

# Agrartechnologie zur Bekämpfung von Mikronährstoffmangel?

## Ein gesundheitsökonomischer Bewertungsansatz

### Agricultural Technology to Fight Micronutrient Malnutrition?

### A Health Economics Approach

Roukayatou Zimmermann, Alexander Stein und Matin Qaim  
Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF), Bonn

#### Zusammenfassung

Mikronährstoffmangel stellt in vielen Entwicklungsländern ein schwerwiegendes Ernährungsproblem dar. Agrartechnologien werden zunehmend als interessante Ergänzung zu herkömmlichen Maßnahmen der Bekämpfung diskutiert. Grundnahrungsmittel, die durch züchterische Eingriffe essentielle Vitamine und Spurenelemente enthalten, könnten insbesondere den Armen zugute kommen. Die wirtschaftlichen Effekte sind jedoch noch weitgehend unklar. Da traditionelle Methoden der Technologiebewertung ungeeignet für die Erfassung der speziellen Wirkungszusammenhänge sind, schlagen wir einen gesundheitsökonomischen Ansatz vor. Mikronährstoffmangel wird hierbei als Phänomen verstanden, welches durch Krankheit und vorzeitige Todesfälle gesundheitliche Kosten verursacht. Details der Methode werden in einer *ex ante* Fallstudie zu Goldenem Reis auf den Philippinen diskutiert. Die Technologie verspricht den Vitamin-A-Mangel der lokalen Bevölkerung zu reduzieren. Obwohl sie das Problem nicht vollständig beseitigen wird, ist der erwartete Nutzen beträchtlich. Je nach Annahmen ergeben sich soziale Renditen auf Forschungsinvestitionen von 66 % bis 133 %. Dies bestätigt, dass mikronährstoffreiche Grundnahrungsmittel eine effiziente Möglichkeit darstellen können, Mangelerscheinungen unter den Armen zu verringern. Aufgrund von Unsicherheit hinsichtlich einiger Parameter sollten die numerischen Ergebnisse allerdings als vorläufig interpretiert werden.

#### Schlüsselwörter

Mikronährstoffmangel; Agrartechnologie; Vitamin A; Goldener Reis; Gesundheitseffekte; Philippinen

#### Abstract

Micronutrient malnutrition is a serious problem in many developing countries. Recently, agricultural technologies have been discussed as a complement to other intervention programs. Plant breeding, targeted at developing staple foods with higher contents of essential vitamins and trace minerals, could benefit the poor in particular. Yet, the economic repercussions of such innovations are still unclear. Because traditional models of technology assessment are inappropriate to capture the specific ramifications, we suggest a health economics approach. Herein, micronutrient malnutrition is understood as a phenomenon that causes health costs through diseases and premature deaths. Details of the methodology are discussed within an *ex ante* study of Golden Rice in the Philippines. This technology promises to reduce vitamin A deficiency among the local population. Although it will not completely eliminate the problem, the expected benefits are sizeable. Depending on the underlying assumptions, internal rates of return on research investments range between 66 % and 133 %. This confirms that micronutrient-dense staple crops can be an efficient way to reduce deficiency problems among the poor. However, due to uncertainty with respect

to certain parameters, the numerical results should be interpreted as preliminary.

#### Key words

micronutrient malnutrition; agricultural technology; Vitamin A; Golden Rice; health effects; Philippines

#### 1. Einleitung

In der Welternährungsdiskussion wird häufig auf die Anzahl der Hungernden Bezug genommen, also diejenigen Menschen, die nicht ausreichend mit Nahrungsenergie versorgt sind. Darüber hinaus stellt aber auch der Mangel an essentiellen Vitaminen und Spurenelementen ein ernsthaftes Ernährungs- und Gesundheitsproblem dar. Weltweit leiden 1,2 Mrd. Menschen an Anämie verursacht durch chronischen Eisenmangel (ACC/SCN, 2000). Etwa die gleiche Anzahl ist von Zinkmangel betroffen. Mehr als 400 Mill. Menschen sind nicht ausreichend mit Vitamin A versorgt (SOMMER und WEST, 1996), und auch für andere Mikronährstoffe sieht die Situation ähnlich schlecht aus. Mikronährstoffmangel ist vor allem in armen Bevölkerungsschichten in den Entwicklungsländern weit verbreitet. Menschen mit geringer Kaufkraft ernähren sich überwiegend von stärkehaltigen Grundnahrungsmitteln, weil sie sich hochwertigere Produkte – wie Obst, Gemüse und tierische Erzeugnisse – nicht in ausreichenden Mengen leisten können. Erhöhte Sterblichkeitsraten, Entwicklungsdefizite im Kindesalter, Schwangerschaftskomplikationen und chronische Leiden sind vielfach die Folge (HORTEN, 1999).

Seit den 1980er Jahren werden in einer Reihe von Ländern spezielle Programme durchgeführt, um die Mikronährstoffversorgung der Bevölkerung zu verbessern (WORLD BANK, 1994). Hierzu gehören vor allem die industrielle Anreicherung von Nahrungsmitteln, Nahrungsergänzungsprogramme mit Vitaminpräparaten und Informationskampagnen über gesunde Ernährung. Obwohl solche Programme durchaus Erfolge zeigen, sind die regelmäßig auftretenden Kosten beträchtlich und der Verbreitungsgrad beschränkt (BOUIS, 2000). Ein neuerer Ansatz ist der Einsatz von Agrartechnologie. Durch konventionelle und biotechnologische Methoden wird versucht, Grundnahrungsmittelpflanzen mit höheren Gehalten an Mikronährstoffen zu entwickeln. So arbeiten Forscher beispielsweise daran, Reis, Weizen, Cassava und andere Kulturarten mit erhöhtem

Eisen- und Zinkgehalt durch Einkreuzung traditioneller Landsorten zu züchten (GREGORIO, 2002). Ebenso wird mit Hilfe der Gentechnik Reis entwickelt, der Betakarotin im Korn enthält, welches der menschliche Körper in Vitamin A umwandeln kann (BEYER et al., 2002).<sup>1</sup> Aufgrund seiner gold-gelben Farbe wird dieser Reis auch „Goldener Reis“ genannt. Obwohl sich solche Pflanzentechnologien noch im experimentellen Stadium befinden, wird ihnen ein großes Potential für die Verbesserung der Ernährungs- und Gesundheitssituation in den Entwicklungsländern zugesprochen (CIAT/IFPRI, 2002).

Die potentiellen Vorteile sind intuitiv einleuchtend: Bauern würden diese neu gezüchteten Sorten anbauen und über lokale Märkte verbreiten, so dass arme Menschen essentielle Mikronährstoffe über kostengünstige Grundnahrungsmittel aufnehmen könnten. Bisher ist aber wenig über die tatsächlichen Ernährungseffekte und den Nutzen solcher Technologien bekannt. Anders als bei herkömmlichen Technologien, die zu Produktivitätssteigerungen in der Landwirtschaft führen, entfalten mikronährstoffreiche Pflanzen ihre potentiellen Vorteile auf der Konsumentenebene. Traditionelle, betriebswirtschaftliche Methoden sind deswegen für die Bewertung ungeeignet. Wir schlagen stattdessen einen gesundheitsökonomischen Ansatz vor. Mit Hilfe eines speziellen Index lassen sich die Gesundheitskosten von Mikronährstoffmangel mit und ohne Technologie quantifizieren. Die Differenz ist dann als technologischer Nutzen zu interpretieren. Zunächst zeigen wir kurz den analytischen Rahmen und die Methodik für die quantitative Bewertung auf. In einem weiteren Schritt verwenden wir diesen Ansatz für das Beispiel Goldener Reis auf den Philippinen. Die Philippinen bieten sich als Fallstudie an, weil Vitamin-A-Mangel dort weit verbreitet und statistisch gut dokumentiert ist. Zudem ist Reis in den meisten Regionen des Landes das wichtigste Grundnahrungsmittel. Goldener Reis wird zur Zeit am Internationalen Reisforschungsinstitut (IRRI) in der Nähe von Manila getestet und an lokale Verhältnisse angepasst, so dass philippinische Bauern und Konsumenten voraussichtlich mit zu den ersten Technologienutzern gehören werden. Sowohl die vorgeschlagene Methode als auch die empirischen Ergebnisse der Studie können einen Beitrag zum besseren Verständnis dieses neuen und wichtigen Forschungsbereichs leisten.

