einem Alter von 70 Jahren auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen zurückzuführen (Tab. 3) (Statistik Austria 2008).

Innerhalb der Krebserkrankungen ist bei den Männern die Mortalität für Kehlkopf-, Luftröhren-, Bronchien- und Lungenkrebs, gefolgt von Prostatakrebs und Darmkrebs am höchsten. Bei den Frauen ist Brustkrebs, gefolgt von Kehlkopf-, Luftröhren-, Bronchien- und Lungenkrebs für die meisten Todesfälle innerhalb der Krebserkrankungen verantwortlich (Statistik Austria 2008).

Die Prävalenz für Übergewicht und Adipositas hat – entsprechend dem internationalen Trend – auch in Österreich zugenommen. Während im Jahr 1991 die Prävalenz für Adipositas in Österreich bei 8,5% lag (Statistisches Zentralamt 1991), waren im Jahr 2006/2007 bereits 13,1% adipös (Statistik Austria 2007). Dies entspricht einer Zunahme der Adiposi-

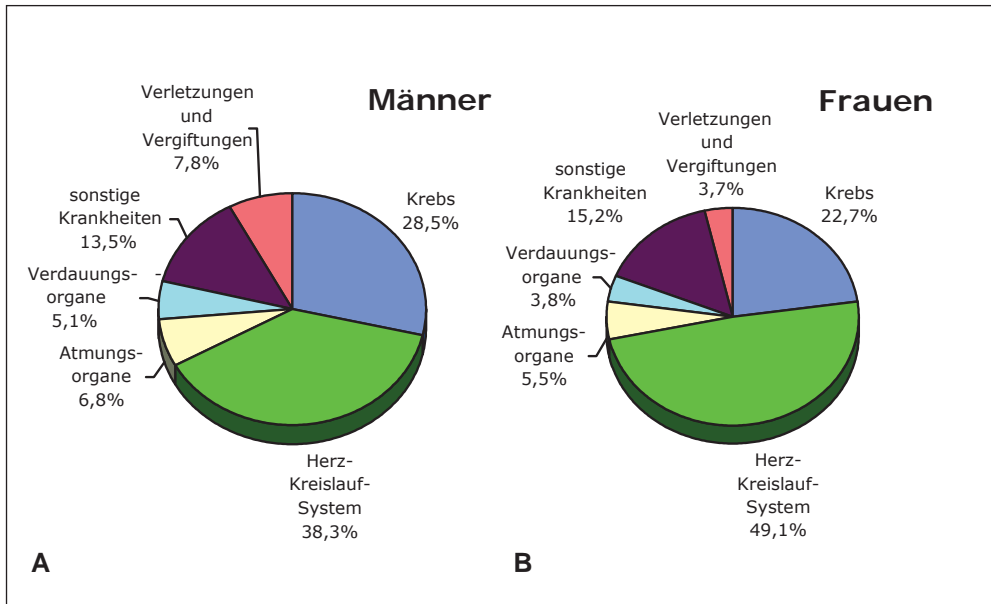


Abb. 2 Todesursachen 2007 bei Männern (A) und Frauen (B) in Österreich (Statistik Austria 2008)

Tab. 3 Die drei häufigsten Todesursachen in Österreich im Jahr 2007, getrennt nach Alter (Statistik Austria 2008)

Alter	Drei häufigste Todesursachen ^[1]		
	1.	2.	3.
20 bis 29 Jahre	Unfälle (62,8%)	Selbstmord (23,2%)	Drogenmissbrauch (12,2%)
30 bis 39 Jahre	Unfälle (42,1%)	Krebs (17,9%)	Selbstmord (17,5%)
40 bis 49 Jahre	Krebs (34,0%)	Herz-Kreislauf-Krankheiten (17,8%)	Krankheiten der Verdauungsorgane (10,0%)
50 bis 59 Jahre	Krebs (43,0%)	Herz-Kreislauf-Krankheiten (20,6%)	Unfälle (10,3%)
60 bis 69 Jahre	Krebs (43,8%)	Herz-Kreislauf-Krankheiten (25,1%)	Krankheiten der Verdauungsorgane (7,2%)
70 bis 79 Jahre	Herz-Kreislauf-Krankheiten (39,6%)	Krebs (32,6%)	Krankheiten der Atmungsorgane (6,5%)
80 bis 89 Jahre	Herz-Kreislauf-Krankheiten (54,0%)	Krebs (18,7%)	Krankheiten der Atmungsorgane (6,9%)
≥ 90 Jahre	Herz-Kreislauf-Krankheiten (65,3%)	Krebs (8,3%)	Krankheiten der Atmungsorgane (7,3%)

[1] in % der jeweiligen Altersgruppe bezogen auf die Gesamttodesfälle in Österreich im Jahr 2007

tasprävalenz um 54 % innerhalb dieses Zeitraumes. Für die Zukunft wird ein weiterer Anstieg der Adipositasprävalenz prognostiziert. Bei gleich bleibender Geschwindigkeit wird im Jahr 2040 die Hälfte der Erwachsenen einen BMI > 30 kg/m² aufweisen. Auch bei Kindern steigt die Prävalenz für Übergewicht um 1 % pro Jahr an (KIEFER et al. 2006).

