

# **Von Malthus zum Treibhauseffekt - Landwirtschaft und Welternährung als Prognoseproblem**

From Malthus to the greenhouse effect - Agriculture and the world food supply as a prediction problem

Markus F. HOFREITHER

## **Einleitung**

Das ausgeprägte Arbeitsteilung im heutigen Wirtschaftsleben hat die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Menschen enorm erhöht. Weil die Mehrzahl unserer Entscheidungen das explizite oder implizite Eingehen von Zukunftsverträgen bedingt, stellen Prognosen einen unverzichtbaren Input für den Erfolg unseres Handelns dar und sind damit ein nicht wegzudenkender, integraler Bestandteil des täglichen Lebens geworden. In der Landwirtschaft waren meteorologische Prognosen immer schon von zentraler Bedeutung, heute kommt der Prognose von Preisen und anderen agrar- bzw. gesamtwirtschaftlichen Größen zumindest gleich hohe Relevanz zu<sup>1</sup>. Der konkrete Nutzen derartiger Prognosen ist primär von deren Qualität und Verlässlichkeit abhängig.

Prognosen sind jedoch kein Phänomen der Neuzeit. Der Mensch hat immer schon versucht, Hinweise auf sein zukünftiges Schicksal zu entdecken. In den frühen Perioden der Menschheitsgeschichte waren diese Versuche primär von mystisch-religiösen Beweggründen ge-

---

<sup>1</sup> Für bestimmte Produktbereiche ist der wichtigste Einflussfaktor jedoch die Agrarpolitik, deren Entwicklung zu den am schwierigsten zu prognostizierenden Bereichen gehört, wodurch der Landwirt in diesen Marktsegmenten immer einem „Politikänderungsrisiko“ unterliegt.

prägt. War der Zukunftsseher in dieser Zeit noch der Mittler zwischen einer allwissenden Gottheit und den Menschen, so haben in der Zwischenzeit wissenschaftliche Methoden die Metaphysik zurückgedrängt, wenn auch nicht eliminiert. Die Einträglichkeit des Prognosehandwerks ist jedoch weitgehend unabhängig von der angewandten Prognosetechnik: vermutlich konsumieren täglich mehr Menschen astrologische Vorhersagen in Form von Horoskopen als die für sie vermutlich relevanteren, aber mühsamer zu entschlüsselnden Aussagen von Wirtschaftsforschern. Durch das oft mit bewundernswertem Geschick formulierte und daher „richtige“ persönliche Horoskop kann das Vertrauen in die Aussagekraft der Stellung des Uranus zum Saturn höher sein als jenes in wissenschaftliche Vorhersagen.

Dennoch basiert die Vorhersagbarkeit eines Ablaufes oder eines Ereignisses in aller Regel auf möglichst detaillierten Kenntnissen über dessen Verursachung. Methodisch umfassen wissenschaftliche Vorhersagen das gesamte Spektrum von simplen Trendfortschreibungen bis hin zu Simulationsmodellen mit oft zig-tausend Gleichungen zur Prognose von detaillierten gesamtwirtschaftlichen oder sektorbezogenen Variablen. Trotz der enormen Fortschritte haben auch hoch entwickelte wissenschaftliche Prognoseverfahren ihre natürlichen Grenzen. Die Vorhersagen renommierter Wirtschaftsforscher beruhen nicht allein auf dem Einsatz formaler wissenschaftlicher Vorhersagemethoden, sondern beinhalten in den meisten Fällen auch informelle, intuitive Erfahrungskomponenten. Es wäre daher verfehlt, sich von der Weiterentwicklung formaler Methoden in absehbarer Zeit einen Zustand zu erwarten, in dem alle Vorgänge fehlerfrei vorhersagbar werden. Ein Teil der Zukunft wird immer hinter einem Vorhang aus Unwissenheit verborgen bleiben, auch wenn dieser Teil durch laufende Fortschritte in der Prognosetechnik sukzessive kleiner werden sollte.

Dieser Beitrag versucht, die Entwicklung, Funktionsweise und Grundproblematik von Prognosen am Beispiel einer zentralen Funktion der Landwirtschaft aufzuzeigen: ihrer Fähigkeit, eine steigende Weltbevölkerung ausreichend mit Nahrungsmitteln zu versorgen. Nach einer kursorischen Darstellung der historischen Entwicklung und Aufgabenstellung von Prognosen werden grundlegende methodische und wissenschaftstheoretische Aspekte überblicksartig dargestellt (Abschnitt 2). Abschnitt 3 umfasst einen historischen Vergleich der Sicht der Entwicklung der (Welt)Ernährungssituation zwischen Malthus und

den neo-malthusianischen Positionen in den 70er Jahren unseres Jahrhunderts. Die Ergebnisse von Prognosen in Bezug auf die nicht erst seit Malthus populäre Frage nach der Versorgbarkeit einer dramatisch zunehmenden Weltbevölkerung im 21. Jahrhundert finden sich in Abschnitt 4. Abschließend werden die diversen Prognosen zur Welternährungssituation sowie ihre wesentlichen Schwächen vergleichend beurteilt (Abschnitt 5).

## **1 Entwicklung und Funktionen von Prognosen**

### **1.1 Vorhersagen im Wandel der Zeit**

Die Entwicklungsdynamik menschlicher Gemeinwesen war in früheren Zeiten sehr schwach ausgeprägt, wodurch Vorhersagen im Vergleich zu heute von deutlich geringerer Relevanz waren. Dennoch haben Vorhersagen in der gesamten Menschheitsgeschichte eine wesentliche Rolle gespielt. Dadurch hat auch die Entwicklung der Zukunftsforschung zu einer sehr profanen Berufszunft bereits sehr früh begonnen.

Die Ursprünge der Geschichte der Zukunftsschau liegen im Bereich der Wetter- und Himmelsbeobachtungen, wobei gerade das Wissen um Himmelsphänomene von einschlägig gebildeten Priestern und Propheten geschickt zur Festigung ihrer Macht genutzt wurde<sup>2</sup>. Die typischen Anwendungsfälle für Prognosen von nationaler Relevanz standen in Zusammenhang mit dem Ausgang kriegerischer Konflikte, weil nur diese auf absehbare Zeit die Lebensumstände massiv verändern konnten. Daneben war in jeder Epoche die Frage nach dem langfristigen Bestand eines Gemeinwesens von zentralem Interesse. Diese Frage zieht sich von der Apokalypse des heiligen Johannes über die Prophezeiungen des Nostradamus bis zu Oswald Spenglers „Untergang des Abendlandes“.

---

<sup>2</sup> Beispiele dafür sind die Priester-Astrologen in Chaldäa, die ihre Prognosen sehr gezielt zur recht eigennützigen Absicherung ihrer Situation benutzten, aber auch die verschiedenen Orakelstätten im alten Griechenland, die ihre Weissagungen ebenfalls sehr genau daraufhin überprüften, inwieweit sie selbst daraus Schaden nehmen könnten (SWOBODA, 1979).

Neben diesen eher metaphysischen Fragestellungen waren aber auch Probleme materieller Natur Gegenstand des Interesses, primär die Sorge um die sichere Versorgung mit Nahrungsmitteln. Durch eine Textstelle bei Tertillianus (200 AD), welche recht exakt ökologische Probleme durch die Ausweitung der menschlichen Gemeinschaft beschreibt, wird deutlich, dass bereits zu dieser Zeit ein umfassendes Problemverständnis gegeben war (JOHNSON, 2000). Noch am Beginn des Industriezeitalters wurde von Th. Malthus auf einer wissenschaftlichen Basis eine sehr pessimistische Sicht der Entwicklungsperspektiven der Menschheit hergeleitet. In derselben Gedankenwelt - aber mit moderneren Methoden - argumentierten die „prophets of doom“ unseres Jahrhunderts, primär im Umkreis des „Club of Rome“. Hier werden wissenschaftliche Methoden als Basis für Weltuntergangsszenarien verwendet, welche die Argumentation für Dritte nachvollziehbar machen, ohne dass dies jedoch bereits die Gewähr für die Richtigkeit der getroffenen Aussagen darstellen würde.

Mit der Aufklärung und dem Glauben an die Überwindung der metaphysischen und theokratischen Denkstrukturen wurde die Vorhersagekunst immer mehr zu einem auf „wissenschaftlichen“ Methoden beruhenden Ersatz für Religion und Aberglauben. Vom Begründer der modernen Soziologie, Auguste Comte, wurde die optimistische Auffassung vertreten, eine Wissenschaftsdisziplin „Sozialphysik“ könnte zu einer Art von moderner Universalwissenschaft ausgebaut werden, welche in allen Lebensbereichen „die Zukunft durch Beobachtung der Vergangenheit entschleiern“ könne. Comte war allerdings Realist genug, um eine klare Trennlinie zwischen vom Menschen beeinflussbaren Vorgängen und naturgesetzlichen Abläufen zu ziehen.

