

Biologische Anreicherung: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit

Matin Qaim und Alexander J. Stein*

Biologische Anreicherung von Grundnahrungspflanzen ist ein neuer Ansatz zur Bekämpfung von Mikronährstoffmangel. Hierbei werden Pflanzen so gezüchtet, dass sie höhere Mengen an Mikronährstoffen enthalten. Dieser Ansatz zielt vor allem auf Entwicklungsländer ab, wo viele Menschen in abgelegenen ländlichen Gebieten kaum von anderen Mikronährstoffprogrammen erreicht werden. Bisherige Studien zeigen, dass dieser Ansatz sowohl wirksam als auch wirtschaftlich sein kann.

Einleitung

In Industrieländern werden seit bald einem Jahrhundert Lebensmittel bei der Verarbeitung zum Teil mit Vitaminen und Mineralstoffen angereichert – eine Maßnahme die einen Beitrag zur Kontrolle von Mikronährstoffmangel leistet. In Entwicklungsländern, wo diese Maßnahme sehr viel wichtiger wäre, ist der Erfolg industriell angereicherter Lebensmittel bisher allerdings beschränkt (mit Ausnahme der Jodierung von Speisesalz). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass arme und mangelernährte Bevölkerungsgruppen in Entwicklungsländern oftmals relativ wenig industriell verarbeitete Lebensmittel konsumieren. Aufgrund der hohen Prävalenz von Vitamin- und Mineralstoffmangel (VMM) sind in diesen Ländern einfache und kostengünstige Maßnahmen nötig. In diesem Zusammenhang – jedoch nicht notwendigerweise nur auf Entwicklungsländer beschränkt – wird seit wenigen Jahren ein neuer Ansatz diskutiert, die biologische Anreicherung von Grundnahrungspflanzen (engl. "biofortification") [1, 2]. Anders als bei der herkömmlichen Anreicherung von Lebensmitteln im Verarbeitungsprozess, werden Pflanzen hierbei so gezüchtet, dass sie selbst bereits höhere Mengen an Mikronährstoffen enthalten und diese in ihren essbaren Teilen einlagern.

Im Folgenden stellen wir zunächst das Problem des VMM im globalen Kontext dar und diskutieren die derzeitigen Maßnahmen zu seiner Bekämpfung. Daran anschließend beschreiben wir den Ansatz der Bio-Anreicherung ausführlicher und stellen entsprechende aktuelle Programme vor. Des Weiteren geben wir einen Überblick über Studien zur Akzeptanz und zur Wirksamkeit sowie zur Wirtschaftlichkeit biologisch angereicherter Grundnahrungspflanzen. Am Ende ziehen wir einige Schlussfolgerungen. Insoweit nicht anders angegeben stützen wir uns in diesem Beitrag auf eigene Forschungsarbeiten [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Mikronährstoffmangel weltweit

Unter- und Mangelernährung sind global weit verbreitete Probleme; eine allgemeine Ernährungssicherheit liegt noch in weiter Ferne. Weltweit sind gegenwärtig 923 Mio. Menschen unterernährt, und die Zahl der Menschen die an (teilweise mehrfachem) VMM leidet ist noch bedeutend größer. Schätzungen zufolge leiden ungefähr 2 Mrd. Menschen an Jodmangel, 2 Mrd. an Zinkmangel und 2 Mrd. an Anämie, die zum Großteil durch Eisenmangel verursacht wird. Darüber hinaus leiden allein 140 Mio. Kinder an Vitamin A-Mangel (VA-Mangel).

* Manuskript für: Qaim M. und A.J. Stein (2009). Biologische Anreicherung: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit. *Ernährungs Umschau* **56**: 274-280.
<http://www.ernaehrungs-umschau.de/archiv/summaries/?id=3858>

Im Gegensatz zum Hunger, der durch fehlende Nahrungsenergie verursacht wird, ist VMM nicht unmittelbar spürbar und weniger offensichtlich – daher wird teilweise auch von "verdecktem Hunger" gesprochen. Nichtsdestotrotz können die Gesundheitsfolgen schwerwiegend sein; sie umfassen z.B. erhöhte Anfälligkeit für Infektionskrankheiten, Sehprobleme bis zur Erblindung, beeinträchtigte physische und kognitive Entwicklung und Leistungsfähigkeit sowie erhöhte Sterblichkeit – insbesondere bei Frauen und Kindern. Neben Untergewicht zählen laut der Weltgesundheitsorganisation Zink-, Eisen- und VA-Mangel mit zu den zehn Hauptgesundheitsrisiken, die zur Krankheitslast in den ärmsten Entwicklungsländern beitragen. Selbst in Industrieländern stellt Eisenmangel eines der größeren Gesundheitsrisiken dar. Und auch wenn in Europa VMM kein allgemeines Problem ist, so besteht für gewisse Bevölkerungsgruppen (z.B. Senioren, Schwangere, Neugeborene, Veganer) doch das Risiko einer unzureichenden Mikronährstoffaufnahme – nicht nur bei Eisen, sondern auch bei Jod, Zink, Kalzium, Magnesium, Kalium, Folsäure, Vitamin A, Vitamin B12 und Vitamin D.