Daten der *Framingham Heart Study* zeigen, dass Übergewicht und Adipositas einen großen Einfluss auf die Lebenserwartung haben. So haben 40-jährige Nichtraucherinnen eine um 3,3 Jahre und 40-jährige Nichtraucher eine um 3,1 Jahre kürzere Lebenserwartung, wenn sie übergewichtig sind. Bei adipösen 40-jährigen Nichtraucherinnen verringert sich die Lebenserwartung um 7,0 Jahre und bei den Nichtrauchern um 5,8 Jahre (PEETERS et al. 2003).

Die Prävalenz für Diabetes mellitus lag in Österreich im Jahr 2000 Schätzungen der WHO zufolge bei Erwachsenen (ab 20 Jahren) bei 2,1 % (130 000 Diabetikerinnen und Diabetiker). Mehr als die Hälfte der Diabetikerinnen und Diabetiker (53 %) war dabei 65 Jahre und älter. Für das Jahr 2025 wurde geschätzt, dass die Prävalenz für Diabetes auf 2,7 % ansteigen wird (RIEDER et al. 2004).

Eine Gesundheitsbefragung im Jahr 2006/2007, die auf selbstberichteten Angaben beruht, ergab, dass österreichweit sogar 390 000 Personen ab einem Alter von 15 Jahren an Diabetes mellitus leiden könnten (*Statistik Austria* 2007).

Demenzkrankungen nehmen in Österreich ebenfalls zu. Während im Jahr 2000 rund 90 500 Personen an Demenz litten, wird für das Jahr 2050 eine Zahl von 233 800 Personen prognostiziert. Die Inzidenz und Prävalenz steigt mit dem Alter an (WANCATA 2002).

In den nächsten Jahren und Jahrzehnten könnte es – bedingt durch die Zunahme der Prävalenz der Adipositas, des Metabolischen Syndroms und des Typ-II-Diabetes in der Bevölkerung – wieder zu einem allgemeinen Anstieg der Mortalität kommen. Weiterhin kann auch die höhere Prävalenz der Raucherinnen im Vergleich mit der Situation vor dreißig Jahren mit dazu beitragen (KIEFER et al. 2003).

Schätzungen der WHO gehen davon aus, dass chronische Erkrankungen im Jahr 2020 für mehr als drei Viertel aller Todesfälle in den Industriestaaten verantwortlich sein könnten, wenn es zu keiner Ernährungsumstellung kommt (WHO 2003). Weiteren Schätzungen zufolge könnten jedoch durch bessere Ernährungsgewohnheiten rund ein Drittel der kardiovaskulären Erkrankungen und ein Drittel aller Krebssterbefälle verhütet werden (WHO 2006).

4. Risiko- und Schutzfaktoren am Beispiel Darmkrebs

Eine Auswertung von annähernd 7000 Studien im Rahmen des 2. Expertenberichts des WCFR (*World Cancer Research Fund*) hat gezeigt, dass neben der Ernährung auch die Bewegung und das Körpergewicht einen maßgeblichen Einfluss auf das Krebsrisiko haben. Risikofaktoren mit überzeugender Evidenz auf das Darmkrebsrisiko sind u. a. rotes Fleisch, Fleischprodukte, alkoholische Getränke bei Männern sowie Körperfett und abdominelles Fett. Zu den Schutzfaktoren mit wahrscheinlicher Evidenz zählen neben ballaststoffhaltigen Lebensmitteln auch Knoblauch, Milch und Calcium. Eine überzeugende Evidenz liegt für körperliche Aktivität vor (Tab. 4; WCRF 2007, KIEFER und WOLF 2007).

Generell hat sich für den Zusammenhang von Ernährungseinflüssen und der Evidenz auf das Krebsrisiko gezeigt, dass der Zusammenhang für Lebensmittel überzeugender ist als für einzelne Nährstoffe bzw. Nahrungsbestandteile (KIEFER und WOLF 2007).

Tab. 4 Risiko- und Schutzfaktoren für Darmkrebs (Kolon und Rektum) (KIEFER und WOLF 2007 nach WCRF 2007)

Risikofaktoren		Schutzfaktoren	
Rotes Fleisch	▲▲▲	Körperliche Aktivität (nur Kolon)	▼▼▼
Fleischprodukte	▲▲▲	Ballaststoff-haltige Lebensmittel	▼▼
Alkoholische Getränke (Männer)	▲▲▲	Knoblauch	▼▼
Alkoholische Getränke (Frauen)	▲▲	Milch	▼▼
Körperfett	▲▲▲	Calcium	▼▼
Abdominelles Fett	▲▲▲	Nicht-stärkehaltiges Gemüse	▼
Eisenhaltige Lebensmittel	▲	Obst	▼
Käse	▲	Folathaltige Lebensmittel	▼
Lebensmittel, die tierische Fette enthalten	▲	Selenhaltige Lebensmittel	▼
Zuckerhaltige Lebensmittel	▲	Fisch	▼
		Vitamin D-haltige Lebensmittel	▼