Aus heutiger Sicht erscheinen die zur Verfügung stehenden Prognose-techniken hoch entwickelt und leistungsfähig, wofür sowohl die theoretische Entwicklung in den relevanten Wissenschaftsdisziplinen als auch die enormen Fortschritte im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik verantwortlich zeichnen. Trotz dieser Fortschritte in den letzten zwei Jahrhunderten ist die Anwendung dieser Erkenntnisse für verlässliche Zukunftsprognosen doch immer noch mit mehr oder weniger hohen Unsicherheiten behaftet. Einige Ursachen dafür werden in den folgenden Abschnitten beleuchtet.

## 1.2 Wissenschaftstheoretische Perspektive

### 1.2.1. Eigeninteressen der Prognostiker

Prognostiker leben davon, dass sie recht behalten: Gelingt es ihnen nicht, die Vorzüglichkeit ihrer Vorhersagen zu beweisen, verlieren sie ihre Existenzberechtigung. Das seit Jahrtausenden unverändert gültige Kriterium ist das tatsächliche Eintreffen eines vorhergesagten Ereignisses. Wissenschaftliche Methoden sind eine Möglichkeit, die Erreichung dieses Zieles zu verbessern. Aber auch bei einer auf Zufall beruhenden Prognosetechnik, deren Erfolgsquote zwangsläufig in der Nähe von 50% liegt, kann durch geeignete Mechanismen nachgeholfen werden: einerseits durch eine aktive Öffentlichkeitsarbeit mit Betonung auf den erfolgreichen Prognosen, andererseits durch eine vorausschauende Mehrdeutigkeit in der Formulierung von Weissagungen<sup>3</sup>. Noch heute sind profunde Kenntnisse in angewandter Psychologie der wichtigste Input für moderne Hellseher, weil sie es zulassen, auf einzelne Personengruppen mit hoher Wahrscheinlichkeit zutreffende Merkmale zu erkennen.

Auch aus unserer Zeit gibt es sehr gute Beispiele, wie prominente „Futurologen“ ihre Erfolgswahrscheinlichkeit maximieren. So verdeutlicht ein genauer Blick auf die in den Prognoseszenarien Herman Kahns<sup>4</sup> enthaltenen Spielräume in Bezug auf nicht erfasste Möglichkeiten, dass diese sehr klein gehalten wurden, indem einerseits die vier Grundsznarien fast alle erdenklichen Entwicklungsvarianten bereits abdeckten und zudem die angegebenen Bandbreiten für „richtige“ Prognosen enorm großzügig bemessen waren. Eine zweite Möglichkeit

---

<sup>3</sup> Besonders die Weissagungen der altgriechischen Orakelstätten gelten in diesem Zusammenhang auch heute noch als Musterbeispiel, indem z. B. Sätze formuliert wurden, die keine eindeutige Antwort nach dem Nominativ bzw. Akkusativ zuließen („Wahrlich, das Volk der Römer könnte Pyrrhus besiegen“), oder aber im Nachhinein die Deutungen der Orakelkunden als fehlerhaft „nachgewiesen“ wurden (SWOBODA, 1979).

<sup>4</sup> Herman Kahn war das „Flaggschiff“ des Hudson Institutes und hatte anlässlich des 200-Jahr-Jubiläums der USA mit „The Next 200 Years“ (1976) eine sehr optimistische Vorhersage über die Zukunft veröffentlicht, welche unveränderte wirtschaftliche Prosperität ohne irgendwelche schwerwiegenden Ressourcenknappheiten projizierte. Lediglich einige Umweltprobleme wurden als möglich, aber wenig wahrscheinlich angeführt (AYRES, 1993).

für weitgehend risikofreie Prognosen liegt in einer weit in die Zukunft verlagerten Prognoseperiode bzw. in der Wahl eines medial gut vermarktbar Prognoseobjektes, welches diese Eigenschaft mehr oder weniger erzwingt. Die „Weltuntergangsszenarien“ der Forscher im Umkreis des „Club of Rome“ in den 70er Jahren sind gute Beispiele für diese Variante, die zu millionenfach verkauften Bestsellern führten.

### 1.2.2. Prognosen als wissenschaftliche Beratungsprodukte

Vorhersagen über die Zukunft können das Ergebnis wissenschaftlicher Aktivitäten darstellen, müssen dies jedoch nicht. Die kommerziell vermarkteten Prognosen eines privaten Konjunkturforschungsinstituts, welches dafür ein dem Stand der Forschung entsprechendes Simulationsmodell einsetzt, fallen sicherlich in gleichem Maße in die Kategorie „wissenschaftlich“ wie analoge Aktivitäten eines universitären Forschers. Die Prognose einer sich im kommenden Jahr verdoppelnden Arbeitslosenrate kann jedoch genauso gut das Produkt eines Astrologen oder eines Hellsehers sein, wodurch sie gemeinhin als unwissenschaftlich gelten wird.

Die Trennlinie zur „Wissenschaftlichkeit“ wird auf einfache Weise so definiert, dass die getroffenen Aussagen drei Kriterien genügen müssen:

- die strikte Beachtung der Regeln der Logik in der Erkenntnisgewinnung sichert die *Ableitungsrichtigkeit und Widerspruchsfreiheit* von Prämissen und Konklusionen;
- *intersubjektive Verständlichkeit* wissenschaftlicher Aussagen macht die korrekte Interpretation dieser Aussagen durch Dritte möglich;
- *intersubjektive Prüfbarkeit* schließlich versetzt Dritte auch in die Lage, die Lösung des Wissenschaftlers nachzuvollziehen.

Ob die Qualität wissenschaftlicher Prognosen besser ist als Vorhersagen von Nicht-Wissenschaftlern, ist empirisch einfach nachzuprüfen und muss durchaus nicht in jedem Einzelfall zugunsten der Wissenschaft ausfallen. Im Aggregat gesehen sollten wissenschaftliche Prognosen jedoch signifikant bessere Ergebnisse aufweisen.

Prognosen - seien sie nun wissenschaftlich oder nicht - werden im wirtschaftlichen und politischen Bereich oft als Instrument eingesetzt. Der zentrale Mechanismus dafür ist die Reaktion von Individuen auf für sie relevante Informationen. Prognosen werden dabei in der Regel das Ergebnis von Beratungsaufträgen von Unternehmern, Politikern

oder Interessenvertretern an Wissenschaftler sein<sup>5</sup>. Je nach dem intendierten Zweck des Beratungsausgangs lassen sich derartige Aktivitäten grundsätzlich in drei Bereiche untergliedern (HOFREITHER, 1989):

1. Prognosen in Form von *technischen Gutachten* stellen quasi die Idealform wissenschaftlicher Beratungsaktivitäten dar: Der Auftraggeber sieht sich mit einem Problem konfrontiert, für welches er selbst keine befriedigende Lösung hat. In diesem Fall wird der Auftraggeber einen möglichst kompetenten Wissenschaftler mit der Analyse des Problems betrauen und das Ergebnis als Resultat einer objektiven Problemlösung interpretieren. Als 'technisch' wird dieses Gutachten bezeichnet, weil hier subjektive Wertungen soweit wie möglich - im Idealfall völlig - ausgeschlossen sind.
2. Prognosen in Form von *ideologischen Gutachten* liegen dann vor, wenn der Auftraggeber einer Prognose bereits das „richtige“ Ergebnis kennt und diese Position wissenschaftlich abzusichern wünscht. Wissenschaft wird dabei - wie früher die Magie - als Rechtfertigungsinstrument für heikle Entscheidungen benutzt. Die Prognose muss dafür zwar den gewünschten ideologischen 'bias' enthalten, die für die Widerstandsfähigkeit gegenüber oppositioneller Kritik erforderliche wissenschaftliche Qualität darf dadurch aber möglichst nicht beeinträchtigt werden.
3. Von Prognosen in Form von *strategischen Gutachten* wird dann gesprochen, wenn es dem Auftraggeber nicht um den Inhalt, sondern um mit der Erstellung verbundene Randereignisse geht. So kann die wissenschaftliche Reputation des Prognostikers den Inhalt glaubwürdiger machen, der mit der Erstellung eines Gutachtens verbundene Zeitaufwand eine politische Schonfrist verschaffen, oder eine im Honorar versteckte Subvention zum Aufbau eines Forschungsinstituts dienen.

In der Praxis dürften sich die hier unterschiedenen drei Motive für wissenschaftliche Prognosen selten klar differenzieren lassen. Oft finden sich Elemente mehrerer Grundformen in einem Beratungsvorgang und nicht selten wird die Anreizstruktur des Beraters und damit u. U. die

---

<sup>5</sup> In selteneren Fällen werden Wissenschaftler von sich aus tätig, um mit ihrer Prognose Einfluss auf den herrschenden gesellschaftlichen Grundkonsens in Bezug auf eine Fragestellung einzuwirken (HOFREITHER, 1989).