Neben der bereits erwähnten industriellen Anreicherung von Lebensmitteln gibt es verschiedene andere Maßnahmen zur Kontrolle von VMM, wie die Zusetzung von Mikronährstoffmischungen unmittelbar bei der Nahrungszubereitung oder die Verteilung von Ergänzungspräparaten (z.B. Vitaminkapsel oder Eisentabletten). In Entwicklungsländern gibt es auch Programme zur Förderung von Küchengärten oder Projekte zur Ernährungsaufklärung mit der Zielsetzung einer Nahrungserweiterung. Diese Maßnahmen werden mit unterschiedlichem Erfolg umgesetzt. Vor allem in Entwicklungsländern gibt es oftmals Hindernisse, wie z.B. der geringe Konsum industriell verarbeiteter Lebensmittel oder Schwierigkeiten bei der Bereitstellung, Verteilung, Akzeptanz und Einnahme von Nahrungsergänzungspräparaten. Diese Programme stellen außerdem größere, jährlich wiederkehrende Ausgaben dar, die von vielen Entwicklungsländern nur schwer oder nicht mit der nötigen Regelmäßigkeit getätigt werden können. Hohe und wiederkehrende Programmkosten, die Notwendigkeit einer Verhaltensänderung oder ein begrenzter Wirkungskreis sind auch bei den anderen genannten Maßnahmen entscheidende Nachteile.

Biologische Anreicherung

Seit einigen Jahren wird die Bio-Anreicherung von Grundnahrungspflanzen als möglicher Ansatz zur Kontrolle von VMM diskutiert. Während die Abdeckung durch industriell verarbeitete Lebensmittel oder der Zugang zu Nahrungsergänzungspräparaten im ländlichen Raum in Entwicklungsländern oftmals lückenhaft ist, sollen die biologisch angereicherten Pflanzen (BAP) gerade dort angebaut und konsumiert werden und somit komplementär zu existierenden anderen Maßnahmen wirken. BAP erreichen dabei quasi automatisch ihre Zielgruppe: Die Armen können sich Gemüse, Obst und tierisch veredelte Produkte nicht in ausreichenden Mengen leisten (weswegen sie oftmals an VMM leiden), so dass sie sich in erster Linie von Grundnahrungspflanzen ernähren.

Neben ihrer größeren Reichweite versprechen BAP auch ökonomisch tragfähiger als die übrigen Mikronährstoffmaßnahmen zu sein: Im Gegensatz zu diesen anderen Maßnahmen, die regelmäßige und wiederkehrende Ausgaben in größerem Ausmaß erfordern, ist bei BAP "nur" eine Erstinvestition in die Züchtung der Pflanzen sowie in deren Verbreitung notwendig. Sind die BAP einmal etabliert und in der Nahrungskette verankert, so sind nur noch geringe Kosten für die begleitende Züchtung zur Erhaltung des Mikronährstoffgehalts notwendig; Bauern können das Saatgut lokal selbst weitervermehrten. Bei entsprechender internationaler Koordination können die grundlegenden Entwicklungskosten für die BAP über mehrere Länder hinweg umgelegt werden,

da – sobald die jeweilige Eigenschaft in eine Pflanze gezüchtet wurde – diese nur noch in die lokalen Sorten eingekreuzt werden muss. Die nationalen Kosten für Programme zur Bio-Anreicherung können somit noch weiter gesenkt werden.

Vor diesem Hintergrund sind in den vergangenen Jahren verschiedene internationale Programme ins Leben gerufen worden, die unterschiedlichen Mikronährstoffen, Pflanzen und Regionen gewidmet sind:

- HarvestPlus ist ein Programm der Beratungsgruppe für Internationale Agrarforschung (CGIAR). Es verwendet konventionelle Züchtungsansätze und konzentriert sich auf die wichtigsten Grundnahrungspflanzen (Reis, Weizen, Mais, Maniok, Süßkartoffeln und Bohnen) und auf drei Mikronährstoffe (Eisen, Zink und Vitamin A).
- Das "Golden Rice Project" hat die Bio-Anreicherung von Reis mit Provitamin A zum Ziel. Hierbei kommen gentechnische Verfahren zum Einsatz, weil sich durch konventionelle Ansätze kein Provitamin A ins Reiskorn einzüchten lässt.
- Das „ProVitaMinRice“ Projekt fügt zum Goldenen Reis zusätzlich Eisen, Zink und essentielle Aminosäuren hinzu. Ähnliche Projekte, die auch gentechnische Ansätze verwenden und multiple Nährstoffe verfolgen, sind das "Africa Biofortified Sorghum Project", das "BioCassava Plus" Projekt, und ein Projekt zur Bio-Anreicherung von Bananen.