## 2. Gesundheitsökonomischer Bewertungsansatz

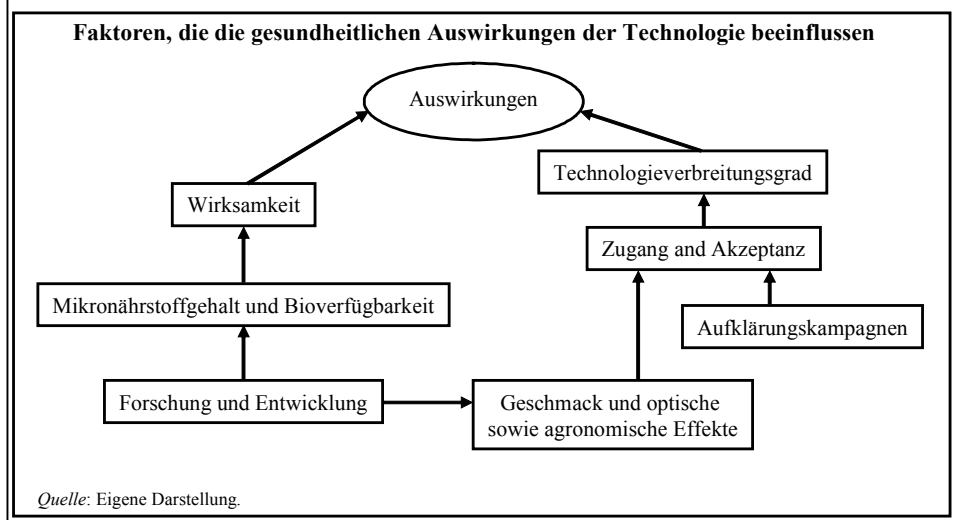
### 2.1 Analytischer Rahmen

Neue Saatguttechnologien werden normalerweise bewertet, indem man landwirtschaftliche Produktivitätssteigerungen auf einzelbetrieblicher Ebene untersucht. Aggregierte Wohlfahrtseffekte lassen sich dann durch eine Verschiebung der entsprechenden Angebotskurve modellieren (ALSTON et al., 1995). Dieser Ansatz ist jedoch nur dann geeignet, wenn die Technologie Ertrags- oder Kosteneffekte in der landwirtschaftlichen Produktion hervorruft. Technologien, die die Qualität von Nahrungsmitteln verbessern, sind hingegen eher mit Zusatznutzen auf der Konsumentenebene verbunden.

Das Hauptziel mikronährstoffreicher Grundnahrungsmittel ist es, den Ernährungs- und Gesundheitszustand mangelernährter Bevölkerungsgruppen zu verbessern. Im Allgemeinen bringen Qualitätsverbesserungen eine erhöhte Zahlungsbereitschaft der Konsumenten mit sich, d.h. die Nachfragekurve verschiebt sich nach oben. Dies setzt jedoch voraus, dass die Konsumenten die Qualitätsverbesserung wahrnehmen und bereit sind, hierfür einen höheren Preis zu zahlen. Unter den Armen ist das Wissen um Mikronährstoffmangel oftmals gering. Darüber hinaus verhindert die begrenzte Kaufkraft häufig, dass ein gegebener Nährstoffbedarf in eine effektive Nachfrage am Markt umgesetzt werden kann. Deswegen sind klassische Wohlfahrtsmodelle für die Bewertung solcher Technologien ungeeignet. Stattdessen müssen die positiven Gesundheitseffekte betrachtet und gemessen werden.

Wie in Abb. 1 dargestellt, hängen die konkreten Auswirkungen der Technologie einerseits von ihrer potentiellen Wirksamkeit und andererseits von ihrem Verbreitungsgrad

Abbildung 1.



ab. Die Wirksamkeit eines mikronährstoffreichen Grundnahrungsmittels ist unter anderem eine Funktion des effektiven Nährstoffgehalts und dessen Bioverfügbarkeit. Darüber hinaus spielt die verzehrte Menge des Nahrungsmittels eine bedeutende Rolle. Der Verbreitungsgrad wird durch den Zugang armer Bevölkerungsgruppen zur Technologie

<sup>1</sup> Weder traditionelle Landsorten noch Wildformen von Reis enthalten Betakarotin im Korn, so dass die Einkreuzung auf konventionellem Wege nicht möglich ist.

ebenso wie durch die Akzeptanz seitens der landwirtschaftlichen Produzenten und Konsumenten bestimmt. Die meisten dieser Aspekte sind keine exogenen Faktoren, sondern sie können während der Forschung und Entwicklung (F&E) beeinflusst werden.

## 2.2 Methodik

Um den Nutzen mikronährstoffreicher Grundnahrungsmittel letztlich bewerten zu können, müssen die eintretenden Gesundheitseffekte quantifiziert werden. Diese Effekte werden vor allem darin bestehen, dass durch die verbesserte Ernährungssituation Kosten im Gesundheitssystem vermindert werden. In den Industrieländern werden solche Gesundheitskosten häufig gemessen, indem man die Ausgaben für die medizinische Behandlung betrachtet (TOLLEY et al., 1994). Akuter Mikronährstoffmangel in Entwicklungsländern wird aber nur in seltenen Fällen diagnostiziert und behandelt, so dass dieser Ansatz zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Kosten führen würde.

Vor diesem Hintergrund schlagen wir die Verwendung einer von MURRAY und LOPEZ (1996) entwickelten Methode vor, die gesellschaftliche Kosten durch Krankheiten und Sterblichkeit in einen Index zusammenfasst. Krankheiten werden hierbei als Zustand verstanden, der die gesunde Lebensfähigkeit eines Menschen teilweise beeinträchtigt. Der Grad der Beeinträchtigung hängt dabei von der Schwere der Krankheit ab; er liegt zwischen Null (keine Beeinträchtigung) und Eins (Tod). Entsprechend wird der Index in „Verlust an gesunden Lebensjahren“ ausgedrückt, wofür wir im Folgenden auch die gebräuchliche, englische Abkürzung DALYs (*disability-adjusted life years*) verwenden. Im Weltentwicklungsbericht des Jahres 1993 wurde dieser Index benutzt, um die globalen Kosten verschiedener Infektionskrankheiten zu quantifizieren (WORLD BANK, 1993). In sehr aggregierter Form wurden DALYs auch im Mikronährstoffbereich eingesetzt (WORLD BANK, 1994). Unseres Wissens wurde dieser Ansatz bisher noch nicht dazu verwendet, Gesundheitseffekte landwirtschaftlicher Technologien zu bewerten.

Mikronährstoffmangel an sich ist keine Krankheit. Mangel über einen längeren Zeitraum hinweg verursacht aber akute und chronische Leiden sowie erhöhte Sterblichkeitsraten, so dass diese Folgewirkungen bei der Berechnung separat erfasst werden müssen. Entsprechend wurde die von MURRAY und LOPEZ (1996) entwickelte Methode angepasst. Die gesamte Anzahl verlorener DALYs durch einen bestimmten Mikronährstoffmangel wird definiert als

$$(1) \quad DALYs = LJB_v + LJB_D + LJT$$

wobei  $LJB_v$  und  $LJB_D$  gesunde Lebensjahre sind, die durch vorübergehende bzw. dauerhafte Gesundheitsbeeinträchtigungen eingebüßt werden, während  $LJT$  die Anzahl der Lebensjahre ist, die durch vorzeitigen Tod verloren gehen. Da Frauen und Kinder häufig in besonderem Maße von Mikronährstoffmangel betroffen sind, erscheint es zweckmäßig, die Berechnungen disaggregiert für einzelne Personengruppen durchzuführen. Verlorene DALYs werden auf Jahresbasis berechnet, wobei nur Todesfälle und Neuerkrankungen, die während des Referenzzeitraums auftreten, zu berücksichtigen sind. Die Krankheitskosten werden dann über die Dauer eines bestimmten Krankheitsbilds hinweg akkumuliert, so dass sich die Formel wie folgt verändert:

$$(2) \quad DALYs = \sum_i \sum_j G_j N_{ij} B_{ij} \left[ \frac{1}{r} (1 - e^{-d_{ij}}) \right] + \sum_k \sum_j G_j N_{kj} B_{kj} \left[ \frac{1}{r} (1 - e^{-rL_j}) \right] + \sum_j G_j S_j \left[ \frac{1}{r} (1 - e^{-rL_j}) \right]$$

Hierbei ist  $G$  die Gesamtanzahl von Personen in Bevölkerungsgruppe  $j$ ,  $N$  ist die Rate der Neuerkrankungen und  $B$  der Grad der gesundheitlichen Beeinträchtigung. Der Index  $i$  kennzeichnet vorübergehende Krankheiten von Dauer  $d$ , und  $k$  kennzeichnet dauerhafte Erkrankungen.  $S$  ist die mit Mikronährstoffmangel verbundene Sterblichkeitsrate, und  $L$  ist die Anzahl verbleibender Lebensjahre – berechnet als Differenz zwischen der durchschnittlichen Lebenserwartung und dem Eintrittsalter der dauerhaften Erkrankung oder des Todes.  $r$  ist der Satz, mit dem zukünftige Gesundheitskosten diskontiert werden.