Eigenschaft des Beratungsprodukts von der organisatorischen Stellung gegenüber dem Auftraggeber mitbestimmt. Dazu kommt noch, dass sich die Auftraggeber in der Regel nicht mit den oft komplizierten Hintergründen einer Prognose auseinandersetzen, sondern sich ohne Verantwortung für den Inhalt einfach darauf verlassen wollen (FESTA, 1980).<sup>6</sup>

### 1.3 Methodische Perspektive

Prognosen in historischer Zeit können sowohl das Ergebnis intuitiver als auch formaler Methoden sein. In beiden Fällen stellen Erfahrungen aus zurückliegenden Perioden eine wesentliche Erkenntnisquelle dar. Vom Erfahrungsobjekt her betrachtet haben naturwissenschaftliche Prognosen zwei Vorteile gegenüber sozialwissenschaftlichen Vorhersagen: Zum einen bestehen in vielen Bereichen der Naturwissenschaften vergleichsweise robuste Gesetzmäßigkeiten, zum anderen ist das konkrete Erkenntnisobjekt in der Regel nicht in der Lage, in Kenntnis einer Prognose sein Verhalten zu ändern und damit deren Erfolg zu beeinflussen. Dieser Umstand macht selbsterfüllende (bzw. selbstzerstörende) Prognosen zu einem typischen und subtilen Phänomen der Sozialwissenschaften: Die Prognose – mag sie auch für sich gesehen falsch (richtig) gewesen sein – erfüllt (zerstört) sich dadurch, dass sie der betroffenen Bevölkerungsgruppe zur Kenntnis gebracht wird.

Den Erfolg einer Prognose objektiv zu beurteilen, ist schwieriger als man auf den ersten Blick vermuten könnte. Nur im unrealistischen Falle eines linearen deterministischen Prozesses bzw. Systems kann das Ergebnis einer Vorhersage als unbedingte Punktprognose vorliegen. Bei linearen Systemen mit stochastischer Datengenerierung lässt sich zumindest der Unsicherheitsbereich der Prognose durch das Konfi

---

<sup>6</sup> Einen Einblick in die Probleme wissenschaftlicher Politikberatung im Agrarbereich bieten einige Beiträge in einer Schwerpunktnummer der Agrarwirtschaft aus dem Jahr 1978 (DE HAEN, 1978; SCHMITT, 1978; WILLER, 1978; WÖHLKEN, 1978).



denzintervall statistisch präzise angeben<sup>7</sup>. Basiert die Vorhersage dagegen auf einer nicht-linearen Modellstruktur, dann kann das Prognoserisiko in der Regel nur durch Sensitivitätsanalysen illustriert werden. Datengenerierungsprozesse, die auf Prozessen mit chaotischem Verhalten beruhen, entziehen sich u. U. völlig einer Prognostizierbarkeit.

Der Erfolg einer naturwissenschaftlichen Prognose ist auch für Laien regelmäßig im Bereich der Meteorologie relevant: Fehlprognosen können nicht nur den Erfolg eines Ausfluges verhindern, sondern durchaus respektable Schäden in den Bereichen Landwirtschaft, Bauwesen oder Tourismus verursachen<sup>8</sup>. Unterschiede zwischen tatsächlichem und prognostiziertem Wetter können jedoch aus recht unterschiedlichen Gründen auftreten: Zum einen, weil entweder die theoretischen Grundlagen und (oder) die verfügbaren empirischen Daten fehlerhaft oder unzureichend sind. Allerdings kann es auch Situationen geben, in denen die tatsächliche (Wetter)Entwicklung „falsch“ läuft, weil ein mit sehr niedriger Wahrscheinlichkeiten bewerteter Faktor unerwartet zur zentralen Bestimmungsgröße wurde. Schließlich gibt es Situationen, in denen nicht mit akzeptabler Fehler-toleranz zwischen zwei unterschiedlichen Verläufen mit annähernd gleicher Wahrscheinlichkeit differenziert werden konnte. Schließlich gibt es aber auch im traditionellen Sinne grundsätzlich nicht vorhersagbare Verhaltensmuster, deren Existenz und Relevanz erst in

---

<sup>7</sup> Darin liegt vielleicht einer der Fehler der mitteleuropäischen Art der Präsentation von Wetterprognosen, die auf die z. B. in den USA übliche Angabe von Wahrscheinlichkeiten verzichtet: Dadurch entsteht für manche Menschen der Eindruck, die Wetterprognose sei dann falsch, wenn Regen vorhergesagt wurde, der Blick auf den Himmel jedoch Sonnenschein ergibt. Eine objektive Beurteilung der Prognose muss den Anteil an Sonnengebieten sowie die zeitliche Dauer mit der prognostizierten Wahrscheinlichkeit ihres Eintreffens vergleichen.

<sup>8</sup> Ein drastisches Beispiel dafür ist eine berühmt gewordene Wetterprognose für den Ostersonntag 1957: nach einigen regnerischen Tagen sollte am Karsamstag Wetterbesserung eintreten und der Ostersonntag mild und freundlich werden. Tatsächlich sanken die Temperaturen bis nahe zum Gefrierpunkt und über weite Teile Österreichs fiel Schnee. Fast alle Alpenpässe waren gesperrt, Urlauber wurden mittels Hubschraubern versorgt und in Kärnten tötete eine Lawine acht Menschen. Tausende Menschen konnten auch am Montag aufgrund der immer noch bestehenden Behinderungen ihren Arbeitsplatz nicht erreichen (SWOBODA, 1979, 15ff.).

letzter Zeit durch Anwendungen der so genannten „Chaostheorie“ auf unterschiedliche Bereiche aufgezeigt wurde und die auch in der Ökonomie zunehmend Anwendung findet. Bei der Beurteilung der Richtigkeit von Prognosen sind diese Unterschiede in den Ursachen von Prognoseunsicherheiten explizit zu berücksichtigen.

In der Regel basieren auch sozialwissenschaftliche Prognosen auf ausgefeilten formalen Methoden und unterliegen damit ähnlichen Problemen wie naturwissenschaftliche Vorhersagen. Von der Prognosemethodik lassen sich im Zeitreihenbereich grundsätzlich Strukturmodelle und Zeitreihenmodelle unterscheiden. *Strukturmodelle* stellen darauf ab, den Objektbereich durch einen Satz von Verhaltensbeziehungen in Bezug auf endogene Größen - ergänzt durch Identitäten - möglichst vollständig abzubilden. Bei der Konstruktion des Modells spielen die zugrunde liegenden theoretischen Erkenntnisse in Bezug auf den Objektbereich eine dominierende Rolle. Im Gegensatz dazu begnügen sich Modelle in „reduzierter Form“ mit der Darstellung der Zusammenhänge zwischen den unmittelbar interessierenden Variablen, während der Rest des Objektbereichs quasi als „black box“ ignoriert wird. Weil sie sich nicht auf einen expliziten kausalen Rahmen stützen sind derartige Modelle in vielen Fällen „atheoretisch“ in Bezug auf die abgebildeten Inhalte, nicht jedoch in Bezug auf die angewandte Methodik.

Eine wichtige methodische Ausprägung innerhalb dieser letztgenannten Gruppe stellen *Zeitreihenmodelle* dar, deren Vorhersagen (fast) ausschließlich auf dem empirischen Verhalten der zu prognostizierenden Größe in der Vergangenheit beruhen. Daraus werden typische Muster zu isolieren gesucht, die eine brauchbare Information zur Vorhersage des künftigen Verhaltens darstellen<sup>9</sup>. Dieser Verzicht auf eine explizite theoretische Basis kann daraus resultieren, dass z. B. keine Informationen über die kausalen Verursachungen zwischen relevanten Variablen vorliegen, keine Daten für die aus theoretischer Sicht bestimmenden exogenen Größen zur Verfügung stehen, oder aber die darauf basierenden Schätzungen des Modells so unbefrie-

---

<sup>9</sup> Dabei lassen sich univariate Modelle (AR- und MA-Ansätze), die sich ausschließlich auf das Verhalten der Prognosevariablen beziehen, und multivariate Modelle, in erster Linie VAR-Modelle, unterscheiden, die eine Generalisierung des AR-Ansatzes auf ein System von Variablen darstellen.

digend ausfallen, dass eine Prognose auf dieser Basis nicht vertretbar erscheint<sup>10</sup>.

Eine völlig neue Sichtweise in Bezug auf die Prognostizierbarkeit von Verläufen ergibt sich aus der neueren Forschung im Bereich nicht-linearer Systeme. Während in der Vergangenheit zumeist versucht wurde, nur lineare Modelle zum Einsatz zu bringen, weil deren Eigenschaften durch explizite Lösung des Gleichungssystems zu ermitteln waren, hat der enorme Zuwachs in der verfügbaren Rechenleistung zu einer verstärkten Befassung mit nicht-linearen Modellen geführt. Erst diese Rechenleistung machte es möglich, iterative numerische Methoden zur systematischen Erforschung der Eigenschaften von bisher vornehmlich eindimensionalen Systemen. Eine wichtige Erkenntnis bestand darin, dass auch rein deterministische Systeme „chaotische“ Ergebnisse erbringen können (CREEDY und MARTIN, 1994). In der Ökonomie sind vor allem Wechselkurse, Aktienmärkte oder Konjunkturverläufe – also Phänomene mit variabler Zyklizität – bevorzugte Anwendungsgebiete für diese Forschungsaktivitäten. Die Erkenntnisse dieser Forschungsrichtung sind von hoher Relevanz für Vorhersagen, die auf nicht-linearen Systemen beruhen. Je nach Eigenschaft des Systems können Prognosen z. B. nur für einen beschränkten, meist sehr kurzen Zeitraum verlässlich und dabei bereits sehr stark von kleinen Schwankungen der Anfangsbedingungen abhängig sein. Andererseits kann für langfristige Vorhersagen oft zwar der Bereich, innerhalb dessen sich die Lösung befinden wird, recht genau eingegrenzt werden, die eigentliche Lösung bleibt jedoch dem Zufall überlassen.