Überzeugende Evidenz = Risiko erhöhend ▲▲▲ Risiko senkend ▼▼▼

Wahrscheinliche Evidenz = Risiko erhöhend ▲▲ Risiko senkend ▼▼

Limitierte Evidenz = Risiko erhöhend ▲ Risiko senkend ▼

5. Aufgaben und Ziele der ernährungsbezogenen Prävention

Die grundlegende Aufgabe der ernährungsbezogenen Prävention besteht darin, die Diskrepanz zwischen der tatsächlichen Nährstoffaufnahme und den Anforderungen der Ernährungswissenschaft zu verringern, beziehungsweise ein gesundheitsgerechtes Ernährungsverhalten zu fördern. Ernährungsbezogene Prävention beinhaltet alle individuumsbezogenen Handlungsweisen und strukturellen Maßnahmen, welche der Förderung einer gesunden Ernährung dienen.

Die ernährungsbezogene Prävention hat zum Ziel, u. a. die ernährungsassoziierten Krankheiten zu verhüten, die Krankheitsrisiken zu reduzieren, aber auch vorzeitige Todesfälle zu vermeiden und Behinderungen vorzubeugen. Weitere Ziele sind die Arbeitsfähigkeit zu erhalten, Frühverrentung zu verhindern, aber auch chronische Krankheiten zu vermeiden bzw. ins höhere Alter zu verschieben. Die Erhöhung der behinderungsfreien Lebenserwartung sowie die Steigerung der Lebensqualität sind ebenfalls bedeutende Ziele der ernährungsbezogenen Prävention.

Laut der These der Kompression der Morbidität (FRIES et al. 1980, 1989) kann davon ausgegangen werden, dass chronische Erkrankungen später im Leben auftreten, da aufgrund der besseren Ernährung und lebenslanger Gesundheitsvorsorge die Menschen länger gesund bleiben. Das spätere Auftreten chronisch-degenerativer Krankheiten führt, gemäß dieser These, zu einer Verkürzung der in Krankheit verbrachten Lebenszeit.

Ziele der Ernährungsprävention sind neben einer angepassten Energiezufuhr auch die Reduktion der Fettaufnahme, insbesondere der gesättigten Fettsäuren und der Trans-Fettsäuren, sowie eine Erhöhung der Zufuhr an komplexen Kohlenhydraten und Ballaststoffen. Auch die ausreichende Zufuhr an Vitaminen und Mineralstoffen ist von wesentlicher Bedeutung.

Ein Vergleich der Energie- und Makronährstoffaufnahme der österreichischen Bevölkerung im Alter von 18 bis 64 Jahren mit den D-A-CH-Referenzwerten (2008) für die Nährstoffzufuhr zeigt, dass die Aufnahme an Kohlenhydraten und Ballaststoffen zu gering und die Zufuhr an Fett und Cholesterin (bei Männern) zu hoch ist (Tab. 5; ELMADFA et al. 2008).

Tab. 5 Zufuhr an Energie und Makronährstoffen in der österreichischen Bevölkerung (bei 18- bis 64-Jährigen) (ELMADFA et al. 2008)

	D-A-CH	Frauen	Männer
Energie [Ms/d]	w 7,5–10,0 m 9,5–12,5	7,5	9,0
Eiweiß [E%]	10–15	15	17
Kohlenhydrate [E%]	> 50	46	43
Zucker [E%]	< 10 ^[1]	11	9
Ballaststoffe [g/d]	> 30	20	20
Fett [E%]	max. 30	37	37
gesättigte Fettsäuren [E%]	max. 10	15	14
einfach ungesättigte Fettsäuren [E%]	10–13	12	13
mehrfach ungesättigte Fettsäuren [E%]	7–10	8	8
Cholesterin [mg/d]	max. 300	283	352
Alkohol [E%]	–	1,3	3,4

[1] WHO 2003

6. Methoden der ernährungsbezogenen Prävention

Präventive *Ernährungsempfehlungen* sollten sich nicht nur auf die Prävention einer Erkrankung richten, sondern einheitlich für die Vorbeugung verschiedener Erkrankungen wie beispielsweise Krebs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder aber auch Übergewicht sein. Von der WHO/FAO wurden aus diesem Grund Vorschläge für lebensmittelbasierte Richtlinien erstellt (Tab. 6).