Ausgehend von dieser Gleichung kann man die Anzahl gesunder Lebensjahre, die durch Mikronährstoffmangel ohne Technologie verloren geht, berechnen. Der Effekt einer wirksamen Technologie wird sich vor allem in einem Rückgang an Neuerkrankungen und Todesfällen manifestieren. Zur Berechnung der neuen, verminderten Rate an Neuerkrankungen ( $N_{ij}^{neu}$ ) kann die Gleichung von BRENZEL (1993) verwendet werden:

$$(3) \quad N_{ij}^{neu} = (1 - W_j V) N_{ij}$$

wobei  $W$  die Wirksamkeitsrate der Technologie ausdrückt und  $V$  ihren Verbreitungsgrad. Nach dem gleichen Schema können auch die verminderten Sterberaten berechnet werden. Die Verwendung dieser neuen Werte in Gleichung (2) ergibt die Anzahl verlorener DALYs mit Technologie. Die Differenz zum ursprünglichen Ergebnis ist somit als Nutzen des mikronährstoffreichen Grundnahrungsmittels zu interpretieren – ausgedrückt in der Anzahl geretteter gesunder Lebensjahre.

Zur besseren Vergleichbarkeit kann jedem verlorenen oder geretteten gesunden Lebensjahr ein monetärer Wert zugeordnet werden. Dieser Wert sollte den lokalen Lebensverhältnissen angepasst sein; als untere Grenze kann beispielsweise das durchschnittliche pro Kopf Einkommen im betrachteten Land herangezogen werden (TOLLEY et al., 1994). Da es letztlich um die Bewertung von Leben in Geldwerten geht, ist dieser Ansatz ethisch nicht unumstritten. Für eine Kosten-Nutzen-Analyse ist eine Monetarisierung jedoch wichtig. Der Vorteil bei der Verwendung von DALYs ist, dass ein Geldbetrag erst ganz am Schluss der Berechnungen eingesetzt wird, so dass er nachträglich einfach verändert werden kann, falls dies in bestimmten Situationen angebracht erscheint.

Im Folgenden wird diese Methode für die Bewertung von Goldenem Reis auf den Philippinen angewendet. Hierzu wird zunächst das Problem von Vitamin-A-Mangel beschrieben, um dann die gesellschaftlichen Kosten im Land zu berechnen. In Abschnitt 4 werden die Details der Technologie erläutert, bevor die eigentliche Bewertung in Ab-

schnitt 5 durchgeführt wird. Da Goldener Reis sich noch im F&E Stadium befindet, erfolgt die Betrachtung aus einer *ex ante* Perspektive.

### 3. Vitamin-A-Mangel und seine Kosten auf den Philippinen

Vitamin-A-Mangel (VAM) wird in zwei Kategorien eingeteilt: Klinischer und subklinischer Mangel. Subklinischer VAM ist in der Regel nicht mit unmittelbaren Symptomen verbunden. Durch Schwächung des Immunsystems bringt er jedoch eine erhöhte allgemeine Erkrankungshäufigkeit und Sterblichkeit mit sich. Klinischer VAM manifestiert sich in akuten und chronischen Augenleiden und Sehstörungen. Je nach Grad und Dauer der Unterversorgung können leichte bzw. schwere Augenerkrankungen auftreten. Leichte Augenerkrankungen, wenn diagnostiziert, sind durch die Einnahme von hochdosiertem Vitamin A (VA) schnell heilbar. Schwere Augenerkrankungen hingegen führen in vielen Fällen zu Erblindung (SOMMER UND WEST, 1996). Leichte und schwere Augenerkrankungen werden in dieser Studie als vorübergehende Krankheiten eingestuft, während Erblindungsfälle als dauerhafte Erkrankung berücksichtigt werden.

Auf den Philippinen wird VAM als schwerwiegendes Gesundheitsproblem betrachtet (FNRI, 1998). Tabelle 1 zeigt das Ausmaß und die Häufigkeit der Folgekrankheiten in den späten 1990er Jahren.<sup>2</sup> Betroffen sind vor allem Kinder bis sieben Jahre ebenso wie schwangere und stillende Frauen. Männer werden in den Statistiken nicht gesondert erfasst, so dass sie hier keine Berücksichtigung finden. Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung der Gesundheitskosten. Da die Prävalenz von VAM bei Männern international gesehen aber relativ niedrig ist, dürfte der entstehende Fehler gering sein. Der Grad der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch Augenkrankheiten wurde zusammen mit lokalen Gesundheitsexperten bestimmt. Für leichte Augenkrankheiten ergibt sich ein Wert von 0,2,

während schwere Augenkrankheiten und Erblindung zu einer Beeinträchtigung von 0,5 führen. Subklinischer VAM führt nicht zu unmittelbarem Leiden, aber er erhöht die Häufigkeit und Schwere von Infektionskrankheiten. In Entwicklungsländern mit weit verbreitetem Mikronährstoffmangel sind mindestens 3 % der Säuglingssterblichkeit und 10 % der Kindersterblichkeit auf VAM zurückzuführen (WORLD BANK, 1993). Des Weiteren gehen philippinische Gesundheitsexperten davon aus, dass 6 % aller Sterbefälle bei Schwangeren und 4 % bei stillenden Müttern aufgrund von VAM auftreten. Diese Zahlen bilden die Grundlage für die DALYs Berechnungen ohne Technologie. Entsprechend internationaler Standards zur Abzinsung zukünftiger Gesundheitskosten wird ein Diskontsatz von 3 % verwendet (WORLD BANK, 1993).

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 2 dargestellt. Insgesamt führt VAM auf den Philippinen zu einem jährlichen Verlust von rund 270 000 gesunden Lebensjahren. Die größten Kosten fallen bei Kindern an, da hier die Sterblichkeitsraten viel höher sind, als in den anderen beiden Gruppen. Dieser Sachverhalt unterstreicht, dass Augenleiden nur einen Teil der gesamten Kosten darstellen. Betrachtet man jedoch nur die Verluste gesunder Lebens-

**Tabelle 1. Prävalenz und Anzahl von Vitamin-A-Mangel betroffener Personen**

|                           | Kinder (<7 Jahre)          |                      | Schwangere Frauen          |                      | Stillende Frauen           |                      |
|---------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
|                           | Prävalenz <sup>a</sup> (%) | Betroffene (Tausend) | Prävalenz <sup>a</sup> (%) | Betroffene (Tausend) | Prävalenz <sup>a</sup> (%) | Betroffene (Tausend) |
| Subklinischer Mangel      | 38,00                      | 5.082,81             | 22,20                      | 359,23               | 16,50                      | 260,36               |
| Leichte Augenerkrankungen | 0,50                       | 66,88                | 1,00                       | 16,18                | 1,60                       | 25,25                |
| Schwere Augenerkrankungen | 0,05                       | 6,69                 | 0,45                       | 7,28                 | 0,80                       | 12,62                |
| Erblindungen              | 0,03                       | 3,34                 | 0,23                       | 3,64                 | 0,40                       | 6,31                 |

<sup>a</sup> Für Erblindungen handelt es sich um Neuerkrankungsraten, die aus der Prävalenz schwerer Augenerkrankungen abgeleitet wurden (WEST UND DARNTON-HILL, 2001).

Quellen: FNRI (1993, 1998) und Schätzungen philippinischer Gesundheitsexperten.

**Tabelle 2. Verlust gesunder Lebensjahre aufgrund von Vitamin-A-Mangel (ohne Technologie)**

|                                       | Kinder  | Schwangere | Stillende | Gesamtzahl |
|---------------------------------------|---------|------------|-----------|------------|
| Durch vorzeitigen Tod verlorene Jahre | 80.040  | 2.235      | 1.424     | 83.700     |
| Durch Erkrankungen verlorene Jahre    | 59.478  | 46.590     | 80.335    | 186.403    |
| Gesamtverlust gesunder Jahre          | 139.518 | 48.826     | 81.760    | 270.103    |
| Monetärer Gesamtverlust (Mill. US\$)  | 143,7   | 50,3       | 84,2      | 278,2      |

Quelle: Eigene Berechnungen

jahre durch Erkrankungen, dann sind diese bei schwangeren und stillenden Frauen ähnlich hoch oder höher als bei Kindern. Tatsächlich treten schwere Augenkrankheiten und Erblindungen bei philippinischen Kindern seltener auf als in vielen anderen Ländern Asiens, was zum Teil auf das VA-Ergänzungsprogramm zurückzuführen ist, welches die philippinische Regierung seit den frühen 1990er Jahren speziell für Kinder durchführt (FIEDLER et al., 2000). Für die Monetarisierung der Gesundheitskosten verwenden wir als vorsichtigen Wert das philippinische pro Kopf Einkommen von 1.030 US\$ pro DALY (NSCB, 2000), so dass sich ein jährlicher Verlust von rund 278 Mill. US\$ ergibt. Dies entspricht rund 0,3 % des Bruttosozialprodukts.