Unabhängig von der Art der Datengenerierung bzw. dem zugrunde liegenden System sollte der Einfluss unterschiedlicher Annahmen in Bezug auf die vorgegebenen exogenen Größen einer Modellprognose durch entsprechende Szenarienanalysen auch für den nicht spezialisierten Nutzer dieser Informationen ausreichend dokumentiert werden, weil nur damit auch für Nichtfachleute ein objektiver Ein-

---

<sup>10</sup> Eine andere Ursache für den Verzicht auf ein Strukturmodell kann daraus resultieren, dass die Prognose von erforderlichen exogenen Variablen so schwierig und unzuverlässig ist, dass der Prognosefehler des Strukturmodells akzeptable Ausmaße übersteigt (PINDYCK, RUBINFELD, 1991).

druck von der Schwankungsbreite einer Prognose vermittelt werden kann (HOFREITHER, 1989).

## 2 Ernährung und Umwelt als Prognoseproblem

### 2.1 Das „Gesetz“ von Malthus

Wann immer die Frage der ausreichenden Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln für eine wachsende Bevölkerung angesprochen wird, kommt der Name von Thomas Robert Malthus ins Spiel. Obwohl dieses Problem bereits weit früher in verschiedenen Quellen behandelt worden war<sup>11</sup>, blieb es Malthus vorbehalten, im Jahr 1798 eine erste Theorie des Bevölkerungswachstums zu entwickeln (MALTHUS, 1966). Die analytischen Konsequenzen von Malthus' Überlegungen waren ein wichtiger Input bei der Entwicklung des klassischen Theoriegebäudes der Ökonomie. Noch heute bekannte Versatzstücke sind die Subsistenztheorie des Lohnes oder die Rolle der Landwirtschaft aus ricardianischer Sicht.

Die zentrale Aussage Malthus' beruhte auf drei Annahmen (BLAUG, 1985): (1) die biologische Reproduktionskapazität der Menschen übersteigt das physische Potential zur Steigerung der Nahrungsmittelverfügbarkeit; (2) das Bevölkerungswachstum unterliegt einer Reihe von Beschränkungen und Einflussmöglichkeiten, die sich in letzter Konsequenz aber immer auf die Geburten- oder die Sterberate auswirken; (3) die dominierende Restriktion für das Bevölkerungswachstum ist das Nahrungsangebot. Er leitete aus wenig verlässlichen Bevölkerungsdaten der Kolonien in Nordamerika ab, dass sich eine Bevölkerung ohne Wachstumsbeschränkungen alle 25 Jahre verdoppeln würde, was einer jährlichen Wachstumsrate von etwa 3%

---

<sup>11</sup> Das vermutlich älteste Zitat stammt bereits aus der Bibel (Ecclesiastes, 5), in der sinngemäß angemerkt wird, dass mit der Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln auch die Zahl der Esser zunehme (zit. nach JOHNSON, 2000).

entspricht<sup>12</sup>. Aus der durch das Gesetz abnehmender Grenzerträge vorgegebenen Unmöglichkeit, die Nahrungsmittelmenge in der Alten Welt alle 25 Jahre zu verdoppeln, ergab sich für ihn die berühmt gewordene Schlussfolgerung. Der von Malthus konstruierte Kontrast zwischen linearer Zunahme des Nahrungsmittelangebots und geometrischem Wachstum der Bevölkerung hatte deshalb so großen Einfluss, weil er intuitiv verständlich war und fast den hypnotischen Charakter eines überzeugenden Werbeslogans unserer Zeit innehatte.

Dieser vereinfachte Inhalt der Theorie Malthus' bezieht sich aber eigentlich nur auf die erste Ausgabe seines „*Essay on the Principles of Population*“. Das dort dargestellte Modell der Bevölkerungsentwicklung bildete exakt die Gegebenheiten der letzten Jahrhunderte bis in die Zeit von Malthus ab, der aber bereits in dieser Fassung vage auf die Wahrscheinlichkeit einer graduellen Verbesserung der Situation in den kommenden Jahren hinwies. Ein drei Jahre später durchgeführter Bevölkerungszensus erbrachte das überraschende Ergebnis, dass die Einwohnerzahl Englands rapide anstieg. Dieser Umstand veranlasste Malthus in seiner zweiten Ausgabe im Jahr 1803, einen zusätzlichen Faktor in seine Theorie zu integrieren, der eine Abänderung der Konsequenzen ermöglicht: der Wunsch nach selbstgesteuerter Verbesserung der Lebensumstände, primär im Sinne der Veränderung der Geburtenrate.

Die Frage, ob Malthus' Theorie und damit die daraus abgeleiteten Prognosen nun falsch oder richtig sind, ist nicht so eindeutig zu beantworten, als dies auf den ersten Blick erscheinen mag. Die Ansicht, Malthus' Theorie sei in den letzten Jahrzehnten durch die Realität widerlegt worden, greift in jedem Fall zu kurz: Eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion im Gleichklang mit einer mit 3% (Malthus) oder auch nur 1,6% (derzeitige Wachstumsrate) wachsenden Bevölkerung erscheint ad infinitum nicht möglich. Der Fehler Malthus' bestand darin, dass er den Einfluss des technischen Fortschritts und der Kapitalakkumulation auf die Produktivitätsentwicklung der Land-

---

<sup>12</sup> Um den langfristigen Effekt einer derart hohen Wachstumsrate zu verdeutlichen genügt es, die Erdbevölkerung zum Zeitpunkt von Christi Geburt bis heute lediglich mit der Rate von 1% p.a. wachsen zu lassen: Aus den damals etwa 200 Mio. Menschen wären bis heute mehr als 4.000(!) Mrd. Menschen geworden.

wirtschaft unterschätzte. Er war der für diese Zeit durchaus plausiblen Ansicht, dass diese Faktoren nie die natürlichen Grenzen der Landwirtschaft – primär die Begrenztheit des Faktors Boden – aufheben könnten. Im empirischen Sinne litt Malthus Theorie an dem Fehler, die *hypothetische* Wachstumsrate der Bevölkerung mit der *tatsächlichen* Unmöglichkeit einer mit gleicher Rate wachsenden Nahrungsmittelversorgung zu verbinden. Der in der Literatur häufig zitierte zweite Fehler in Malthus' Theorie (z. B. KNUTSON et al., 1990) in Form einer unzureichenden Berücksichtigung der endogenen Reaktion der Menschen auf Veränderungen von Bevölkerungsdichte, Gesundheitszustand und Einkommen trifft – wenn überhaupt – dagegen nur auf die erste Ausgabe der *Principles* zu, wurde in den folgenden Editionen jedoch sukzessive eingearbeitet.

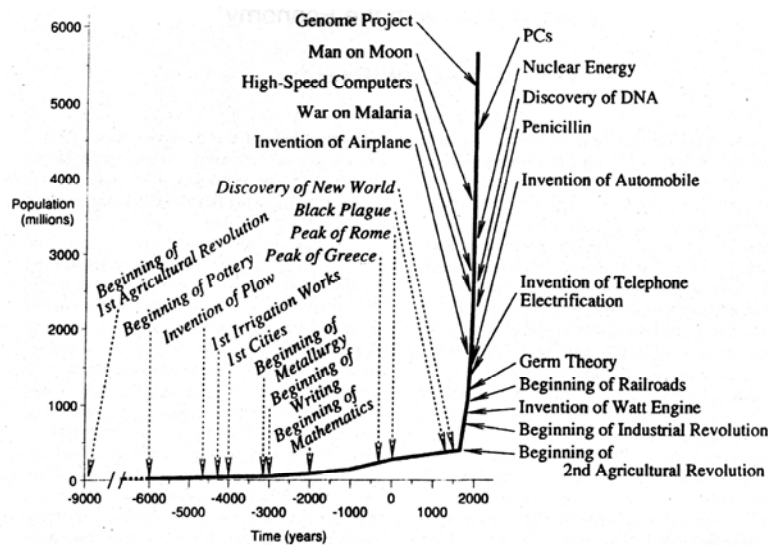
Malthus realisierte jedoch nie in vollem Umfang, dass er sich am Beginn einer Periode fast explosionsartigen Bevölkerungswachstums befand. Tatsächlich war dies eine Periode, in der sich die bislang eher statische Bevölkerungsentwicklung grundlegend veränderte, weil man in zunehmendem Maße Möglichkeiten fand, die bis dahin bestehenden Beschränkungen im Bereich natürlicher Ressourcen aufzuheben. Das wahre Ausmaß dieser vor sich gehenden Veränderungen lässt sich sehr gut aus der folgenden Graphik ablesen, die einen Eindruck von der enormen Beschleunigung sowohl des technischen Fortschrittes als auch des Bevölkerungswachstums ab dem Beginn des 18. Jahrhunderts vermittelt.