Tab. 6 WHO-Empfehlungen zur Nährstoffzufuhr und Bewegung (WHO 2003)

Energie	bedarfsgerecht Konsum von energiearmen, wasser-, ballaststoff- und nährstoffreichen Lebensmitteln ↑ Konsum von energiedichten (fett- und zuckerreichen) Lebensmitteln und Getränken ↓
Fett	total: 15 – 30 E% SAFA: < 10 E%; PUFA: 6 – 10 E%; MUFA: Differenz
Cholesterin	< 300 mg
Kohlenhydrate	55–75 E%; zugesetzte Zucker: < 10 E%
Ballaststoffe	> 25 g
Eiweiß	10–15 E%
Obst und Gemüse	400 g/Tag
Bewegung	mindestens 1 Stunde körperliche Aktivität moderater Intensität an den meisten Tagen der Woche

SAFA: gesättigte Fettsäuren, PUFA: mehrfach ungesättigte Fettsäuren, MUFA: einfach ungesättigte Fettsäuren

Es ist darauf hinzuweisen, dass ernährungsmitbedingte Krankheiten eine multifaktorielle Genese haben. Der Anteil der Ernährung unter den anderen Einflussfaktoren lässt sich nur schwer feststellen und quantifizieren. Zur Abschätzung des von der Ernährung ausgehenden Präventionspotentials müssen für die jeweiligen ernährungsassoziierten Krankheiten sowohl die wissenschaftliche Evidenz als auch der quantitative Einfluss von verschiedenen Ernährungsfaktoren berücksichtigt werden. Die *Sammlung und Verarbeitung von epidemiologischen Daten zur ernährungswissenschaftlichen Risikobewertung* sind daher wesentlich und schaffen auch die Grundlagen für wirksame ernährungsbezogene Interventionen.

Neben der genetischen Disposition spielen in der Entwicklung bestimmter Krankheiten je nach Krankheitsart auch Tabakrauchen, Alkohol, Belastungen mit Schadstoffen aus der Umwelt sowie am Arbeitsplatz und körperliche Bewegung eine entscheidende Rolle. Wie aus aktuellen Studien hervorgeht, kann ein *gesünderer Lebensstil* die Mortalität verringern. Jene Personen, die nicht rauchen, täglich mindestens fünf Portionen Obst und Gemüse essen, täglich mindestens eine halbe Stunde Bewegung machen und nur einen moderaten Alkoholkonsum haben, weisen im Vergleich zu jenen Personen, die keinen dieser Faktoren beachten, eine um 14 Jahre längere Lebenserwartung auf (KHAW et al. 2008).

Für die Umsetzung der präventiven Ernährungsempfehlungen ist es wichtig, dass diese leicht verständlich und *in den Alltag integrierbar* sind. Die Zielvorgaben stammen aus der Medizin und Ernährungswissenschaft, die Umsetzung ist jedoch eine kommunikative, pädagogische und psychologische Aufgabe. Um die *Compliance* zu erhöhen, bedarf es strukturierter Maßnahmen, die die Selbstkontrolle und Eigenverantwortung fördern, die externen Reize kontrollieren, das Ernährungswissen realisieren, Verstärkungstechniken zur Anwendung bringen und kognitiv umstrukturieren.

Besonderes Augenmerk bedarf eine *zielgruppenspezifische Prävention*, da das Ernährungs- und Essverhalten u. a. vom Geschlecht, Alter, sozialen und psychologischen Einflüssen usw. abhängt. Nicht durch Verbote, sondern durch den richtigen Umgang mit Nahrungsmitteln kann langfristig ein gesundheitsförderliches Ernährungsverhalten erreicht werden, das eine ausreichende Zufuhr von Makro- und Mikronährstoffen garantiert und so zur Prävention von ernährungsassoziierten Erkrankungen wie beispielsweise Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes mellitus, diversen Krebserkrankungen und Adipositas beiträgt. Hier bedarf es der Förderung der individuellen Ernährungskompetenz. Dennoch muss ein Gleichgewicht zwischen der individuellen und der staatlich-gesellschaftlichen Verantwortung bestehen.

Die Ernährungsprävention bietet die Möglichkeit, nicht nur die Aufnahme von Makro- und Mikronährstoffen zu optimieren und damit das Risiko für ernährungsassoziierte Krankheiten zu minimieren, sondern auch die Einstellung zum Essen und auch die Befindlichkeit positiv zu beeinflussen, um so das Ernährungsverhalten langfristig zu verändern.

Literatur

- DAUCHET, L., AMOUYEL, P., and DALLONGEVILLE, J.: Fruit and vegetable consumption and risk of stroke: a meta-analysis of cohort studies. *Neurology* 65, 1193–1197 (2005)
- DAUCHET, L., AMOUYEL, P., HERCBERG, S., and DALLONGEVILLE, J.: Fruit and vegetable consumption and risk of coronary heart disease: a meta-analysis of cohort studies. *J. Nutr.* 136, 2588–2593 (2006)
- DGE (*Deutsche Gesellschaft für Ernährung*): Obst und Gemüse in der Prävention chronischer Krankheiten. Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Ernährung. *Ernährung* 9, 1410–1413 (2007)