Kleinere Forschungsprojekte, die teilweise auch auf VMM in Industrieländern abzielen, umfassen z.B. die Anreicherung von Karotten, Tomaten, Salat oder Getreide mit Kalzium, Selen, Folsäure oder essentiellen Fettsäuren. Die meisten dieser Programme und Projekte befinden sich noch im Forschungsstadium, so dass konkrete Ergebnisse bisher kaum zu beobachten sind.

Sozioökonomische Evaluierung

Bisher haben wir das Prinzip der Bio-Anreicherung nur qualitativ diskutiert; konkrete Erfahrungen mit der Anwendung von BAP gibt es bisher so gut wie keine. Vor dem Hintergrund der wachsenden Zahl von Initiativen zur Bio-Anreicherung und den damit einhergehenden Investitionen stellt sich jedoch die Frage nach deren Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit. Die Antwort hierauf hängt von der Akzeptanz der BAP durch Bauern und Konsumenten ab – und davon, inwieweit der Verzehr dieser Lebensmittel konkret helfen kann, das Ausmaß von VMM zu verringern und die Schwere der Folgekrankheiten zu lindern.

Akzeptanz von bio-angereicherten Grundnahrungspflanzen

Die Akzeptanz neuer Pflanzensorten durch Bauern hängt in maßgeblicher Weise von den agronomischen Charakteristika und den Produkteigenschaften der Sorten ab. Zu den agronomischen Charakteristika zählen hierbei insbesondere der Ertrag, aber auch Resistenz gegen Schädlinge, Krankheiten und andere Stressfaktoren. Zu den Produkteigenschaften zählen z.B. Lagerfähigkeit, Kochzeit, Geschmack, Konsistenz oder Aussehen; dies sind auch die Eigenschaften, die für den eventuellen Verkauf der Feldfrüchte relevant sind. Für Konsumenten ist neben den Produkteigenschaften vor allem der Preis ausschlaggebend. Wenn davon ausgegangen wird, dass Bauern und Konsumenten sich des Problems des verdeckten Hungers nicht bewusst sind und daher für BAP auch keine Präferenzen entwickeln, dann stellt deren Akzeptanz dann kein Problem dar, wenn sie gleichwertige oder bessere agronomische und Produkteigenschaften aufweisen als herkömmliche Pflanzensorten und für die Konsumenten nicht teurer sind. ("Bauern" und "Konsumenten" sind im

Bereich der Subsistenzwirtschaft in Entwicklungsländern teilweise identisch. Gleichwohl verkaufen Subsistenzbauern einen Teil ihrer Produkte auch, weshalb deren Marktakzeptanz relevant ist.)

Bei Pflanzen, die durch konventionelle Züchtung mit Mineralstoffen angereichert werden, ist nicht davon auszugehen, dass sich die erkennbaren Produkteigenschaften ändern. In Ländern mit funktionierenden Verbreitungskanälen für neue Pflanzensorten reicht es daher aus, den Mineralstoffreichtum in Sorten einzukreuzen, die bei den Bauern populär sind, oder ihn mit anderen erwünschten agronomischen Eigenschaften zu kombinieren. Auf diese Weise werden die BAP aufgrund ihrer anderen Eigenschaften durch die Bauern angenommen und angebaut – und somit automatisch Bestandteil der Nahrungskette; eine Verhaltensänderung bei den Konsumenten ist nicht nötig. In Ländern mit weniger ausgeprägten ländlichen Infrastrukturen kann hingegen erhebliche Unterstützung nötig sein, um bestehende Hindernisse für die Einführung neuer Sorten aus dem Weg zu räumen [1, 2]. (Dort ist es jedoch auch unabhängig von BAP notwendig, Entwicklungshemmnisse ab- und ländliche Infrastrukturen aufzubauen.)