<sup>2</sup> Die Gesundheitsstatistiken geben für vorübergehende Augenkrankheiten nur Prävalenzraten, nicht aber die Anzahl von Neuerkrankungen an. Für die DALYs Berechnungen wird deswegen für vorübergehende Krankheiten lediglich eine Dauer von einem Jahr angenommen. Dies ist in der Literatur der übliche Ansatz, um eine Überschätzung der Kosten zu vermeiden (BRENZEL, 1993).

## 4. Goldener Reis: Wirksamkeit und erwartete Verbreitung

Goldener Reis (GR) wurde an der ETH Zürich und der Universität Freiburg mit Hilfe der Gentechnik entwickelt. Ende der 1990er Jahre gelang es Wissenschaftlern, drei verschiedene Genkonstrukte in das Reisgenom einzuschleusen, die die Synthese von Betakarotin im Endosperm auslösen (BEYER et al., 2002). Normalerweise wird in der Reis-pflanze Betakarotin in den Blättern, nicht aber im Korn produziert, so dass es für die menschliche Ernährung unerschlossen bleibt. Seit 2001 wird am IRRI an der Technologie weitergeforscht. Ziel ist es, die verwendeten Genkonstrukte zu kontrollieren, zu verbessern und sie in beliebte Reissorten einzubauen. An die derzeitige Forschungsphase wird sich eine Testphase anschließen, während der Feld- und Fütterungsversuche durchgeführt und die Bio- und Lebensmittelsicherheit bewertet werden. Wissenschaftler haben bisher keine Anhaltspunkte für ökologische und Gesundheitsrisiken. Trotzdem können zum jetzigen Zeitpunkt noch keine endgültigen Aussagen getroffen werden. Es wird davon ausgegangen, dass GR ab 2007 auf den Markt kommen könnte. Obwohl sich die Technologie noch im F&E Stadium befindet, wird sie bereits von größeren öffentlichen Kontroversen begleitet. Eine erste Einschätzung über das ernährungsphysiologische Potential wurde kürzlich veröffentlicht (DAWE et al., 2002). Unser Ansatz geht jedoch darüber hinaus, indem er die gesundheitlichen Effekte und den erwarteten gesellschaftlichen Nutzen quantifiziert.

GR wird hauptsächlich dazu beitragen, die Prävalenz der mit VAM verbundenen Krankheiten und Todesfälle zu verringern. Gleichung (3) verdeutlichte, dass diese Verringerung eine Funktion aus Wirksamkeit und Verbreitungsgrad der Technologie ist. Da *ex ante* Studien stets mit Unsicherheit verbunden sind, betrachten wir ein pessimistisches und ein eher optimistisches Szenario, um die potentiellen Effekte von GR zu berechnen. Die beiden Szenarien unterscheiden sich in den Annahmen über bestimmte Schlüsselvariablen, die im Folgenden näher erläutert werden.

### 4.1 Wirksamkeit

Die physiologische Wirksamkeit von GR ist definiert als seine Fähigkeit, durch erhöhte VA-Versorgung den Gesundheitszustand der Konsumenten zu verbessern. Da GR Betakarotin als Vorstufe von VA enthält, muss dieses erst vom Körper aufgenommen und umgewandelt werden. Die Wirksamkeit ist also zunächst abhängig vom Betakarotiningehalt und seiner Bioverfügbarkeit.

#### Betakarotiningehalt

Die Menge an Betakarotin, die Wissenschaftler derzeit in GR einfügen können, beträgt 1,6 Mikrogramm pro Gramm trockenem Reis. Durch geringfügige Veränderungen der Genkonstrukte, wie z.B. den Einsatz wirksamerer Promotoren, könnte diese Menge jedoch weiter erhöht werden. Es wird davon ausgegangen, dass im Verlauf der weiteren Forschung homogene Linien mit einem Betakarotiningehalt von 3,0 Mikrogramm und mehr produziert werden können (DATTA, 2001; BEYER et al., 2002). Im pessimistischen

Szenario legen wir daher einen Betakarotiningehalt von 1,6 Mikrogramm pro Gramm GR zugrunde, während wir im optimistischen Szenario von 3,0 Mikrogramm ausgehen.

Verluste können bei der Lagerung und dem Kochvorgang auftreten. Für Reis, der natürlicherweise kein Betakarotin im Korn enthält, gibt es hierzu keine Erfahrungswerte. Studien zu Karotinoiden in verschiedenen Gemüsesorten zeigen, dass Nachernteverluste bei Blattgemüse mit großer Oberfläche erheblich sein können, während sie bei kompakteren Nahrungsmitteln wie Möhren in der Regel gering sind (BOILEAU et al., 1998). Außer der Größe der Oberfläche spielt aber auch die Art der Lagerung und Verarbeitung eine Rolle. Starke Sonneneinstrahlung und Kochen bei hohen Temperaturen können zu deutlichen Verlusten führen. Dämpfen bei Temperaturen unter 100°C, wie für Reis auf den Philippinen üblich, kann den nutzbaren Betakarotiningehalt aber sogar erhöhen (DIETZ et al., 1988). Dennoch wird im pessimistischen Szenario ein Nachernteverlust von 25 % berücksichtigt, während im optimistischen Szenario angenommen wird, dass keine Verluste auftreten.

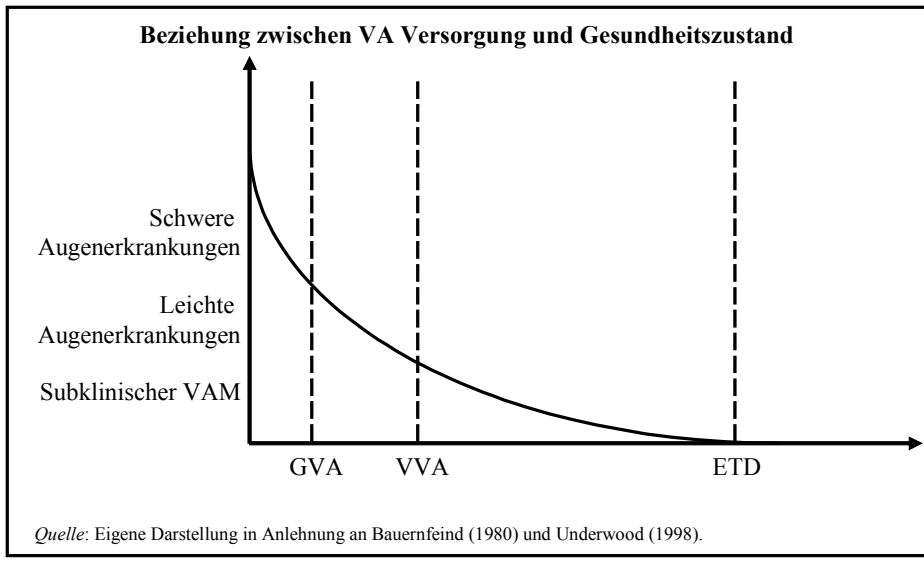
#### Bioverfügbarkeit

Bei der Absorption von Betakarotin durch den menschlichen Körper gibt es erhebliche Unterschiede zwischen Nahrungsmitteln. Allgemein hängt die Absorptionsfähigkeit vom Zustand des Betakarotins und seiner Verankerung innerhalb der pflanzlichen Zellstruktur ab. Ebenso können andere Bestandteile des Speiseplans die Absorption beeinflussen. Auf Basis neuer Forschungsergebnisse wird davon ausgegangen, dass die Bioverfügbarkeit von Betakarotin aus Obst und Gemüse etwa 12:1 ist, d.h. 12 Einheiten Betakarotin in der Nahrung ergeben letztlich eine Einheit vom Körper nutzbares VA (IOM, 2002). Für GR wurden erst in 2003 aufwendige Fütterungs- und Bioverfügbarkeitsstudien gestartet, so dass konkrete Daten noch nicht vorliegen. Deswegen verwenden wir für unser pessimistisches Szenario den allgemeinen Wert von 12:1. In Obst und Gemüse liegt Betakarotin jedoch als matrix-gebundene Substanz vor, während Reis eine einfache Struktur mit vollkommen verdaulichen Kohlenhydraten besitzt. Deswegen könnte die Absorptionsrate wesentlich höher sein. Wenn GR zusammen mit Fett in der Nahrung aufgenommen wird, könnte Betakarotin komplett aufgelöst absorbiert werden, so dass nur die Umwandlung zu Vitamin A mit einem Faktor von 2:1 zu berücksichtigen wäre (RUSSEL, 2002). Da die Fettversorgung in armen Bevölkerungsschichten aber eher gering ist, verwenden wir im optimistischen Szenario einen etwas vorsichtigeren Wert von 6:1.