- D-A-CH (*Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung* (D-A-CH): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau Braus. 1. Aufl. Frankfurt (Main) 2008
- ELMADFA, I., FREISLING, H., NOWAK, V., HOFSTÄDTER, D., et al.: Österreichischer Ernährungsbericht 2008. Wien: Institut für Ernährungswissenschaften 2008
- FRIES, J. F.: Ageing, natural death, and the compression of morbidity. *New Engl. J. Med.* 303, 130–135 (1980)
- FRIES, J. F., GREEN, L. W., and LEVINE, S.: Health promotion and the compression of morbidity. *Lancet* 1, 895 (1989)
- KHAW, K. T., WAREHAM, N., BINGHAM, S., WELCH, A., LUBEN, R., and DAY, N.: Combined impact of health behaviours and mortality in men and women: the EPIC-Norfolk prospective population study. *PLoS Med.* 5/1, e12 (2008)
- KIEFER, I., KUNZE, M., und RIEDER, A.: Ernährungsassoziierte Krankheiten und Mortalität. In: Österreichischer Ernährungsbericht 2003. Wien: Institut für Ernährungswissenschaften 2003
- KIEFER, I., RIEDER, A., RATHMANNER, T., MEIDLINGER, B., BARITSCH, C., LAWRENCE, K., DORNER, T., und KUNZE, M.: Erster Österreichischer Adipositasbericht. Hrsg. vom Verein Altern mit Zukunft (<http://www.alternmitzukunft.at>) 2006
- KIEFER, I., und WOLF, A.: Ernährung und Lebensstil in der Krebsprävention. *Journal für Ernährungsmedizin* 10/2, 6–14 (2008)
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Grünbuch „Förderung gesunder Ernährung und körperliche Bewegung: eine europäische Dimension zur Verhinderung von Übergewicht, Adipositas und chronische Krankheiten“.* 2005
- PEETERS, A., BARENDREGT, J. J., WILLEKENS, F., MACKENBACH, J. P., AL MAMUN, A., BONNEUX, L., and NEDCOM, the Netherlands Epidemiology and Demography Compression of Morbidity Research Group: Obesity in adulthood and its consequences for life expectancy: a life-table analysis. *Ann. Intern. Med.* 138, 24–32 (2003)
- RIEDER, A., RATHMANNER, T., KIEFER, I., DORNER, T., und KUNZE, M.: Österreichischer Diabetesbericht 2004. Hrsg. vom Verein Altern mit Zukunft (<http://www.alternmitzukunft.at>) 2004
- Statistik Austria: Die häufigsten Todesursachen in Österreich im Jahr 2007.* (Letzte Änderung 16. 6. 2008, <http://www.statistik.at>) (2008)
- Statistik Austria: Österreichische Gesundheitsbefragung 2006/2007. Hauptergebnisse und methodische Dokumentation* (im Auftrag von Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend). Wien 2007
- Statistik Austria: Todesursachen in Österreich im Jahr 2007.* (Download 16. 6. 2008, <http://www.statistik.at>) (2008)
- Statistisches Zentralamt: Prozentverteilung des Body-Mass-Index der Bevölkerung ab 20 Jahren. Mikrozensus 1991* (interne Mitteilung)
- WANCATA, J.: Die Epidemiologie der Demenzen. *Wiener Medizinische Wochenschrift* 152/3–4, 52–56 (2002)
- World Cancer Research Fund (WCRF)/American Institute for Cancer Research: Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective.* Washington DC, AICR, 2007
- World Health Organisation (WHO): Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint WHO/FAO expert consultation, January 28 – February 1, 2002, Geneva, World Health Organ Tech. Rep. Ser. 916, i–viii, 1–149* (2003)
- World Health Organisation (WHO): Europäische Charta zur Bekämpfung der Adipositas. Europäische Ministerkonferenz der WHO zur Bekämpfung der Adipositas. Ernährung und Bewegung für die Gesundheit.* Istanbul, November 2006
- World Health Organisation (WHO): Gesundheit im Schlaglicht: Österreich 2004.* http://www.euro.who.int/document/chh/aut_highlights_ger.pdf
- World Health Organisation (WHO): The European health report 2005. Public health action for healthier children and populations.* <http://www.euro.who.int/document/e87325.pdf>

Univ.-Doz. Mag. Dr. Ingrid KIEFER
Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
Kompetenzzentrum Ernährung & Prävention
Zimmermannngasse 3
A-1090 Wien
Österreich
Tel.: +43 505 5525000
E-Mail: Ingrid.Kiefer@ages.at

Poster

Die autochthonen Tierrassen Transsilvaniens (Siebenbürgen) und die globale Erwärmung

Marcel MATIUTI (Temeswar/Rumänien)

In Transsilvanien entstanden zahlreiche Tierrassen, deren Zahl stark zurückgegangen ist. Die globale Erwärmung führte zur Erhöhung der Bedeutung einiger autochthoner Tierrassen für die Züchter. Die langen und dünnen Sommer waren schuld, dass qualitativ schwache Weiden entstanden sind. Verwahrlosung der Weiden und nicht traditionelles Weiden (mehrere Tierarten auf derselben Weidefläche) führten dazu, dass schon im Juli die Weiden nicht mehr oder nur geringfügig nutzbar waren. Durch die globale Erwärmung traten in diesen Gebieten neue Pflanzenarten auf, die bis jetzt dort nicht heimisch waren. In einigen Gebieten Transsilvaniens begannen die Viehrassen Transsilvanische Pinzgau und Mocanita (die einzige Rassen die auf den armen Weiden der Hochgebirge gezüchtet werden können) sowie Braunes aus Maramures und Transsilvanisches Fleckvieh trotz offizieller aggressiver Propaganda gegen diese Rassen an Wert zu gewinnen.