Im Fall von Bio-Anreicherung mit Provitamin A (Betakarotin) ändern sich die Produkteigenschaften hingegen sichtbar: Bei den angereicherten Pflanzen (bzw. deren essbaren Bestandteilen) tritt eine gelblichere Färbung auf als bei herkömmlichen Sorten. Eine Unterscheidung von BAP und herkömmlichen Feldfrüchten ist auch dann möglich, wenn die Bio-Anreicherung durch Einsatz der Gentechnik erfolgt und die Lebensmittel entsprechend gekennzeichnet werden müssen. In beiden Fällen müssen sich die Konsumenten bewusst für die BAP entscheiden, d.h. es ist nötig zu klären, ob und unter welchen Umständen Konsumenten bereit sind, diese Produkte anzunehmen.

Hierzu gibt es mittlerweile mehrere Studien, aus denen hervorgeht, dass solche erkennbaren BAP – wie auch die "unsichtbaren" mineralstoffreichen Sorten – um erfolgreich zu sein für die Bauern agronomisch interessant sein müssen. Um für die Konsumenten akzeptabel zu sein, muss die Beschaffenheit der BAP (insbesondere Geschmack und Konsistenz) denen der herkömmlichen Sorten entsprechen; nur wenn dies gegeben ist, können die Bauern ihre Produkte auch verkaufen. Sind diese Bedingungen gegeben, dann scheint es durchaus möglich zu sein, durch entsprechende Verbraucherbildungsmaßnahmen eine breite Akzeptanz auch farb- oder gentechnisch veränderter BAP innerhalb der Zielgruppen zu erreichen [11, 12, 13, 14, 15, 16].

Wirksamkeit von bio-angereicherten Grundnahrungspflanzen

Da BAP letztlich die Ernährungs- und Gesundheitssituation der Verbraucher verbessern sollen, müssen Wirksamkeitsanalysen diese Verbesserung in geeigneter Form bewerten. Im internationalen Kontext wird das Ausmaß und die Schwere eines Gesundheitsleidens auf Bevölkerungsebene – d.h. seine Krankheitslast – oftmals anhand der verlorenen "behinderungsbereinigten Lebensjahre" (engl. "disability-adjusted life years" oder "DALYs") gemessen. In die Berechnung von DALYs fließen die Verbreitung des Leidens (Inzidenz), seine durchschnittliche Dauer und seine Schwere ein. Diese Berücksichtigung der Schwere eines Leidens, bzw. seine Gewichtung, macht die Jahre vergleichbar, die mit verschiedenen Krankheiten oder Behinderungen gelebt werden. Hierbei zählt z.B. ein Jahr, das in Blindheit verbracht wird, als ein halbes DALY, während ein durch vorzeitigen Tod verlorenes Lebensjahr einem ganzen DALY entspricht. Auch Infektionskrankheiten lassen sich entsprechend einordnen. So kann auf Basis von Gesundheitsstatistiken die Krankheitslast, die durch VMM in einem Land hervorgerufen wird, in Form von verlorenen DALYs ausgedrückt werden.

Der Verzehr von BAP wird die Mikronährstoffaufnahme in der Bevölkerung verbessern, wie bereits in verschiedenen Interventionsstudien und Ernährungsversuchen für mit Eisen angereicherten Reis sowie für betakarotinreiche Süßkartoffeln und Goldenen Reis (GR) gezeigt wurde [8, 17, 18]. Die verbesserte Mikronährstoffaufnahme wiederum senkt die Krankheitslast, so dass die Wirksamkeit von Bio-Anreicherung durch die Zahl der geretteten DALYs ausgedrückt werden kann. Ein interessantes Maß der Wirksamkeit ist auch die erwartete prozentuale Verringerung der Krankheitslast, weil sie angibt, um welchen Anteil die durch VMM hervorgerufenen Gesundheitsprobleme (in diesem Fall durch BAP) reduziert werden können.

Insbesondere zur Bio-Anreicherung von Reis und Weizen in Indien wurden umfangreiche Studien über die potentiellen Auswirkungen durchgeführt. Um der Ungewissheit in Bezug auf Annahmen für die Zukunft Rechnung zu tragen, wurden jeweils unterschiedliche Wirksamkeitsszenarien betrachtet. Die Studien ergaben, dass die Krankheitslast von Eisen-, Zink- und VA-Mangel bei hoher angenommener Wirksamkeit der BAP mehr als halbiert werden könnte (Tabelle 1). Fallstudien für andere Länder und andere BAP kamen teilweise zu ähnlichen Ergebnissen – z.B. für eisenreiche Bohnen im Nordosten Brasiliens, zinkreichen Reis in Bangladesch oder betakarotinreiche Süßkartoffeln in Uganda. In anderen Fällen ist die berechnete Wirksamkeit der BAP jedoch z.T. deutlich geringer, wie im Falle von eisenreichem Reis in den Philippinen oder zinkreichen Bohnen in Honduras (Tabelle 2, [19, 20, 21]). Dies liegt u.a. an den lokalen Ernährungsmustern (auf den Philippinen wird neben Reis z.B. auch viel Mais gegessen), oder auch am Züchtungserfolg (z.B. dem erzielten Mikronährstoffgehalt) und dem angenommenen Verbreitungsgrad der BAP.