#### Physiologische Wirksamkeit

Sobald Betakarotin aufgenommen und zu VA umgewandelt wurde, steht es dem menschlichen Körper für physiologische Zwecke zur Verfügung. Die Beziehung zwischen der Versorgung mit VA und dem Gesundheitszustand ist allerdings nicht linear. BAUERNFEIND (1980) und UNDERWOOD (1998) beschreiben das Auftreten von Gesundheitsproblemen als logarithmische Funktion der VA Versorgung: Bei starkem VAM ist die Reaktion auf eine verbesserte Versorgung mit VA ausgeprägter als bei geringfügigem VAM – d.h. die positiven Auswirkungen auf die Gesundheit sind verhältnismäßig größer. Abbildung 2 spiegelt diese Beziehung wider.

Abbildung 2.



Das VA Angebot ist auf der horizontalen Achse abgetragen, während der Gesundheitszustand auf der vertikalen Achse gezeigt wird. Die gegenwärtige Versorgung mit VA (GVA) liegt unterhalb der empfohlenen Tagesdosis (ETD). Die verbesserte VA Versorgung (VVA) ergibt sich dann aus der gegenwärtigen Versorgung und der Erhöhung der VA Zufuhr durch den Verzehr von GR. Selbst wenn die verbesserte VA Versorgung noch nicht die Erreichung der empfohlenen Tagesdosis sicherstellt, wird der positive Gesundheitseffekt der Technologie deutlich, insbesondere bei einer geringen ursprünglichen Versorgung. Jenseits der empfohlenen Dosis ergeben sich keine weiteren Veränderungen des Gesundheitszustands.<sup>3</sup> Ein Modell für die Berechnung der physiologischen Wirksamkeit auf Basis der dargestellten Funktion wird in ZIMMERMANN und QAIM (2002) algebraisch hergeleitet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 für die zwei Szenarien dargestellt. Die Wirksamkeit von GR ist im optimistischen Szenario erwartungsgemäß größer als im pessimistischen. Dennoch bleibt sie für alle drei betrachteten Personengruppen deutlich unter 100 %. GR allein kann

also den VAM und die damit verbundenen Gesundheitsprobleme nicht beseitigen. Das Potential zur Verbesserung der VA Versorgung und des Gesundheitszustands insgesamt ist jedoch bedeutend.

## 4.2 Verbreitungsgrad

### Technologiezugang

Der Zugang der Reisproduzenten und Konsumenten zu GR wird hauptsächlich davon abhängen, inwieweit lokal angepasste Sorten mit der Technologie ausgestattet und zugelassen werden. Obwohl die Biotechnologiediskussion auf den Philippinen über die letzten Jahre

hinweg kontrovers geführt wurde, gab das nationale Komitee für Biosicherheit kürzlich grünes Licht für den begrenzten kommerziellen Anbau von gentechnisch verändertem Mais. Dies kann als Zeichen dafür gewertet werden, dass die nationalen Behörden der Gentechnik gegenüber nicht grundsätzlich negativ eingestellt sind. Zur Zeit sind Forscher damit beschäftigt, die GR-Technologie in ertragreiche Sorten einzubauen, die auf dem Markt bereits etabliert sind, von den Armen verzehrt werden und leicht mit

Tabelle 3. Vitamin-A-(VA)-Versorgung und Wirksamkeit von Goldenem Reis (GR)

|  | Pessimistisches Szenario |            |           | Optimistisches Szenario |            |           |
|--|--------------------------|------------|-----------|-------------------------|------------|-----------|
|  | Kinder                   | Schwangere | Stillende | Kinder                  | Schwangere | Stillende |
| Reisverzehr (g/Tag) <sup>a</sup>                   | 121,0                    | 245,0      | 274,0     | 121,0                   | 245,0      | 274,0     |
| Gegenwärtige VA Versorgung (µg/Tag) <sup>b</sup>   | 234,3                    | 597,1      | 404,1     | 234,3                   | 597,1      | 404,1     |
| Empfohlene Tagesdosis für VA (µg/Tag) <sup>c</sup> | 500,0                    | 800,0      | 1.250,0   | 500,0                   | 800,0      | 1.250,0   |
| VA Defizit (µg/Tag)                                | 265,7                    | 202,9      | 845,9     | 265,7                   | 202,9      | 845,9     |
| Betakarotinaufnahme durch GR (µg/Tag)              | 145,2                    | 294,0      | 328,8     | 363,0                   | 735,0      | 822,0     |
| Davon bioverfügbares VA (µg/Tag)                   | 12,1                     | 24,5       | 27,4      | 60,5                    | 122,5      | 137,0     |
| Verbesserte VA Versorgung (µg/Tag)                 | 246,4                    | 621,6      | 431,5     | 294,8                   | 719,6      | 541,1     |
| Beitrag von GR zur Reduzierung des VA Defizits (%) | 4,6                      | 12,1       | 3,2       | 22,8                    | 60,4       | 16,2      |
| Wirksamkeit (%)                                    | 11,5                     | 24,6       | 9,7       | 48,0                    | 86,1       | 40,3      |

<sup>a</sup> Basierend auf repräsentativen Erhebungen der tatsächlich aufgenommenen Menge (FNRI, 1993).

<sup>b</sup> VA Versorgung aus allen aufgenommenen Nahrungsmitteln (FNRI, 1993).

<sup>c</sup> Basierend auf international empfohlenen Tagesdosen (IOM, 2002).

Quelle: Eigene Berechnungen

anderen Zuchtlinien gekreuzt werden können. Diese Sorten sollen kostenlos an die Reisproduzenten abgegeben werden. Private Unternehmen, die Patente für bestimmte Komponenten der Technologie besitzen, haben erklärt, auf Lizenzgebühren zu verzichten, wenn GR von Kleinbauern eingesetzt wird. Da das Saatgut von den Bauern selbst vermehrt werden kann, könnte es zu einer raschen Verbreitung über informelle Kanäle kommen. Erfahrungen während der Grü-

<sup>3</sup> Eine Überdosis VA kann toxische Folgen haben. Bei ausreichender Versorgung wird Betakarotin jedoch nicht weiter vom Körper in VA umgewandelt, sondern unverbraucht ausgeschieden (DELLAPENNA, 1999).

nen Revolution haben gezeigt, dass sich geeignete Sorten sehr schnell innerhalb des Landes verbreiten können (HAYAMI und KIKUCHI, 2000).

### Akzeptanz

In Bezug auf die Akzeptanz von GR ist bisher wenig bekannt. Lediglich seine gelbliche Färbung wurde oftmals als eine mögliche Einschränkung genannt, denn der auf den Philippinen verzehrte Reis ist meist poliert und weiß. Um in dieser Frage zu einem besseren Verständnis zu gelangen, wurden Fokusgruppendifkussionen mit Reisproduzenten und Konsumenten in zwei philippinischen Dörfern in den Provinzen Laguna und Nueva Ecija durchgeführt. Obwohl die Teilnehmer nicht repräsentativ für die philippinische Gesamtbevölkerung waren, ergaben sich wichtige Hinweise für die Einschätzung der Akzeptanz und Technologieverbreitung. Die Konsumenten waren prinzipiell sehr interessiert an mikronährstoffreichem Reis, und es wurden keine Bedenken bezüglich der Farbe geäußert. Die Diskussionen ergaben jedoch, dass Veränderungen im Geschmack ebenso wie ein höherer Preis Akzeptanzprobleme mit sich brächten. Die Bauern, die Reis zum Teil als Semisubsistenzfrucht anbauen, interessierten sich auch dafür, ob das Saatgut für den eigenen Nachbau geeignet sei. Das Ertragspotential wird ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen: Weil die meisten Konsumenten nicht bereit sind, einen höheren Preis für GR zu zahlen, würde ein technologie-bedingter Ertragsrückgang Einkommenseinbußen bedeuten, welches einer weiten Adoption entgegenstünde.