Eine entscheidende Voraussetzung für die beginnende Industrialisierung und die dadurch ausgelöste Bevölkerungsexplosion war die Steigerung der agrarischen Produktivität in der „2. Agrarischen Revolution“ (FOGEL, 1999). Auch wenn sich die Ursachen dieser Produktivitätssteigerung nicht exakt quantifizieren lassen, so können sie doch als die Summe von Kultivierungsfortschritten, arbeitssparendem technischen Fortschritt – zuerst durch die Mechanisierung von Erntevorgängen – und der Einführung von Mais identifiziert werden<sup>13</sup>. Diese Produktivitätssteigerung erlaubte es, einen wachsenden Anteil nicht-

---

<sup>13</sup> JOHNSON (2000) weist darauf hin, dass sich im 19. Jhdt. als Folge der technischen Innovationen bei der Ernte in den USA der Arbeitsinput je Tonne Getreide um 70% verringert habe.

agrarisch Beschäftigter zu ernähren, die vornehmlich in Städten wohnten und industriell-gewerblichen Tätigkeiten nachgingen. Arbeitsteilung wurde damit zu dem zentralen Aspekt des Wirtschafts-



lebens.

Abb. 1: Weltbevölkerung und technologische Meilensteine.

Quelle: FOGEL (1999) sowie die dort angegebene Literatur

Die zunehmende Technisierung aller Arbeits- und Lebensbereiche stimulierte den Prozess der Wissensgenerierung, der angebotsseitig durch den Ausbau der institutionellen Strukturen in Form von Schulen und Universitäten gestützt wurde. Abbildung 1 zeigt sehr deutlich, wie immens sich die Zeitabstände zwischen technologischen Innovationen vor und nach der Industrialisierung unterscheiden. Die Folge war ein exponentieller Wachstumspfad von Output und Bevölkerung in den letzten beiden Jahrhunderten. Der damit einhergehende individuelle Wohlstandszuwachs beruhte aber auch auf dem geänderten Sozialverhalten der Familien, die nicht mit steigenden Geburtenraten reagierten (JOHNSON, 2000). Das zunehmende Bevölkerungswachstum war die Folge einer steigenden Lebenserwartung durch die verbesser-

serten ökonomischen Bedingungen (siehe Tabelle 1). Diese drei Charakteristika des beginnenden Industriezeitalters – agrarischer Produktivitätsfortschritt, institutionalisierte Wissensproduktion und sinkende Geburtenraten – trugen entscheidend dazu bei, dass die „Malthusian trap“ in dieser Zeit nicht zum Tragen kam.

Tab. 1: Täglicher Kalorienverbrauch und Lebenserwartung zu Beginn der industriellen Revolution

Periode	Region	Kcal / Tag	Lebenserwartung
bis 1650	Europa	1650 – 2000	25-30 Jahre
um 1800	England	2100	36 Jahre
um 1800	Frankreich	1650	32 Jahre
1981	Indien	1900	35 Jahre
1981	BR Deutschland	3540	73 Jahre

Quelle: FOGEL (1999), JOHNSON (2000), diverse Internet-Quellen.

## 2.2 „Neo-Malthusianer“ versus „Cornucopians“ im 20. Jhdt

Die frühen 70er Jahre brachten eine inhaltlich erweiterte Neuauflage der von Malthus vertretenen pessimistischen Zukunftssicht. Der zentrale Inhalt dieser Debatte war der Zusammenhang zwischen der Verfügbarkeit nicht allein von Nahrungsmitteln, sondern natürlicher Ressourcen insgesamt, und dem langfristigen Wachstumstrend der (Welt-)Wirtschaft. Die „Neo-Malthusianer“ versuchten – ganz in der Tradition Malthus’ – zu beweisen, dass angesichts der absoluten Beschränktheit der natürlichen Ressourcen ein globaler Kollaps unausweichlich sei, wenn die herrschenden Wachstumstrends von Weltbevölkerung und -wirtschaft nicht durch politische Eingriffe gebrochen würden. Auf der anderen Seite standen die Wachstumseuphoriker („Cornucopians“), welche der kreativen Kraft von Technik und funktionierenden Marktmechanismen zutrauten, zeitgerecht Substitute für knapp werdende Ressourcen zu finden.

Auf der neo-malthusianischen Seite wurde die Debatte durch einige Monographien im Bereich der populärwissenschaftlichen Literatur – wie z.B. PADDOCK, Paddock (1967), EHRLICH (1968) oder COMMONER (1971) – einer breiten Öffentlichkeit zugänglich. Einen Höhepunkt erreichte die Diskussion durch den millionenfach in 20 Sprachen verkauften Bestseller „Limits to Growth“ von MEADOWS et al. (1972), der eine weltweite Auseinandersetzung über die Grenzen von globalen



Wachstumsprozessen auslöste. Offiziell wurden die Zielsetzungen dieses Reports beschrieben mit (PESTEL, 1972):

- a) „... to gain insights into the limits of our world system and the constraints it puts on human numbers and activity“ sowie
- b) „... to help identify and study the dominant elements, and their interactions, that influence the long-term behavior of world systems“.

Dieses Buch beinhaltete die im Systems Dynamics Laboratory des MIT von Jay Forrester „computerisierten“ Weltuntergangs-Szenarien der zuvor angesprochenen früheren Autoren. Forresters erstes „Weltmodell“ (World 1) war ein am Ende der 60er Jahre erstelltes 5-Gleichungssystem gewesen, das ohne große Beachtung geblieben wäre, wenn es nicht A. Peccei, dem Gründer des Club of Rome, aufgefallen wäre. Dieser Kontakt bewegte J. Forrester zur Entwicklung von World 2 (FORRESTER, 1971), was einen offiziellen Auftrag des Club of Rome nach sich zog. Der Erfolg dieses Unterfangens, welches unterschwellig auch vom Vertrauen der breiten Masse in die Leistungsfähigkeit und Objektivität des neuen High-Tech-Werkzeugs „Computer“ lebte, bewegte den Club of Rome, weitere Simulationsmodelle in Auftrag zu geben (MESAROVIC und PESTEL, 1974). In späterer Folge entstand daraus World 3, welches heute noch in verschiedenerlei Variationen zur Verfügung steht (<http://www.syslab.ceu.hu>).

Forresters Weltmodell versuchte, die langfristige Entwicklung der Erde durch fünf wesentliche Trends abzubilden: Bevölkerungswachstum, (Unter)Ernährung, Industrialisierung, Abbau erschöpfbarer Ressourcen und Umweltverschmutzung. Obwohl die Autoren selbst das Modell als noch „imperfect, oversimplified, and unfinished“ einstufte, entschlossen sie sich zur Veröffentlichung, weil sie es auch in diesem Zustand als ausreichend betrachteten, wesentliche Informationen für Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft bereitzustellen. Die zentrale Schlussfolgerung aus dieser „ideologischen“ Prognose lässt sich einfach zusammenfassen:

1. Wenn der bestehende exponentielle Wachstumstrend (der 70er Jahre) unverändert anhält, dann erreicht unser Planet absolute Wachstumsgrenzen innerhalb von 100 Jahren, was einen plötzlichen und unkontrollierbaren Rückgang der Bevölkerungsentwicklung und der industriellen Kapazität zur Folge haben wird.

2. Diese Entwicklung lässt sich verhindern, wenn dieser exponentielle Wachstumstrend noch vor dem Jahr 2100 gestoppt und durch den Übergang auf eine nachhaltige Form von Wirtschaften ersetzt wird.

Die Autoren versuchten zu zeigen, dass das zentrale Resultat ihrer Simulationen – der globale Crash – sehr robust sei und auch durch Änderungen in den grundlegenden Annahmen (z. B. die Verdoppelung des Anfangs-Ressourcenbestandes, perfekte Geburtenkontrolle, die ungebremste Fortsetzung der Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft) nicht beeinflusst werden könne. Die Nichtberücksichtigung der Vielfalt politischer und sozialer Institutionen wurde damit begründet, dass sich diese in der Regel sehr langsam verändern und sich dabei eher reaktiv als antizipativ verhalten würden.

Die Aussagen der Neo-Malthusianer blieben jedoch nicht unwidersprochen. Die Kritiker aus dem Bereich der Wissenschaft – hauptsächlich Physiker und Ökonomen – zeigten auf, dass die Modelle der „Neo-Malthusianer“ viel zu simpel konstruiert seien und dadurch wesentliche Reaktionsmechanismen ignorierten. Eine Forschergruppe der Sussex University z. B. implementierte in das Modell „World 3“ grundlegende ökonomische Interaktionen und Feedbacks und konnte damit zeigen, dass diese wenigen Änderungen bereits ausreichten, die spektakulären Crashes in der Originalversion zu eliminieren. Ein weiteres Gegenargument bildete der Hinweis, dass die (realen) Preisniveaus für natürliche Ressourcen tendenziell steigen müssten, wenn Knappheitsphänomene evident wären<sup>14</sup>. In Bezug auf die Landwirtschaft wurde anhand von Statistiken gezeigt, dass in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts das Ausmaß der bewirtschafteten Fläche relativ kontinuierlich mit einer Rate von 0.7 bis 1.0% gestiegen sei. Die verbleibenden Reserven in Verbindung mit dem enormen Potential, das genetisch modifizierte Organismen versprechen würden, ließen die Crash-Szenarien der Neo-Malthusianer wenig wahrscheinlich erscheinen.