Wirtschaftlichkeit biologischer Anreicherung

Bei der Bewertung einer gesundheitspolitischen Maßnahme ist neben ihrer Wirksamkeit auch ihre Wirtschaftlichkeit ein wichtiger Faktor: Je weniger es z.B. kostet ein DALY zu retten, desto mehr Menschen können bei gleichem Budget vor Krankheit oder Tod bewahrt werden. Für die Festlegung einer Strategie zur Bekämpfung von VMM ist es daher notwendig zu wissen, welche Maßnahmenbündel den effizientesten Einsatz knapper Ressourcen darstellen. In diesem Zusammenhang sind die Kosten pro DALY ein guter Indikator für die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme. Hierbei werden die Gesamtkosten einer Maßnahme der Anzahl der durch sie geretteten DALYs gegenübergestellt.

Wie schon bei der Analyse der Wirksamkeit von BAP, so zeigen sich auch bei der Bewertung ihrer Wirtschaftlichkeit Unterschiede, sowohl zwischen den einzelnen Pflanzen wie auch zwischen Ländern (Tabelle 1, Tabelle 2). Am Beispiel von Indien kann man z.B. sehen, dass obwohl das eisenreiche und zinkreiche Getreide die Krankheitslast des jeweils zugrunde liegenden VMM ungefähr mit der gleichen Wirksamkeit reduziert, das eisenreiche Getreide dennoch wirtschaftlicher ist. In absoluten Zahlen (DALYs) betrachtet ist die Krankheitslast des Eisenmangels in Indien größer als die des Zinkmangels. Dadurch können bei vergleichbarer Wirksamkeit einer Maßnahme im Falle von Eisenmangel mehr DALYs gerettet werden. Auf (vergleichbare) Programmkosten umgelegt bedeutet dies, dass die Kosten zur Rettung eines DALY bei eisenreichem Getreide geringer sind. Ähnliches gilt auch für GR, nur kommt in diesem Falle noch hinzu, dass die Kosten für die Entwicklung und Zulassung höher sind als bei mineralstoffreichem Getreide, da ein gentechnischer Ansatz verwendet wurde. Außerdem sind aufgrund der Farbänderung der Reiskörner zusätzliche Informations- und Aufklärungskampagnen nötig. Im Vergleich zu anderen Mikronährstoffmaßnahmen ist jedoch auch GR eine sehr effiziente Maßnahme. So stuft die Welt-

bank Gesundheitsprogramme als „hocheffizient“ ein, wenn die Kosten pro gerettetem DALY unter 220 Dollar liegen. Die Weltgesundheitsorganisation verwendet das Pro-Kopf-Jahreseinkommen eines Landes als kritische Grenze für Effizienz, welches in Indien derzeit etwa bei 1000 Dollar liegt (Tabelle 3).

Tabelle 1: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von biologisch angereichertem Reis und Weizen in Indien

Wirksamkeitsszenario	Eisenreicher Reis und Weizen		Zinkreicher Reis und Weizen		Betakarotinhaltiger "Goldener Reis"	
	hoch	niedrig	hoch	niedrig	hoch	niedrig
Krankheitslast des zugrunde liegenden VMM (verlorene DALYs)	4,0 Mio.		2,8 Mio.		2,3 Mio.	
Durch Konsum der BAP gerettete DALYs	2,3 Mio.	0,8 Mio.	1,6 Mio.	0,5 Mio.	1,4 Mio.	0,2 Mio.
Verringerung der Krankheitslast durch Bio-Anreicherung	-58%	-19%	-55%	-16%	-59%	-9%
Kosten pro gerettetem DALY (US\$)	0,46	5,39	0,68	8,80	3,06	19,40

Quellen: [6, 8, 9].