Obwohl IRRI-Wissenschaftler keine Veränderungen des Geschmacks und der agronomischen Eigenschaften erwarten, stehen entsprechende Tests erst noch bevor. Deswegen können unerwünschte Effekte nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Auch zeigen Erfahrungen mit anderen qualitätsverbessernden Technologien in Entwicklungsländern, dass gute Information und Aufklärung erfolgsscheidende Faktoren sind (LAUDERDALE, 2000). Öffentliche Kampagnen zur Aufklärung über VAM und zur Darlegung der Vorzüge und Grenzen von GR werden daher unverzichtbar sein. Vor diesem Hintergrund treffen wir für unsere Projektionen eher vorsichtige Annahmen. Im pessimistischen Szenario gehen wir davon aus, dass mittelfristig 40 % der von VAM betroffenen Reiskonsumenten auf GR umsteigen werden, während im optimistischen Szenario ein Verbreitungsgrad von 60 % angenommen wird.

## 5. Potentieller Nutzen von Goldenem Reis

### 5.1 Gerettete gesunde Lebensjahre

Unter Verwendung der Werte für die Wirksamkeit und den Verbreitungsgrad von GR wurden neue Prävalenz- und Sterblichkeitsraten hergeleitet und die verbleibenden Gesundheitskosten für beide Szenarien berechnet. Die Differenz zwischen diesen Werten und der Anzahl verlorener DALYs ohne Technologie stellt den Nutzen der Technologie dar (Tabelle 4).

**Tabelle 4. Potentieller jährlicher Nutzen von Goldenem Reis**

| Gerettete gesunde Lebensjahre   | Kinder | Schwangere | Stillende | Gesamtzahl |
|---------------------------------|--------|------------|-----------|------------|
| Pessimistisches Szenario        |        |            |           |            |
| Durch verminderte Sterblichkeit | 3.929  | 234        | 58        | 4.221      |
| Durch weniger Erkrankungen      | 2.920  | 4.872      | 3.298     | 11.090     |
| Gesamt                          | 6.849  | 5.106      | 3.357     | 15.311     |
| Monetärer Nutzen (Mill. US\$)   | 7,1    | 5,3        | 3,5       | 15,8       |
| Optimistisches Szenario         |        |            |           |            |
| Durch verminderte Sterblichkeit | 23.035 | 1.155      | 344       | 24.534     |
| Durch weniger Erkrankungen      | 17.118 | 24.062     | 19.423    | 60.602     |
| Gesamt                          | 40.153 | 25.217     | 19.767    | 85.137     |
| Monetärer Nutzen (Mill. US\$)   | 41,4   | 26,0       | 20,4      | 87,7       |

Quelle: Eigene Berechnungen

Der gesamte jährliche Nutzen beträgt im pessimistischen Szenario rund 15 000 gesunde Lebensjahre, während er im optimistischen Szenario bei über 85 000 liegt. Im Vergleich zum Ergebnis ohne GR (siehe Tabelle 2) verringern sich die Gesundheitskosten um 5,7 % und 31,5 %. Obwohl die Reduktion der durch Augenleiden verursachten Krankheitskosten bei schwangeren und stillenden Frauen ausgeprägter ist, ist der Gesamtnutzen für die Gruppe der Kinder am größten. Dieses Ergebnis wird durch die verringerten Sterblichkeitsraten bei Säuglingen und Kleinkindern dominiert. Nach dem Aufbrauchen der körpereigenen Reserven kann bei Kindern bereits moderater VAM tödliche Folgen haben, so dass eine Verbesserung der Versorgung die Sterblichkeit deutlich senken kann. Während im pessimistischen Szenario durch GR jährlich 136 Todesfälle bei Kindern verhindert werden können, wird die Anzahl der Fälle im optimistischen Szenario sogar um 798 gesenkt. Auch wenn Säuglinge im ersten Lebensjahr selbst noch keinen Reis essen, wirkt sich eine verbesserte VA Versorgung der Mütter während der Schwangerschaft und Stillzeit positiv auf ihr Immunsystem aus (NEWMAN, 1993). Für die insgesamt geretteten Lebensjahre wurde in Tabelle 4 auch wieder eine monetäre Größe angesetzt. Trotz des vergleichsweise niedrigen Werts von 1.030 US\$ pro DALY, ist der jährliche Nutzen beträchtlich.

### 5.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Für eine Kosten-Nutzen-Analyse muss der erwartete monetäre Nutzen den entsprechenden F&E Kosten in einem geeigneten Zeitrahmen gegenüber gestellt werden. Die in der Schweiz und Deutschland bereits getätigten Forschungsausgaben sind versunkene Kosten und werden deswegen nicht berücksichtigt. Betrachtet werden die Kosten für F&E am IRRI und die Aufwendungen, die für das Testen und die Verbreitung der Technologie nötig sein werden. Die einzelnen Kostenpositionen wurden von Wissenschaftlern vor Ort geschätzt und sind in Tabelle 5 dargestellt.

Die dreijährige F&E Phase zur Anpassung der Technologie an die örtlichen Verhältnisse beinhaltet die Kontrolle und Verbesserung der Genkonstrukte und ihren Einbau in beliebte Sorten. Zwar verfolgt das IRRI einen internationalen Auftrag, und die entwickelten Sorten werden auch in weitere Länder transferiert werden. Um jedoch mögliche Kostensteigerungen oder Verzögerungen zu berücksichtigen, werden diese Kosten in voller Höhe angesetzt. Anschließend ist eine dreijährige Testphase vorgesehen. Das Projektbudget

**Tabelle 5. Geschätzte Kosten für Entwicklung und Verbreitung von Goldenem Reis auf den Philippinen**

|   | Kosten<br>(Mill. US\$) |
|---|------------------------|
| 3 Jahre F&E zur Anpassung an örtliche Gegebenheiten | 1,4                    |
| 3 Jahre Testphase                                   | 2,3                    |
| Informationskampagnen (gegen Ende der Testphase)    | 7,0                    |
| Gesamtkosten vor der kommerziellen Nutzung          | 10,7                   |
| Jährliche Kosten zur Erhaltung der Züchtungslinien  | 0,5                    |

Quelle: Interview mit beteiligten Wissenschaftlern und FIEDLER et al. (2000)

beinhaltet darüber hinaus Ausgaben für die Registrierung der Sorten und die Vermarktung. Für eine breit angelegte Informationskampagne wird mit Kosten in Höhe von 7 Mill. US\$ gerechnet. Dieser Wert beinhaltet Broschüren, Werbung in Rundfunk und Fernsehen und die Ausbildung von Multiplikatoren im ländlichen Raum. Er basiert auf einer Kostenschätzung für eine ähnliche Kampagne im Rahmen des VA Ergänzungsprogramms auf den Philippinen (FIEDLER et al., 2000). Nach der Zulassung der Technologie werden jährliche Kosten für die Erhaltung der Züchtungslinien anfallen, die hier großzügig mit 0,5 Mill. US\$ veranschlagt wurden.

Auf diesen Zahlen aufbauend wurden interne Zinsfüße für die Projektinvestitionen berechnet. Dabei wurde von einem zehnjährigen Nutzenstrom nach Markteinführung der Technologie ausgegangen. Insgesamt ergibt sich somit ein Betrachtungszeitraum von 16 Jahren. Obwohl die Technologie länger Nutzen stiften können, verändern sich die Ergebnisse bei einer Ausdehnung des Zeitraums wegen der Diskontierung nur marginal. Im pessimistischen Szenario beträgt der interne Zinsfuß 66 %, während sich im optimistischen Szenario ein Wert von 133 % ergibt. Trotz großzügiger Annahmen in Bezug auf Kosten und einer eher vorsichtigen monetären Bewertung des gesunden Nutzens, sind diese Werte höher als für viele andere Agrarforschungsprojekte, die eine Verbesserung agronomischer Eigenschaften zum Ziel haben.<sup>4</sup> Diese vorläufige Kosten-Nutzen-Analyse bestätigt somit, dass die Züchtung mikronährstoffreicher Grundnahrungsmittel eine Investition mit sehr hoher sozialer Rendite sein kann.