---

<sup>14</sup> Ressourcenökonomisch betrachtet kann und dürfte diese Tendenz allerdings durch myopisches Verhalten überlagert werden, indem die Zeitpräferenzrate von Individuen mit Verfügungsgewalt über Ressourcenvorkommen höher ist als die soziale Zeitpräferenzrate von Gesellschaften.

Aber auch auf der Seite der „Cornucopians“ wurden teilweise recht extrem anmutende Positionen und Prognosen vertreten. Ein Beispiel dafür sind die Prognosen Herman Kahns vom Hudson Institute. Kahn unterschied in seinem System vier „Weltanschauungen“, die an den Polen von den extremen Neo-Malthusianern einerseits und den Technologie- bzw. Wachstumsenthusiasten (Cornucopians) andererseits besetzt waren und auf den inneren Positionen gemäßigte Optimisten bzw. Pessimisten beinhalteten. Er selbst reihte sich eindeutig in die Gruppe der Cornucopians ein. In der anlässlich der 200-Jahr Feiern der USA publizierten Studie *The Next 200 Years* (1976) zeichnete Kahn ein überaus optimistisches Bild der Zukunft, geprägt von hohem Wirtschaftswachstum und weitgehend unbeeinflusst durch Ressourcenbeschränkungen.

Wesentlichen Einfluss auf die Diskussion der Endlichkeit der globalen Ressourcen hatte auch die von K. Boulding bereits 1966 eingebrachte „Spaceship Earth“-Analogie. Obwohl diese Sichtweise auf den ersten Blick mit den Neo-Malthusianern verwandt erscheint, zieht Boulding einen völlig anderen und langfristig konstruktiveren Schluss aus der Limitierung der globalen Ressourcen: er leitet daraus das Erfordernis nach Kooperation und Konservierung ab, wobei technische Innovationen durchaus ihren Platz haben, wogegen die Neo-Malthusianer aus einer technologieskeptischen Haltung heraus Enthaltensamkeit und staatliche Beschränkungen fordern (AYRES, 1993).

Diese Diskussion in den 70er Jahren um eine unzureichende Nahrungsmittelversorgung der Welt stimulierte jedoch auch eine Reihe von objektiveren „technischen“ Prognosen. Obwohl eigentlich mit Ausnahme des II. Weltkrieges die realen Nahrungsmittelpreise immer gesunken waren, erschien vielen Prognostikern dieses Jahrzehnt als säkulare Trendumkehr. In der periodischen Publikation *The Global 2000 Report to the President* wurde Anfang der 80er Jahre die Prognose veröffentlicht, dass bis zum Jahr 2000 die realen Farmpreise in den USA um 95% ansteigen würden (BARNEY, 1982). Die agrarische Goldgräberstimmung der 70er Jahre führte zur oft kreditfinanzierten Ausweitung der Produktionskapazitäten, die dann in die Farm Crisis der 80er Jahre münden sollte.

Allerdings gab es auch in diesen Jahren Prognosen, die ein nachträglich betrachtet korrektes Bild der langfristigen Entwicklungstrends zeichneten (JOHNSON, 1983; SANDERSON, 1984; EDWARDS und

HARRINGTON 1984). Diese Studien verwiesen auf die unveränderte Gültigkeit der langfristigen Trends, die tendenziell in Richtung einer fortgesetzten leichten Überversorgung mit Nahrungsmitteln zeigen würden, weil der Zuwachs der Produktionskapazität über jener der Nachfrage liege. Die Hauptursache für die Volatilität agrarischer Weltmärkte wurde – neben unvermeidlichen Wetteranomalien – in der protektionistischen Ausrichtung der Agrarpolitik der Industrieländer geortet (JOHNSON, 1983). Das USDA zog daraus den später auch in den GATT/WTO-Verhandlungen zäh verfolgten Schluss, dass nur ein verbesserter Zugang zu den Weltagrarmärkten für die US-Farmer einen Ausweg aus der Spirale Überkapazität, Einkommensdruck und Abwanderung bieten könnte. Allerdings vermieden alle diese Arbeiten eine explizite Analyse des Einflusses des technischen Fortschritts. Eine bemerkenswerte Ausnahme bildete eine Studie des Office of Technology Assessment (OTA, 1986), die als eine der ersten Arbeiten sehr detailliert auf den zunehmenden Einfluss von Bio- und Informationstechnologien auf die Landwirtschaft einging. Die erwartete progressive Entwicklung und Umsetzung des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft erhöhte die Wahrscheinlichkeit weiter sinkender realer Agrarpreise<sup>15</sup>. Dieser Trend werde zusätzlich dadurch verstärkt, indem die Agrarpolitik der Industrieländer den Stellenwert von Nahrungsmittelsicherheit betone und damit Überkapazitäten fördere.

Aus heutiger Sicht betrachtet erscheinen besonders die leidenschaftlichen Auseinandersetzungen zwischen Neo-Malthusianern und „Cornucopians“ überzogen und sogar abseits der wahren Probleme: Während auch ohne übertriebene Technikgläubigkeit die Fähigkeit des Menschen, Substitute für knapp werdende Ressourcen zu finden und auf breiter Ebene zu implementieren, durchaus positiv eingeschätzt werden kann, gibt es für die langfristig wirklich relevanten Elemente – Klima, Ozonschutz, Luft und Wasser in ausreichender Menge und Qualität, Humus, Biodiversität – kaum brauchbare Substitute. Die

---

<sup>15</sup> PHILLIPS und LU (1987) bestätigen ebenfalls einen sich beschleunigenden Prozess der Adaption technischer Neuerungen im Agrarbereich der USA und kommen zum Schluss, dass aufgrund der einfachen Übertragbarkeit dieser Innovationen auf andere Länder die Landwirtschaft der USA ihren technologischen Vorsprung verlieren werde, wenn nicht verstärkte Forschungsbemühungen kompensierend eingesetzt würden.

wirklich relevanten Prognosen fragen daher nicht danach, wann unsere derzeitigen Strukturen zur Erschöpfung der Weltzink- oder Ölvorkommen führen, sondern mit welchem Tempo unsere Wirtschaftsweise in Verbindung mit der rasanten Zunahme der Weltbevölkerung die Ozonschicht zerstört oder die globale Durchschnittstemperatur anhebt. Derartige, gemessen in menschlichen Zeitdimensionen irreversible Katastrophen berühren tatsächlich die langfristige Existenz der Menschheit an sich.

### 3 Bevölkerung und Welternährung im 21. Jhdt.

Betrachtet man die derzeitige Situation der globalen Nahrungsmittelproduktion, dann gibt es eine ganze Reihe von Merkmalen, die Anlass für Besorgnis geben: die Proteinversorgung aus der Fischerei dürfte angesichts der Überfischung der Weltmeere bereits ihren Höhepunkt überschritten haben und auch die Landwirtschaft hat ihre Ertragskraft auf eine Art gesteigert, die kaum als nachhaltig bezeichnet werden kann: energieintensive Monokulturen haben die genetische Vielfalt drastisch reduziert, was wiederum weltweit den Einsatz von toxischem Pflanzenschutz erzwingt. Diese Form der arbeitssparenden Landbewirtschaftung führt in vielen Regionen zu einem besorgniserregenden Abbau der Humusschicht, der teilweise mehr als das zehnfache des Regenerationsvolumens von etwa 2t pro Jahr und Hektar ausmacht. In den ariden Regionen der Welt hat der Raubbau an Wasservorkommen durch subventionierte Bewässerung massive Schäden verursacht<sup>16</sup>. Nicht zuletzt reichern sich durch Luft und Wasser transportierte toxische Schwermetalle im Boden an und gelangen so in die Nahrungskette.

Angesichts dieser bereits jetzt problematischen Situation der globalen Nahrungsmittelproduktion erhebt sich die Frage, ob bzw. wie die innerhalb dieses Jahrhunderts erforderliche Verdoppelung bis Verdrei-

---

<sup>16</sup> Das vielleicht abschreckendste Beispiel ist das Austrocknen des Aralsees mit weitreichenden ökologischen und ökonomischen Konsequenzen, Israel hat durch Bewässerungsprojekte die Wasservorkommen der West Bank des Jordans bereits weitgehend erschöpft und geschätzte 27% der bewässerten Flächen in den USA sind durch Versalzung schwer beeinträchtigt (AYRES, 1993).

fachung der Erzeugungsmengen bewerkstelligt werden kann, ohne die komplexen Verflechtungen des nicht-linear dynamischen, bio-geo-chemischen Systems Erde fundamental zu stören. Im folgenden wird anhand von Prognosen verschiedener Forschungsinstitute versucht, die Relevanz der vor zwei Jahrhunderten geäußerten Bedenken Malthus' für die erste Hälfte des vor uns liegenden Jahrhunderts abzuschätzen und dabei auch den von Boulding eingebrachten „Space-ship Earth“-Aspekt zu berücksichtigen.