Eine Spezies, die traditionell in Transsilvanien gezüchtet wird, ist der Büffel. In den letzten 18 Jahren verringerte sich die Zahl der Büffel von 80 000 (1991) auf 20–30 000 Tiere (2007). Der Hauptgrund dieser Verringerung der Zahl ist die Tatsache, dass die dünnen Sommer zum Verschwinden der Teiche, in denen die Büffel gebadet haben, geführt haben. Wie Rinder werden die Büffel auf Weiden ohne Schatten gehalten und nur morgens und abends getränkt.

Das Fehlen der hochqualitativen Weiden, des Futters und anderer wirtschaftliche Kriterien verursachten auch, dass die Schafsrace Tzurcana (das Valachische Schaf) jetzt die häufigste Rasse ist und die anderen Rassen aus Transsilvanien wie Tsigai, Zackelschaf, Transilvanisches Merino und Krauses Schaf des Banats (Waldschafe) überholt hat.

In Transsilvanien wird Schweinefleisch in Farmen mit Hybridschweinen produziert. Die bekannten wirtschaftlichen Vorteile gehen aber zu Lasten der Qualität des Fleisches. Einer der wichtigsten negativen Faktoren für die Qualität des Fleisches ist die Qualität des verarbeiteten Futters und die mangelhafte Hygiene. Eine Möglichkeit für die Verbesserung der Qualität des Fleisches wäre die Kreuzung mit den autochthonen Schweinerassen aus Transsilvanien wie Mangalitz, Bazna und Schwarze aus Strei. Nur wenige Menschen kennen noch die besonderen Qualitäten des Fleisches und Fettes dieser autochthonen Rassen.

Marcel Matiuti

Die globale Erwärmung und das Wachsen der Nachfrage nach traditionellen Produkten beginnen, die Erhaltung der autochthonen Rassen in Transsilvanien zu fördern.

Dr. Marcel MATIUTI
Medicina Veterinaria
Fakultät für Tiermedizin Temeswar
Calea Aradului nr. 119
300645 Timisoara
Rumänien

Schlusswort

Ulrich HERZOG (Wien)

Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend

Ich danke vielmals. Für mich waren diese zwei Tage in mehrerlei Hinsicht sehr interessant. Einerseits haben die Diskussionen gezeigt, in welchem Spannungsfeld das Thema Ernährung angesiedelt ist, und andererseits wurde deutlich, wie viele Aspekte auch heute noch unbeantwortet sind bzw. wie vielschichtig diese Fragestellungen ausfallen. Der gestrige Abend gab uns die Gelegenheit, von der Theorie in die Praxis zu wechseln. Wir konnten uns davon überzeugen, dass Ernährung essentiell ist und die heimische Küche auch noch genossen werden kann, obwohl so viel über richtige und gesunde Ernährungsweisen am Vortrag gesprochen wurde.

Ich kann heute einen weiteren Beitrag zu unserer Diskussion über die Wirksamkeit bzw. Möglichkeit der Einführung eines erhöhten Versicherungsbeitrages für Übergewichtige leisten. Ich kam gestern nach Hause – wir hatten uns für eine Zusatzversicherung angemeldet, um bei einem Spitalsaufenthalt unserer Kinder jene zusätzlich anfallenden Kosten, die durch die Begleitung eines Elternteils anfallen, refundiert zu bekommen, ebenso sind Kinderbetreuungskosten, die durch eine Krankheit eines Elternteils ausgelöst werden, versichert – und meine Frau sagte zu mir: „Wir haben einen Brief von der Versicherung bekommen.“ Der Brief der Versicherung hatte folgenden Inhalt: Die Versicherung hat meine Gesundheitsdaten ausgewertet und teilte mir mit, dass sie mich darauf hinweisen wolle, dass ich mit einem BMI von 40,3 in eine höhere Risikostufe falle und der monatliche Beitrag somit nicht 50 Euro, sondern 5 Euro mehr beträgt. Wenn ich mit einem ärztlichen Attest nachweise, dass der BMI wieder zwischen 30 und 20 ist, werden die 5 Euro dann reduziert. Wir haben 14 Tage Zeit, dieses Angebot zu unterschreiben.

Der Gedanke, Dicke sollten mehr Versicherungsbeitrag zahlen, ist nicht so weit her geholt und scheint im Bereich der Zusatzversicherungen ein absolut gängiges Modell. Diese Herausforderung werde ich nun einmal annehmen – und dann werden wir ja weitersehen. Wir haben sehr viel von der individuellen Ernährungssituation gesprochen. Ich persönlich beschäftige mich etwa seit meinem 20. Lebensjahr mit dieser Fragestellung. Vorher habe ich noch Sport getrieben. Seit dem 20. Lebensjahr, während des Studiums und dann durch die „sitzenden“ Tätigkeiten und die vielen Möglichkeiten, essen zu können, ist das Gewicht jährlich ein bisschen mehr geworden. Jetzt werden wir schauen, was in den nächsten 15 Jahren dabei herauskommt, wenn ich monatlich 5 Euro mehr zahlen darf – ob sich das als Anreiz, das Gewicht wieder zu reduzieren, auszahlt.