<sup>4</sup> Studien über die soziale Rendite traditioneller Agrarforschungsprojekte liefern eine weite Spanne an Ergebnissen. In einer Meta-Analyse, die 916 Studien über Forschungsprojekte an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen erfasst, errechnen ALSTON et al. (2000) einen Median von 44%. Das arithmetische Mittel von 74% wird durch einige Ausreißer nach oben verzerrt.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit anderen Programmen zur Bekämpfung von VAM wäre durchaus interessant. Leider liegen für andere Programme keine vergleichbaren Studien vor. Eine einfache Gegenüberstellung der Kosten mag jedoch zur Einordnung der Größenordnungen dienen: Die jährlichen Kosten für das Nahrungsergänzungsprogramm auf den Philippinen belaufen sich auf geschätzte 21 Mill. US\$, während die industrielle Anreicherung von Weizenmehl mit VA 4-6 Mill. US\$ pro Jahr kostet (FIEDLER et al., 2000). Abgesehen von den Ausgaben für die Erhaltung der Züchtungslinien fallen beim GR hingegen keine wiederkehrenden Kosten an. GR ist deswegen eine nachhaltige und kostengünstige, ergänzende Maßnahme. Dies gilt insbesondere für entlegene ländliche Regionen, wo wegen der institutionellen Kosten der Verbreitungsgrad anderer Programme sehr eingeschränkt ist.

### 5.3 Sensitivitätsanalyse

Obwohl erhebliche Anstrengungen unternommen wurden, realistische Annahmen für die *ex ante* Bewertung zu treffen, sind viele der Parameter nach wie vor mit Unsicherheit behaftet. Deswegen wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, deren wichtigste Ergebnisse hier kurz diskutiert werden sollen. Zunächst wurden die Effekte höherer Nachernteverluste untersucht. Wenn GR beispielsweise unsachgerecht gelagert oder verarbeitet wird, könnte der tatsächlich aufgenommene Betakarotinanteil niedriger sein als zunächst angenommen. Tabelle 6 zeigt, dass der technologische Nutzen und die internen Zinsfüße in diesem Fall entsprechend niedriger wären. Geringere Nutzenwerte würden sich auch bei vermindertem Verbreitungsgrad ergeben. Die ursprünglichen Szenarien gehen davon aus, dass die Technologie kaum oder keine Veränderungen im Reisertrag und im Geschmack hervorruft. Deutliche Veränderungen dieser Eigenschaften würden jedoch zu Akzeptanzproblemen führen. Dies unterstreicht die Wichtigkeit, die Technologie optimal an die lokalen Gegebenheiten anzupassen. Bei hoher Akzeptanz ist längerfristig aber auch ein weiterer Verbreitungsgrad vorstellbar. Da sich GR ohne weiteres

**Tabelle 6. Auswirkungen veränderter Annahmen auf die Ergebnisse**

|                           | Pessimistisches Szenario      |                      | Optimistisches Szenario       |                      |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
|                           | Gerettete gesunde Lebensjahre | Interner Zinsfuß (%) | Gerettete gesunde Lebensjahre | Interner Zinsfuß (%) |
| Ursprüngliche Annahmen    | 15.311                        | 66                   | 85.137                        | 133                  |
| Nachernteverluste: 50 %   | 9.801                         | 51                   | 49.423                        | 110                  |
| Verbreitungsgrad: 25 %    | 9.569                         | 50                   | 35.474                        | 97                   |
| Verbreitungsgrad: 100 %   | 38.278                        | 100                  | 141.895                       | 155                  |
| Betakarotingehalt: 5 µg/g | 49.720                        | 110                  | 115.773                       | 146                  |
| Projektkosten: 150 %      | 15.311                        | 52                   | 85.137                        | 116                  |

Quelle: Eigene Berechnungen

natürlich vermehren lässt, ist eine größere Zahl von Nutznießern nicht mit proportional höheren Kosten verbunden. Deswegen würden sich nicht nur größere aggregierte Gesundheitsvorteile ergeben, sondern auch die Renditen würden beträchtlich steigen. Dieser Zusammenhang ist insbesondere auch für reiskonsumierende Länder mit größeren Bevölkerungszahlen interessant. VAM ist in Ländern wie



China, Indien und Bangladesh zum Teil noch weiter verbreitet als auf den Philippinen.

Tabelle 6 verdeutlicht auch, dass ein höherer Gehalt an Betakarotin im Reis die positiven Gesundheitseffekte der Technologie weiter verbessern könnte. Technisch gesehen ist ein Gehalt von 5 Mikrogramm durchaus vorstellbar, weil durch den transgenen Ansatz in Zukunft noch effizientere Gene identifiziert werden könnten. Allerdings müssten bei einer weiteren Steigerung mögliche Nebeneffekte in der Pflanze genau beobachtet werden. Schließlich wurde der Fall steigender Projektkosten simuliert, die sich durch unerwartete Entwicklungen ergeben könnten. Während der jährliche Nutzen hiervon unbeeinflusst bliebe, würden sich die internen Zinsfüße tendenziell verringern. Insgesamt unterstreicht die Sensitivitätsanalyse, dass die exakten Zahlen in den Szenariokalkulationen mit Vorsicht zu interpretieren sind. Dennoch sind die allgemeinen Aussagen und Ergebnisse recht robust gegenüber weiten Parametervariationen.

## 6. Schlussfolgerungen

Mikronährstoffmangel stellt in vielen Entwicklungsländern ein schwerwiegendes Problem mit hohen Gesundheitskosten dar. Agrartechnologie wird zunehmend als interessante Ergänzung zu herkömmlichen Maßnahmen der Bekämpfung diskutiert. Grundnahrungsmittelpflanzen, die durch züchterische Eingriffe essentielle Vitamine und Spurenelemente enthalten, könnten insbesondere den Armen zugute kommen, da diese sich überwiegend von Grundnahrungsmitteln ernähren. Forscher arbeiten beispielsweise an der Entwicklung von Pflanzen mit erhöhten Eisen-, Zink- und Vitamin-A-Gehalten. Solche Technologien befinden sich jedoch noch im Forschungsstadium, und die tatsächlichen Wirkungszusammenhänge und wirtschaftlichen Effekte sind noch weitgehend unbekannt. Hier wird ein gesundheitsökonomischer Ansatz hergeleitet, mit dessen Hilfe der Nutzen solcher Technologien bewertet werden kann.

Im Rahmen einer Fallstudie wird dieser Ansatz zur *ex ante* Bewertung von GR auf den Philippinen eingesetzt. Die jährlichen Gesundheitskosten von VAM durch Augenleiden und erhöhte Sterblichkeit auf den Philippinen erreichen eine Größenordnung von 0,3 % des Bruttosozialprodukts. GR hat das Potential, diese Kosten signifikant zu vermindern. Innerhalb verschiedener Szenarien wird gezeigt, dass der geschätzte gesellschaftliche Nutzen der Technologie zwischen 16 Mill. und 88 Mill. US\$ pro Jahr liegen wird. Trotzdem wird GR allein weder VAM, noch die damit verbundenen Gesundheitskosten vollständig beseitigen. Mikronährstoffmangel wird durch ein komplexes Zusammenspiel wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und kultureller Faktoren verursacht, so dass ein ausschließlich technologischer Ansatz nicht als Allheilmittel betrachtet werden kann. Der Zweck der Entwicklung von GR ist nicht, andere Maßnahmen – wie die industrielle Anreicherung von Lebensmitteln, Nahrungsergänzungsprogramme oder Aufklärungskampagnen in Bezug auf gesunde Ernährung – zu ersetzen. Die Technologie sollte vielmehr als ein ergänzendes Mittel im Kampf gegen VAM betrachtet werden. Dabei

ist GR insbesondere für den Einsatz in entlegenen ländlichen Regionen viel versprechend, denn nach den anfänglichen F&E Investitionen sind die Kosten und institutionellen Anforderungen zur Erreichung der Zielgruppe sehr viel niedriger, als bei anderen Maßnahmen. Da die Bauern das Saatgut selbst vermehren können, wird eine schnelle Verbreitung der Technologie durch informelle Kanäle ermöglicht.