Tabelle 2: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von BAP in anderen Ländern

Mikronährstoff	Pflanze	Land	Verringerung der Krankheitslast durch Bio-Anreicherung		Kosten pro gerettetem DALY (US\$)	
			Hohe Wirksamkeit	Niedrige Wirksamkeit	Hohe Wirksamkeit	Niedrige Wirksamkeit
Eisen	Reis	Bangladesch	-21%	-8%	3	10
		Philippinen	-11%	-4%	49	197
	Bohnen	NO-Brasilien	-36%	-9%	13	56
		Honduras	-22%	-4%	20	114
Zink	Reis	Bangladesch	-46%	-15%	2	6
		Philippinen	-39%	-11%	7	46
	Bohnen	NO-Brasilien	-20%	-5%	95	799
		Honduras	-15%	-3%	48	423
Eisen, Zink	Reis, Weizen	China	-57%	-18%	4	14
Betakarotin	Reis	Philippinen	-32%	-6%	18	102
	Süßkartoffel	Uganda	-64%	-38%	4	10
	Mais	Kenia	-32%	-8%	10	44
	Maniok	Nigeria	-28%	-3%	3	35
		NO-Brasilien	-19%	-4%	84	434

Quellen: [19, 20, 21] und eigene Berechnungen. Anmerkungen: NO-Brasilien = Nordost-Brasilien.

Tabelle 3: Bezugsgrößen für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Bio-Anreicherung in Entwicklungsländern

Obergrenze für Wirtschaftlichkeit (US\$/DALY)	
Betroffene	Mehrfaches Pro-Kopf-Einkommen
Weltgesundheitsorganisation	Pro-Kopf-Einkommen
Literatur	500-1.000
Weltbank	220
Wirtschaftlichkeit anderer Mikronährstoffmaßnahmen (US\$/DALY)	
VA-Ergänzungspräparate	19-599
Industrielle VA-Anreicherung	11-98
Zink-Ergänzungspräparate	17-18
Industrielle Zink-Anreicherung	5-7

Quelle: [4, 7].

Neben der Höhe der Forschungs- und Vermarktungskosten ist für die Wirtschaftlichkeit einer BAP somit nicht nur ihre Wirksamkeit ausschlaggebend, vielmehr ist auch die Größe der Zielgruppe sowie die Inzidenz innerhalb der Zielgruppe relevant, da dadurch die absolute Zahl der zu rettenden DALYs mitbestimmt wird. Dies mag z.T. erklären, weshalb Bio-Anreicherung im armen und bevölkerungsreichen Bangladesch so viel wirtschaftlicher ist als im etwas reicheren und kleinen Honduras – trotz vergleichbarer relativer Wirksamkeit der eisenreichen BAP.

Tabelle 3 zeigt auch berechnete Größenordnungen für die Kosteneffizienz anderer Mikronährstoffmaßnahmen, zum Vergleich ebenfalls ausgedrückt in Kosten pro gerettetem DALY. Für diese Maßnahmen ist der Fixkostenanteil erheblich höher (die Kosten für eine Vitaminpille können nicht auf mehrere Nutznießer umgelegt werden), und – wie oben erläutert – die gleichen Kosten fallen regelmäßig wiederkehrend an. Die Bio-Anreicherung hingegen ist lediglich mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden, die sich zum Teil international umlegen lassen – d.h. es können Skaleneffekte erzielt werden, was die Wirtschaftlichkeit weiter erhöht. Um diese Skaleneffekte auszunutzen, ist internationale Kooperation von besonderer Bedeutung.

Schlussfolgerungen

In diesem Beitrag haben wir einen Überblick über "biologische Anreicherung" gegeben, eine neue, landwirtschaftliche Maßnahme zur Bekämpfung von Vitamin- und Mineralstoffmangel (VMM). In Entwicklungsländern besteht der entscheidende Vorteil dieses Ansatzes darin, dass diese bio-angereicherten Pflanzen (BAP) auch in entlegenen Gebieten angebaut und konsumiert werden können und somit Bevölkerungsgruppen erreichen, die von anderen Maßnahmen – wie industrielle Anreicherung oder Nahrungsergänzungsprogramme – nicht abgedeckt werden. Anders als bei Projekten zur Nahrungserweiterung ist bei den Konsumenten außerdem – wenn überhaupt – nur eine minimale Verhaltensänderung nötig (nämlich die Farbänderung der Lebensmittel zu akzeptieren), die laut Studien durch begleitende Maßnahmen zur Verbraucherbildung innerhalb der Zielgruppen auch erreicht werden kann.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Bio-Anreicherung nur in begrenztem Maße mit wiederkehrenden Kosten verbunden ist und – bei Ausnutzung von Skaleneffekten und der Auswahl geeigneter Grundnahrungspflanzen – daher einen effizienten Umgang mit knappen Ressourcen darstellt. Bei der industriellen Anreicherung von Lebensmitteln oder bei Nahrungsergänzungsprogrammen fallen hingegen kontinuierlich Kosten an; Projekte zur Nahrungserweiterung sind sogar noch kostenintensiver und punktueller, selbst wenn die Sicherstellung einer ausgewogenen und abwechslungsreichen Ernährung langfristig natürlich wünschenswert ist.