Ich habe auch gelernt, dass ich mich mit Bezug auf mein Übergewicht nicht auf die Genetik herausreden kann. Das wäre wohl zu einfach gewesen! Ich muss das zur Kenntnis nehmen. Spannend sind natürlich jene Angebote, die uns dank der modernen Technik zur Verfügung stehen. Ob es nun das Tamagotchi oder ähnliche Geräte sind, die einen – wie der eigene Hund – motivieren sollen, die Bewegungskurve zu verbessern. Oder die Genanalyse, die einem Aufschluss darüber gibt, was man essen soll und was nicht, wenngleich man dieses Wissen bereits in einschlägigen „Ernährungsbibeln“ nachlesen könnte. Wie sich diese Modelle in der Zukunft entwickeln werden, ist abzuwarten.

Tatsache ist, dass ungemein viel Wissen rund um das Thema Ernährung bereits generiert wurde. Spannend wird es, wenn man diese Erkenntnisse für sich selbst reflektiert. Ich arbeite in einem Umfeld, in dem sehr viel Wissen über gesundes Ernährungsverhalten, Sicherheit der Lebensmittel, Kennzeichnung, Lebensmittelinformationen und dergleichen gegeben ist. Ich darf mich damit beschäftigen, ob wir in einer Gesellschaft leben wollen, in der Lebensmittel rot, gelb oder grün gekennzeichnet werden sollen, damit der Verbraucher bereits nur das gesunde Lebensmittel aus dem Supermarktregal nehmen kann, ohne sich mit dem Produkt beschäftigen zu müssen. Ausgeklammert aus dieser Diskussion wird die individuelle Situation der Betroffenen. Kann und möchte jeder derart bevormundet werden? Der Genussfaktor wurde *bis dato* gänzlich außer Acht gelassen. Dieser macht es in der Regel aber eben leider nicht einfacher.

Wir müssen diese Diskussion weiterführen, wobei nicht davon auszugehen ist, dass es eine einfache schnelle Antwort auf die mit der Ernährung einhergehenden Fragen geben wird. Nicht umsonst existieren dazu auf allen Ebenen der Gesundheitspolitik Strategieüberlegungen. Weltweit hat sich die WHO dieses Themas angenommen, auf europäischer Ebene wurde eine Strategie zu „Ernährung und Bewegung“ erarbeitet. Österreich hat begonnen, an einer eigenen Strategie zu arbeiten. Dabei versuchen wir natürlich, die Erfahrungen der Deutschen und der Schweizer zu nutzen, um nicht jene Punkte neu zu erfinden, die bereits in anderen Staaten diskutiert wurden. Das Problem ist eigentlich in allen europäischen EU-Mitgliedstaaten identisch.

Allgemein gültige Lösungsansätze – ob in der Schule, von der Öffentlichkeit oder durch das Gesundheitssystem vorgegeben – sind jedoch noch nicht gefunden. In Wahrheit geht es um Eigenverantwortung. Wenn Betroffene die Frage der ausgewogenen Ernährung nicht selber in die Hand nehmen, wird Mann/Frau keine nachhaltige Lösung finden.

Neben den Fragen des richtigen Ernährungsverhaltens war die Diskussion zur Ernährungssicherung genauso wichtig. Gehen wir einmal drei Schritte zurück und betrachten wir das Thema Ernährungssicherung in einer größeren, einer globalen Dimension. Wir dürfen nicht nur Österreich oder Europa im Fokus haben, sondern wir sollten versuchen, einen globalen Blickwinkel zu gewinnen.

Gentechnik – und deren Einsatz in der Landwirtschaft bzw. zur Lebensmittelproduktion – ist in Österreich ein sehr emotionales Thema. Österreich bezieht bei dieser Frage eine Position, die auf lange Sicht wahrscheinlich nicht zielführend sein kann. Persönlich kann ich mich vielen der heute getroffenen Aussagen anschließen. Besonders folge ich dem Gedanken, dass die Gentechnik in Österreich dann salonfähig sein wird, wenn die Produkte einen Nutzen für die Verbraucherschaft stiften können oder wenn in der biologischen Landwirtschaft erkannt wird, dass eine einigermaßen profitable Produktion nur mit Hilfe neuer Entwicklungen möglich ist. Heute sind wir von dieser Situation noch weit entfernt. Jene Produkte, die derzeit am Markt sind, haben keinen Mehrwert für eine kleinstrukturierte Landwirtschaft, so wie sie in