### 3.1 Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerungsentwicklung wird grundsätzlich von zwei zentralen Faktoren bestimmt: der Altersstruktur der gegenwärtigen Bevölkerung und dem Reproduktionsverhalten sowie der Mortalitätsrate der künftigen Generationen. Länderbezogene Prognosen für lange Zeiträume (z. B. 100 Jahre) sind extrem aufwendig weil sie permanent gewartet und revidiert werden müssen und werden heute nur mehr von wenigen großen Institutionen durchgeführt. Im Folgenden wird auf eine Prognose der UN recurriert, deren Grundaussagen sich folgendermaßen zusammenfassen lassen (FISCHER und HEILIG, 1998):

- a. Trotz fallender Fertilitätsraten liegen die absoluten Zuwächse von jährlich etwa 80 Mio. Menschen auf ihrem historischen Höchststand und werden noch bis etwa 2015 anhalten, um dann bis 2050 auf etwa 50 Mio. Menschen abzusinken<sup>17</sup>; dadurch wird die Weltbevölkerung bis etwa zum Jahr 2050 weiter zunehmen, wobei eine Gesamtpopulation von ca. 9,4 Mrd. Menschen (zwischen 7,4 bis 11 Mrd.) zu erwarten ist.

---

<sup>17</sup> Diese Prognose beruht auf der eher optimistischen Annahme, dass sich die Fertilitätsrate bis zum Jahr 2050 auf 2,1 Kinder je Frau reduziert, was dem Reproduktionsniveau entsprechen würde. Sinkt dagegen die derzeit bei etwa 3 liegende Fertilitätsrate lediglich auf 2,6, dann ist bis zum Jahr 2050 ein jährlicher Zuwachst der Weltbevölkerung von etwa 100 Mio. Menschen wahrscheinlich. Ein Absinken der Weltbevölkerung kann nur eintreten, wenn die Fertilitätsrate auf 1,6 sinkt, was von fast allen Demographen als sehr unwahrscheinlich bis unmöglich eingeschätzt wird.

- b. Das Bevölkerungswachstum der kommenden 50 Jahre (+ 3,7 Mrd.) wird fast ausschließlich in den Entwicklungsländern stattfinden<sup>18</sup>, womit der im Zeitraum 1950 – 2050 insgesamt zu verzeichnende Bevölkerungszuwachs von etwa 6,85 Mrd. Menschen zu 95% auf diese Länder entfällt; der geographische Schwerpunkt des absoluten Bevölkerungswachstums liegt aufgrund der sehr hohen Ausgangsbasis in Asien (+ 2 Mrd.), wogegen die höchsten Zuwachsraten in Afrika auftreten werden<sup>19</sup>. Diese rasanten Zuwächse in Asien und Afrika bedeuten angesichts einer stagnierenden bzw. sogar rückläufigen Bevölkerungsentwicklung in Europa eine fundamentale Verschiebung der globalen Bevölkerungsstrukturen.
- c. Die starken Geburtenjahrgänge in den 50er Jahren in Verbindung mit einer rapide fallenden Fertilitätsrate verursachen eine sprunghafte Erhöhung des globalen Durchschnittsalters, welches den Anteil der über 65-jährigen Menschen im Jahr 2050 im Vergleich zu 1950 verdoppelt, was in absoluten Zahlen mehr als eine Verzehnfachung darstellt.
- d. Die Veränderungen in der Totalen Fertilitätsrate (TFR) zeigen zwar eindeutig nach unten, weil das Tempo der Abnahme jedoch - durch kulturelle und soziale Faktoren bestimmt - eher langsam und in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich ist<sup>20</sup>, sind die Vorhersagen in Bezug auf das weiter in der Zukunft liegende Bevölkerungswachstum mit deutlichen Unsicherheitsspielräumen behaftet, die durch den schwer bestimmbaren Trend der Mortalitätsraten noch zusätzlich erhöht werden.

---

<sup>18</sup> Interessanterweise sind die USA das einzige Industrieland, welches im Zeitraum 1950 – 2025 zu den zehn Ländern mit dem höchsten absoluten Bevölkerungszuwachs gehört.

<sup>19</sup> Die Konsequenzen der eher harmlos aussehenden jährliche Wachstumsrate Afrikas von etwas mehr als 0,4% p.a. im Zeitraum 1950 – 2050 wird aussagekräftiger wenn man sich vor Augen hält, dass sich dadurch z. B. die Bevölkerung Nigerias verzehnfachen wird.

<sup>20</sup> Während China durch ein rigoroses Familienplanungsprogramm lediglich 20 Jahre benötigte, um die durchschnittliche Fertilität von 6 auf 2,4 Kinder zu reduzieren, wird dieser Prozess in Indien etwa 60 Jahre in Anspruch nehmen.

### 3.2 Zunahme der Nahrungsmittelnachfrage

Eine relativ aktuelle Schätzung der Konsequenzen dieser Bevölkerungstrends auf die Nahrungsmittelnachfrage stammt vom IFPRI (FAO, 1999; PINSTRUP-ANDERSEN et al., 2000) und hat einen Prognosehorizont von 20 Jahren. Die Weltbevölkerung wird bis zu diesem Zeitpunkt um etwa 30% gewachsen sein. Der Trend zur Verstädterung und in den Entwicklungsländern mit über 4% jährlich steigende Einkommen werden die deutlichsten Auswirkungen auf die Nahrungsmittelnachfrage zeitigen. Die Getreideproduktion muss bis 2020 um 40% steigen, um die Verdoppelung der Nettogetreideimporte der Entwicklungsländer zu ermöglichen. Auf diese Länder wird der größte Teil der prognostizierten Nachfragezunahme von 690 Mio. t Getreide und 115 Mio. t Fleisch(producte) entfallen. Dennoch wird auch im Jahr 2020 ein Einwohner eines Entwicklungslandes im Durchschnitt nur etwa die Hälfte der Getreide- und kaum mehr als ein Drittel der Fleischmengen eines Bewohners eines Industrielandes konsumieren. Allerdings werden die steigenden Einkommen den Fleischkonsum überproportional anheben, der sich damit bis zum Jahr 2020 verdoppeln dürfte (+ 2,8% p.a.). Das wiederum führt zu einer proportionalen Erhöhung des Futtergetreideverbrauchs, wodurch der Maisanbau in diesen Ländern auf Kosten von Reisflächen ausgedehnt werden wird. Durch die sich verlangsamenden Zuwachsraten der Hektarerträge werden diese Produktionssteigerungen nicht ohne Flächenausweitungen bewerkstelligt werden können. Die Frage, ob dafür ausreichende Landreserven zur Verfügung stehen, wird im folgenden Abschnitt analysiert.

### 3.3 Verfügbarkeit von kultivierbarem Land

Eine relativ detaillierte Abschätzung der globalen Landreserven mit Eignung für landwirtschaftliche Nutzung ohne künstliche Bewässerung in den weniger entwickelten Ländern wurde vor einigen Jahren von IIASA durchgeführt (FISCHER und HEILIG, 1998). Damit sollte die seit Malthus debattierte Frage beantwortet werden, ob die von der UN prognostizierte Bevölkerungsentwicklung durch eine proportionale Entwicklung der Nahrungsmittelproduktion begleitet sein kann. Der IIASA-Datensatz enthielt wesentliche klimatische Parameter (Temperatur, Sonneneinstrahlung, Wasserverfügbarkeit) zur Abschät-



zung der natürlichen Produktionsperiode(n), aber auch die erforderlichen Informationen über Bodenbeschaffenheit (Nährstoffe, Wasserrückhaltevermögen, mechanische Eigenschaften) sowie Landschaftscharakteristika. Unter Einbeziehung grundlegender sozio-ökonomischer Parameter wurden auf Basis der zuvor beschriebenen Merkmale so genannte „Land Utilization Types“ (LUT) spezifiziert. Durch Gegenüberstellung der Pflanzenerfordernisse mit diesen LUTs wurde schließlich die Verfügbarkeit von kultivierbarem Land in folgenden Schritten abgeschätzt:

1. Quantifizierung von Land mit Kultivierungspotential;
2. Abgrenzung von Schutzgebieten;
3. Subtraktion von Land mit Habitat- und Infrastrukturfunktion;
4. Überlagerung der globalen Ökosystem-Datenbasis;
5. Subtraktion von bereits in Nutzung stehendem Land.