Eine vorläufige Kosten-Nutzen-Analyse zeigt, dass die F&E Ausgaben für GR eine höchst profitable öffentliche Investition darstellen. Abhängig von den zugrunde liegenden Annahmen werden interne Zinsfüße von 66 % bis 133 % erreicht. Diese Werte liegen höher als die Renditen vieler Züchtungsprogramme, die darauf gerichtet sind, die agronomischen Eigenschaften von Kulturpflanzen zu verbessern. Allerdings ist im Falle von mikronährstoffreichen Grundnahrungsmitteln der Nutzen anders gelagert als bei agronomisch verbesserten Pflanzen. Erstere lindern die Gesundheitskosten von Mangelernährungen für die Gesellschaft im Allgemeinen und die Betroffenen im Speziellen, während Letztere zu höheren Realeinkommen für landwirtschaftliche Produzenten und Konsumenten führen. Der Nutzen mikronährstoffreicher Grundnahrungsmittel mag daher kurzfristig nicht unmittelbar ins Auge fallen. Die Analyse belegt jedoch klar seine große wirtschaftliche Bedeutung. Die sozialen Renditen des Forschungsprojekts könnten längerfristig sogar noch höher sein, als die hier dargestellten, weil GR auch in anderen Ländern angewendet werden wird. Zwar muss die Technologie stets an lokale Verhältnisse angepasst werden, aber trotzdem wird die am IRRI durchgeführte Forschung positive Spillover-Effekte haben. Insbesondere reisexportierende Länder – wie Thailand und Vietnam – müssen allerdings das Risiko abwägen, mit der nationalen Zulassung der transgenen Technologie ihre Exportmärkte zu gefährden. Obwohl GR sich durch seine Farbe einfach separieren ließe, ist es vor allem mit Blick auf den europäischen Markt noch unklar, wie sich die Gentechnikakzeptanz weiter entwickeln wird.

Die empirischen Untersuchungen beruhen auf vorausschauenden Annahmen, welche überprüft werden müssen, sobald sich über die nächsten Jahre hinweg die Datenverfügbarkeit verbessert. Die Sensitivitätsanalyse bestätigt, dass die Grundaussagen robust gegenüber Parametervariationen sind. Da aber ernährungsphysiologische, ökologische und agronomische Tests für GR erst noch bevorstehen, sollten die numerischen Ergebnisse der Szenarien mit Vorsicht interpretiert werden. Auch sollte darauf hingewiesen werden, dass diese Studie nur einen ersten Versuch darstellt, innerhalb eines ökonomischen Rahmens die Auswirkungen von mikronährstoffreichen Nahrungspflanzen auf die Gesundheit zu quantifizieren. Es gibt ausreichend Ansatzpunkte, die vorgeschlagene Methode weiter auszuweiten und zu verfeinern. Vor allem eine weitere Disaggregation der Zielgruppen nach Einkommensklassen, Altersgruppen und geographischer Lage könnte für politische Entscheidungsträger interessant sein. Schließlich können mit geeigneten Anpassungen der Methode auch andere Technologien – wie eisen- oder zinkhaltige Grundnahrungsmittel – bewertet werden.

## Literatur

- ACC/SCN (2000): Fourth Report on the World Nutrition Situation. United Nations Administrative Committee on Coordination, Subcommittee on Nutrition, Geneva.
- ALSTON, J.M., C. CHAN-KANG, M.C. MARRA, P. PARDEY and T.J. WYATT, T.J. (2000): A Meta-Analysis of Rates of Return to Agricultural R&D. Research Report 113, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- ALSTON, J.M., G.W. NORTON and P.G. PARDEY (1995): Science under Scarcity; Principles and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- BAUERNFEIND, J.C. (1980): The Safe Use of Vitamin A. Report of the International Vitamin A Consultative Group, International Life Sciences Institute, Washington, DC.
- BOILEAU, T.W.M., A.C. MOORE and J.W. ERDMAN JR. (1998): Carotenoids and vitamin A. In: PAPAS, A.M. (Hrsg.): Antioxidant Status, Diet, Nutrition, and Health. CRC Press, Boca Raton: 133-158.
- BEYER, P., S. AL-BABILI, X. YE, P. LUCCA, P. SCHAUB, R. WELSCH and I. POTRYKUS (2002): Golden Rice: introducing the  $\beta$ -carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. In: The Journal of Nutrition 132: 506S-510S.
- BOUIS, H.E. (2000): The role of biotechnology for food consumers in developing countries. In: QAIM, M.; KRATTIGER, A.F.; VON BRAUN, J. (Hrsg.): Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the Benefits for the Poor. Kluwer, Dordrecht: 189-213.
- BRENZEL, L. (1993): Selecting an Essential Package of Health Services Using Cost-Effectiveness Analysis: A Manual for Professionals in Developing Countries. World Bank, Washington, DC.
- CIAT/IFPRI (2002). Biofortified Crops for Improved Human Nutrition. A Challenge Program Proposal. International Center for Tropical Agriculture and International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- DATTA, S. (2001): Persönliche Kommunikation. Chief Plant Biotechnologist. Internationales Reisforschungsinstitut, Los Baños.
- DAWE, D., R. ROBERTSON and L. UNNEVEHR (2002): Golden Rice: what role could it play in alleviation of vitamin A deficiency? In: Food Policy 27: 541-560.
- DELLAPENNA, D. (1999): Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. In: Science 285: 375-379.
- DIETZ, J.M., S.S. KANTHA and J.W. ERDMAN JR. (1988): Reversed phase HPLC analysis of alpha- and beta-carotene from selected raw and cooked vegetables. In: Plant Food in Human Nutrition 38: 333-341.
- FIEDLER, J.L., D. DADO, H. MAGLALANG, N.R. JUBAN, M. CAPISTRANO and M.V. MAGPANTAY (2000): Cost analysis as a vitamin A program design and evaluation tool: a case study of the Philippines. In: Social Science & Medicine 51: 223-242.
- FNRI (1998): Fifth National Nutrition Survey. Food and Nutrition Research Institute, Department of Science and Technology, Manila.
- (1993): Fourth National Nutrition Survey. Food and Nutrition Research Institute, Department of Science and Technology, Manila.
- GREGORIO, G.B. (2002): Progress in breeding for trace minerals in staple food crops. In: The Journal of Nutrition 132: 500S-502S.
- HAYAMI, Y. and M. KIKUCHI (2000): A Rice Village Saga: Three Decades of Green Revolution in the Philippines. Macmillan Press, London.
- HORTEN, S. (1999): Opportunities for investments in nutrition in low-income Asia. In: Asian Development Review 15 (1-2): 246-273.
- IOM (Institute of Medicine) (2002): Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. National Academy Press, Washington, DC.
- LAUDERDALE, J. (2000): Issues regarding targeting and adoption of quality protein maize (QPM). Economics Working Paper 00-02, International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City.
- MURRAY, C.J.L. and A.D. LOPEZ (eds.) (1996): The Global Burden of Disease; Vol. I and II. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- NEWMAN, V. (1993): Vitamin A and Breastfeeding: A Comparison of Data from Developed and Developing Countries. Wellstart, San Diego.
- NSCB (2000): Philippine Statistical Yearbook. National Statistical Coordination Board, Manila.
- RUSSELL, R. (2002): Personal Communication. Director, Jean Mayer USDA Human Nutrition Research Center on Aging at Tufts University, Boston.
- SOMMER, A. and K.P. WEST JR. (1996): Vitamin A Deficiency: Health, Survival, and Vision. Oxford University Press, New York.
- TOLLEY, G.S., D.S. KENKEL and R.G. FABIAN (1994): Valuing Health for Policy: An Economic Approach. University of Chicago Press, Chicago.
- UNDERWOOD, B.A. (1998): Prevention of vitamin A deficiency. In: IOM: Prevention of Micronutrient Deficiencies. National Academy Press, Washington, DC: 103-166.
- WEST JR., K.P. and I. DARNTON-HILL (2001): Vitamin A deficiency. In: Semba, R.D., Bloem, M.W. (eds.): Nutrition and Health in Developing Countries. Humana Press, Totowa: 267-306.
- WORLD BANK (1994): Enriching Lives: Overcoming Vitamin and Mineral Malnutrition in Developing Countries. World Bank, Washington, DC.
- (1993): World Development Report; Investing in Health. Oxford University Press, New York.
- ZIMMERMANN, R. and M. QAIM (2002): Projecting the Benefits of Golden Rice in the Philippines. ZEF Discussion Papers on Development Policy 51. Zentrum für Entwicklungsforschung, Universität Bonn, Bonn.

## Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wurde finanziell durch die Eiselen-Stiftung, Ulm, die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt. Wir möchten den Wissenschaftlern am Internationalen Reisforschungsinstitut (IRRI) für die logistische Unterstützung bei den Datenerhebungen auf den Philippinen danken. Hilfreiche Kommentare erhielten wir von Joachim von Braun, Howarth Bouis, Ingo Potrykus und zwei anonymen Gutachtern dieser Zeitschrift.

Kontaktautor:  
**DR. MATIN QAIM**  
 Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF)  
 Walter-Flex-Str. 3, 53113 Bonn  
 Tel.: 02 28-73 18 72, Fax: 02 28-73 18 69  
 e-mail: mqaim@uni-bonn.de