Neben der Darstellung dieser Wirtschaftlichkeit von Bio-Anreicherung im Vergleich zu anderen Mikronährstoffmaßnahmen in Entwicklungsländern, haben wir auch aufgezeigt, dass – ausgehend vom derzeit erwarteten Erfolg der verschiedenen Programme – BAP die Krankheitslast von VMM erheblich verringern können. Diese vorläufigen Einschätzungen zur Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Bio-Anreicherung ist insofern wichtig, als dass sie die Fortführung der entsprechenden Programme rechtfertigt. Gleichwohl ist es bei fortschreitender Entwicklung der diversen BAP und bei deren anstehender Verbreitung auch notwendig, bisher noch offene Fragen zu klären. Insbesondere betrifft dies die tatsächliche Bioverfügbarkeit der angereicherten Mikronährstoffe sowie die Akzeptanz der BAP im Alltag.

Die bisherigen Ergebnisse beziehen sich vor allem auf Bio-Anreicherung in Entwicklungsländern. Allerdings gibt es auch vereinzelt Projekte, die auf die Beseitigung von Ernährungsproblemen in Industrieländern abzielen. Selbst wenn es noch keine konkreten Untersuchungen hierzu gibt, so ist die zugrunde liegende Logik doch ähnlich: Es werden diejenigen Lebensmittel angereichert, die von den Menschen tatsächlich gegessen werden (auch wenn Fehlernährung in reichen Ländern weniger ein Armutproblem ist), und bei der Entwicklung und Verbreitung der BAP können Skaleneffekte genutzt werden. Dadurch dürfte auch in diesen Fällen Bio-Anreicherung teilweise eine interessante Alternative sein.

Trotz der Vorteile von BAP in bestimmten Situationen, sollte Bio-Anreicherung nicht als genereller Ersatz für andere Mikronährstoffprogramme betrachtet werden, weder in Industrie- noch in Entwicklungsländern. Keine Einzelmaßnahme kann das komplexe Problem von VMM allein beseitigen, so dass Maßnahmenbündel, die auf spezielle Situationen zugeschnitten sind, verfolgt werden sollten.

Zusammenfassung

Biologische Anreicherung von Grundnahrungspflanzen ist ein neuer Ansatz zur Bekämpfung von Mikronährstoffmangel. Hierbei werden Pflanzen so gezüchtet, dass sie höhere Mengen an Mikronährstoffen enthalten. Dieser Ansatz zielt vor allem auf Entwicklungsländer ab, wo viele Menschen in abgelegenen ländlichen Gebieten kaum von anderen Mikronährstoffprogrammen erreicht werden. Ersten Studien zufolge scheint die Akzeptanz dieser neuen Pflanzen in den Zielgruppen erreichbar zu sein. Analysen deuten ferner darauf hin, dass diese Pflanzen bei entsprechenden Rahmenbedingungen wirtschaftlich effizient sind und eine deutliche Reduzierung der Krankheitslast von Mikronährstoffmangel bewirken können. Auch in Industrieländern könnten biologisch angereicherte Pflanzen in einigen Fällen eine interessante Alternative darstellen.

Summary

Biofortification of staple crops is a new approach to control micronutrient malnutrition. These crops are bred for higher concentrations of micronutrients in their edible parts. Especially in developing countries the objective is to reach target populations that live in remote rural areas, where they are hardly covered by other micronutrient programmes. First studies indicate that it is possible to achieve acceptance of these crops among target groups. Analyses further show that these crops are economically efficient and can reduce the burden of disease of micronutrient malnutrition considerably, if the framework conditions are favourable. In some cases, biofortified crops could also be an interesting alternative in industrialised countries.