Österreich praktiziert wird. Die hier präsentierten Fragestellungen der derzeitigen Forschung im Bereich der Grünen Gentechnik sind jedoch – in einem globalen Kontext gesehen, wie oben ausgeführt – sehr wertvoll. Nicht überall gibt es die besten Voraussetzungen, Boden-, Wasser- und Landnutzung betreffend, um Grundnahrungsmittel zu produzieren und eine eigenständige Lebensmittelproduktion auch in benachteiligten Gebieten zu sichern. Leider sind solche Aspekte in der österreichischen Diskussion vollkommen ausgeblendet. Hier ist die Debatte auf einer sehr emotionalen Ebene stehen geblieben. Mit Hilfe eines Volksbegehrens wurde Österreich für „Gen-frei“ erklärt. – Eine fachliche Diskussion ist seitdem nicht mehr geführt worden und ist daher heute auch nicht mehr möglich! Umso wichtiger ist es, im Rahmen solcher Symposien auch einmal in die Tiefe zu gehen und andere Facetten der Grünen Gentechnik in der Diskussion zuzulassen. Die Frage der Welternährung ist nämlich anders zu bewerten, und man darf hier nicht nur den österreichischen Horizont betrachten und mit heimischen Argumenten diskutieren. Ein sehr gutes Ergebnis dieser zwei Tage ist für mich der Sachverhalt, dass deutlich wurde, welche Fragestellungen in der Gentechnikdiskussion unterschieden werden müssen: Was wollen wir hier in Österreich? Was sind die Erwartungen der einheimischen Produzenten und Verbraucher? Wir können uns als eines der reichsten Länder Europas bzw. der Welt viel Luxus, u. a. auch biologische Lebensmittel, leisten. Wir müssen aber die Diskussion über die Biotechnologie von der Debatte über die Verbrauchererwartungen trennen und fragen: Welchen Wert hat die Grüne Gentechnik weltweit? Letztendlich ist Forschung im Bereich der Grünen Gentechnik – meiner Ansicht nach – eine Standortfrage. Wir berufen uns immer wieder auf Österreich als Forschungsstandort – man kann darüber diskutieren, wo wir da augenblicklich stehen –, aber ich glaube, dass Österreich wettbewerbsfähig ist. Wenn wir diese Position beibehalten möchten, so ist es notwendig, in Fragen der Grünen Gentechnik mutiger zu werden. Wie weit dieses Symposium hier dazu einen ersten Anstoß geben konnte, werden wir in der Zukunft sehen.

Ich würde mich freuen, wenn wir auch weiterhin mit der Akademie der Wissenschaften, mit der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und mit Dir, lieber Gottfried, noch ein paar spannende Themen bearbeiten und so eine Diskussion zulassen können, die der Vielschichtigkeit einzelner Themen gerecht werden kann. In diesem Sinne bedanke ich mich bei allen, die gekommen sind, und vor allem bei Ihnen, den Referenten, für die hohe Qualität Ihrer Beiträge. Ich bedanke mich bei Dir, lieber Gottfried, noch einmal für die Organisation und bei Dir, lieber Christian, und Deinem Team für die Rundumbetreuung, die es gegeben hat.

So bleibt mir nur mehr übrig Ihnen Allen eine gute Heimfahrt zu wünschen und das Symposium hiermit zu schließen.

Mag. Ulrich HERZOG
Bundesministerium für Gesundheit
Sektion II – Verbrauchergesundheit und Gesundheitsprävention
Radetzkystraße 2
A-1030 Wien
Österreich

Continents under Climate Change

Konferenz aus Anlass des 200. Gründungsjubiläums der Humboldt-Universität zu Berlin

in Zusammenarbeit mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Unter der Schirmherrschaft des Auswärtigen Amtes der Bundesrepublik Deutschland

vom 21. bis 23. April 2010 in Berlin

Nova Acta Leopoldina N. F. Bd. 112, Nr. 384

Herausgegeben von Wilfried ENDLICHER (Berlin) und Friedrich-Wilhelm GERSTENGARBE (Potsdam)

(2010, 320 Seiten, 103 Abbildungen, 17 Tabellen, 25,95 Euro,

ISBN: 978-3-8047-2795-3)

Der Klimawandel gehört zu den drängendsten globalen Problemen unserer Zeit. Die Menschheit steht vor besonderen Herausforderungen, um insbesondere den CO₂-Ausstoß zu senken. Führende Wissenschaftler aus der Klimaforschung betrachten die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kontinente Europa, Asien, Afrika, Amerika und Australien sowie die Polarregionen. Dabei werden neueste Klimadaten unter globalen und regionalen Gesichtspunkten ausgewertet und Simulationsmodelle für zukünftige Entwicklungen diskutiert. Die Ausführungen bieten ein gut fundiertes Bild der Klimaänderungen, die sich weltweit bereits vollziehen bzw. in Zukunft ereignen werden, und untersuchen kritisch die Folgen für Natur, Gesellschaft und Wirtschaft. Der Kongress „Continents under Climate Change“ wurde im Rahmen der 200. Jahrfeier der Humboldt-Universität zu Berlin vom Potsdam-Institut für Klimaforschung und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften veranstaltet. Alle Beiträge sind in englischer Sprache verfasst.

ISSN: 0369-5034
ISBN: 978-3-8047-2800-4