Literaturverzeichnis

1. Bouis HE (2002) Plant breeding: a new tool for fighting micronutrient malnutrition. J Nutr 132: 491S-494S. <http://jn.nutrition.org/cgi/content/abstract/132/3/491S>
2. Nestel P, Bouis HE, Meenakshi JV, Pfeiffer W (2006) Biofortification of staple food crops. J Nutr 136: 1064-1067. <http://jn.nutrition.org/cgi/content/abstract/136/4/1064>
3. Stein AJ, Meenakshi JV, Qaim M, Nestel P, Sachdev HPS, Bhutta ZA. Analyzing the health benefits of biofortified staple crops by means of the Disability-Adjusted Life Years approach: a handbook focusing on iron, zinc and vitamin A. HarvestPlus Technical Monograph Series 4. International Food Policy Research Institute, Washington DC (2005). <http://www.harvestplus.org/pubshp.html#tech>
4. Stein AJ. Micronutrient malnutrition and the impact of modern plant breeding on public health in India: how cost-effective is biofortification? Cuvillier Verlag, Göttingen (2006). <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:bsz:100-opus-1574>
5. Stein AJ, Sachdev HPS, Qaim M (2006) Potential impact and cost-effectiveness of Golden Rice. Nat Biotechnol 24: 1200-1201. <http://dx.doi.org/10.1038/nbt1006-1200b>
6. Stein AJ, Nestel P, Meenakshi JV, Qaim M, Sachdev HPS, Bhutta ZA (2007) Plant breeding to control zinc deficiency in India: how cost-effective is biofortification? Public Health Nutr 10: 492-501. <http://dx.doi.org/10.1017/S1368980007223857>
7. Stein AJ, Qaim M (2007) The human and economic cost of hidden hunger. Food Nutr Bull 28: 125-134. <http://foodandnutritionbulletin.org/FNB/index.php/FNB/article/view/1841>
8. Stein AJ, Sachdev HPS, Qaim M (2008) Genetic engineering for the poor: Golden Rice and public health in India. World Dev 36: 144-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.02.013>
9. Stein AJ, Meenakshi JV, Qaim M, Nestel P, Sachdev HPS, Bhutta ZA (2008) Potential impacts of iron biofortification in India. Soc Sci Med 66: 1659-1870. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2008.01.006>
10. Stein AJ, Qaim M, Nestel P. Zinc deficiencies and DALYs and other indices of harm in India. In: Preedy V, Watson RR (Hrsg). Handbook of disease burdens and quality of life measures. Springer-Verlag, Heidelberg (2009). <http://www.springer.com/medicine/book/978-0-387-78665-0>
11. Stevens R, Winter-Nelson A (2008) Consumer acceptance of provitamin A-biofortified maize in Maputo, Mozambique. Food Policy 33: 341-351. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2007.12.003>
12. Muzhingiri T, Langyintuo AS, Malaba LC, Banziger M (2008). Consumer acceptability of yellow maize products in Zimbabwe. Food Policy 33: 352-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2007.09.003>
13. De Groote H, Chege Kimenju S (2008) Comparing consumer preferences for color and nutritional quality in maize: application of a semi-double-bound logistic model on urban consumers in Kenya. Food Policy 33: 362-370. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.02.005>

14. Heyd H. Food consumption, micronutrient malnutrition and the potential of orange-fleshed sweet potatoes in Uganda. Doktorarbeit. Universität Hohenheim, Stuttgart (2007)
15. Wolson RA (2007) Assessing the prospects for the adoption of biofortified crops in South Africa. *AgBioForum* 10: 184-191. <http://www.agbioforum.org/v10n3/v10n3a08-wolson.htm>
16. Pray C, Paarlberg R, Unnevehr L (2007) Patterns of political response to biofortified varieties of crops produced with different breeding techniques and agronomic traits. *AgBioForum* 10: 135-143. <http://www.agbioforum.org/v10n3/v10n3a02-pray.htm>
17. Haas JD, Beard JL, Murray-Kolb LE, del Mundo AM, Felix AR, Gregorio GB (2005) Iron-biofortified rice improves iron stores in non-anemic Filipino women. *J. Nutr* 135: 2823-2830. <http://jn.nutrition.org/cgi/content/abstract/135/12/2823>
18. Low JW, Arimond M, Osman N, Cunguara B, Zano F, Tschirley D (2007) A food-based approach introducing orange-fleshed sweet potatoes increased vitamin A intake and serum retinol concentrations in young children in rural Mozambique. *J Nutr* 137: 1320-1327. <http://jn.nutrition.org/cgi/content/abstract/137/5/1320>
19. Meenakshi JV, Johnson N, Manyong VM, De Groote H, Javelosa J, Yanggen D, Naher F, Gonzalez C, Garcia J, Meng E. How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex-ante assessment. HarvestPlus Working Paper 2. International Food Policy Research Institute, Washington DC (2007). <http://www.harvestplus.org/pubshp.html#wp>
20. Zimmermann R, Qaim M (2004). Potential health benefits of Golden Rice: a Philippine case study. *Food Policy* 29: 147-168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2004.03.001>
21. Ma G, Jin Y, Li Y, Zhai F, Kok FJ, Jacobsen E, Yang X (2008) Iron and zinc deficiencies in China: what is a feasible and cost-effective strategy? *Public Health Nutr* 11: 632-638. <http://dx.doi.org/10.1017/S1368980007001085>