Jede für agrarische Nutzung geeignete Landreserve wurde dann daraufhin untersucht, für welche der ausgewählten 21 Feldfrüchte sowie welche von drei Bearbeitungsformen sie in Frage käme. Nur wenn zumindest eine dieser Feldfrüchte mit zumindest 20% des Maximalertrages auf einer Fläche produzierbar war, wurde diese Fläche berücksichtigt. In Abstufung vom erzielbaren Ertrag wurden die Flächen in die drei Kategorien „sehr geeignet (> 80% des Maximalertrags), „geeignet“ (40 - 80% des Maximalertrags) und „marginal geeignet“ (20 - 40% des Maximalertrags) eingeteilt. Das Ergebnis dieser Projektionen wird vereinfacht in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Land mit Produktionspotential zur Pflanzenproduktion in Entwicklungsländern (in 1.000 ha)

<b>Bruttofläche</b>	<b>2.759.207</b>	<b>100,0%</b>
Schutzzonen und Habitate	264.647	9,6%
<b>Nettofläche</b>	<b>2.494.561</b>	<b>90,4%</b>
Bereits in Nutzung befindliche Flächen	862.671	31,3%
<b>Potential</b>	<b>1.631.890</b>	<b>59,1%</b>
Anteil Wald- und Sumpfgebiete	1.055.956	38,2%
<b>Saldo</b>	<b>575.933</b>	<b>20,9%</b>

Quelle: FISCHER und HEILIG (1998, 881)

Vereinfacht ausgedrückt ließe sich damit die bereits kultivierte Agrarfläche der Erde noch um etwa 66% ausdehnen, was etwa 20% der insgesamt zur Verfügung stehenden Fläche entspräche. Realistischer-

weise muss jedoch angenommen werden, dass in absehbarer Zeit nur ein Teil dieser Fläche tatsächlich kultiviert werden kann (PINSTRUP-ANDERSEN et al., 2000). FISCHER und HEILIG (1998) unterstellen daher in Einklang mit der historischen Entwicklung, dass von der durch den Bevölkerungszuwachs ausgelösten zusätzlichen Nahrungsmittelnachfrage lediglich ein Anteil von etwa 20% durch Ausweitung der Bewirtschaftungsflächen, der Rest jedoch durch intensivierte Nutzung der bestehenden Flächen erzeugt werden wird.

### **3.4 Regionale Verteilung von Bevölkerungswachstum und Nahrungsmittelpotential**

Geht man davon aus, dass die Ausweitung der Nahrungsmittelproduktion in den Entwicklungsländern ohne weitere Zerstörung von Wald- und Sumpfgebieten vor sich geht und – wie zuvor ausgeführt – zu 80% durch Intensivierung bewerkstelligt werden kann, dann folgen aus den angeführten Kalkulationen zwei grundlegende Schlussfolgerungen:

1. Die insgesamt zur Verfügung stehenden geeigneten Flächen reichen zwar aus, aber
2. aus einer regionalen Perspektive werden sechs von elf Regionen in den Entwicklungsländern nicht in der Lage sein, ihren Nahrungsmittelbedarf selbst zu sichern<sup>21</sup>.

Weil die Mehrzahl dieser Regionen auch in Bezug auf die Verfügbarkeit erneuerbarer Wasserressourcen im Bereich von weniger als 2.000 m<sup>3</sup> je Person und Jahr liegt, fällt auch der Einsatz von Bewässerung – völlig abgesehen von der Frage der damit verbundenen Produktionskosten – weitgehend weg. Von der geographischen Verteilung her liegen 47% der potentiell geeigneten zusätzlichen Flächen in Lateinamerika, 45% in Afrika und nur 8% in Asien.

In Summe lässt sich damit die Frage, ob dem 65%-igen Zuwachs der Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 auch ausreichende Nahrungsmittel zur Verfügung stehen werden, mit einem vorsichtigen „ja“ beantworten. Der Umstand, dass auch am Beginn des 21. Jahrhunderts noch mehr als 800 Mio. Menschen an Hunger leiden müssen, ist damit kein

---

<sup>21</sup> Diese Regionen sind Zentralamerika mit Karibik, Ostafrika, Westafrika, Westsien, Südostasien und Südzentrasien.

Problem unzureichender natürlicher Ressourcen, sondern beruht primär auf dem Versagen der ökonomischen, sozialen und politischen Institutionen in einzelnen Ländern bzw. Regionen.

Diese optimistische Einschätzung der künftigen Welternährungssituation basiert jedoch auf einer Reihe von kritischen Voraussetzungen: Die aufgezeigten geographischen Ungleichgewichte erfordern weitgehend unbeschränkte Handelsmöglichkeiten zwischen diesen Regionen, wenn der erforderliche Ausgleich tatsächlich stattfinden soll<sup>22</sup>. Dies wiederum bedingt ausreichende Kaufkraft in den Defizit-Regionen, was angesichts der ökonomischen Lage in einigen dieser Gebiete bzw. Länder fragwürdig erscheint. Jeder Versuch, die Nahrungsmittelproduktion über das in dieser Studie kalkulierte Volumen hinaus zu steigern, kann jedoch nur auf Kosten von Wald- und Sumpfgebieten gehen. Inwieweit ein weiterer Raubbau an diesen natürlichen Ressourcen auf die Entwicklung der globalen Klimasituation und damit indirekt wieder auf die Potentiale der Nahrungsmittelproduktion zurückwirkt, ist eine Frage, die zurzeit vermutlich niemand ausreichend exakt beantworten kann<sup>23</sup>. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die äquatornahen Regionen, in denen die höchsten Bevölkerungszuwächse erwartet werden, zu den Verlierern zählen werden, weil es dort zu einer Verkürzung der Wachstumsperioden und einem Rückgang der Wasserverfügbarkeit kommen dürfte. Sinkende Nahrungsmittelproduktion in diesen Regionen wird das Weltmarktpreisniveau tendenziell ansteigen lassen und die ökonomische Situation der Netto-Importländer weiter verschlechtern.

---

<sup>22</sup> Vordergründig betrachtet ist für diese Netto-Importländer eine Welthandels-situation günstig, die durch den Einsatz von Exportsubventionen seitens der Industrieländer und entsprechend gedrückten Weltmarktpreisen geprägt ist. Auf lange Sicht ist jedoch zu beachten, dass eine derartige Konstellation die erforderlichen agrarischen Produktionsanreize in Entwicklungs- bzw. Schwellenländern behindert und das Ernährungsproblem verschärft.

<sup>23</sup> Eine neuere Arbeit zu diesem Thema (PARRY et al., 1999) verweist darauf, dass dieser Effekt durch höhere Erträge in äquatorferneren Lagen im globalen Durchschnitt weitgehend kompensiert werden könnte.

#### 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Dieser Beitrag versuchte, am Beispiel von Prognosen zum Problem der Ernährung einer wachsenden Bevölkerung, die in den letzten zwei Jahrhunderten erstellt worden sind, mögliche Ursachen für deren vordergründiges „Scheitern“ zu finden und diese Erkenntnisse kritisch auf die aktuellen Prognosen zu diesem Problem zu übertragen.

Malthus' Theorie der Bevölkerungsentwicklung diene als erstes Anschauungsbeispiel für eine üblicherweise als falsch bewertete Prognose. Aus einem etwas systematischeren Blickwinkel betrachtet muss diese Ansicht jedoch zumindest teilweise revidiert werden: der „Fehler“ von Malthus bestand darin, dass er keinerlei historische Anhaltspunkte hatte, um die beispiellose Entwicklung der „Beschränkung“ – die durch einen rasanten technischen Fortschritt beflügelte Nahrungsmittelproduktion – vorausszusehen. Sein Irrtum war also eine Fehleinschätzung in der empirischen Relevanz seiner Theorie, nicht jedoch deren theoretische Unzulänglichkeit: eine exponentielle Bevölkerungsentwicklung ist langfristig tatsächlich nicht mit einer auch mit hoher absoluter Rate wachsenden Nahrungsmittelproduktion vereinbar.

Das Wiederaufleben der Argumente von Malthus in den 70er Jahren dieses Jahrhunderts fand in einem inhaltlich erweiterten Rahmen statt, der die Bevölkerungsentwicklung nicht nur durch die Nahrungsmittelproblematik, sondern auch die Endlichkeit natürlicher Ressourcen und die daraus resultierenden Umweltprobleme beschränkt sah. Die Weltuntergangsszenarien dieser Neo-Malthusianer wurden populärwissenschaftliche Bestseller und auf breiter Ebene diskutiert. Weil sie das Schicksal der Menschheit ausschließlich von der zeitgerechten Reaktion der politischen Entscheidungsträger – in Form von Vorschriften und Verboten in Bezug auf unzulässige Formen von Wirtschaften – abhängig sahen, resultierte daraus ein massiver Appell an die Politik, umgehend zu reagieren. Von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen wurden diese Projektionen allerdings dahingehend kritisiert, dass die zugrunde liegenden Simulationsmodelle nicht ausreichend auf die in realen Wirtschaften wirksamen Substitutionsmechanismen Rücksicht nehmen würden. Die empirische Evidenz in Bezug auf die Entwicklung von technischen und ökonomischen Innovationen in den letzten zwei Jahrzehnten habe gezeigt, dass marktwirtschaftliche

Systeme wirksame Substitutionsanreize in Bezug auf die Überwindung sich abzeichnender Knappheiten beinhalten. Zweifellos ließen sich diese Anreize verstärken, wenn die Politik Kostenwahrheit für ressourcenverbrauchende ökonomische Aktivitäten herstellen würde. In einer derartigen Konstellation wären die Szenarien der Neo-Malthusianer zwar nicht ausgeschlossen, aber doch mit einer deutlich geringeren Wahrscheinlichkeit zu versehen.<sup>24</sup>

Die aktuellen Prognosen zur Welternährungssituation, die auf einer wissenschaftlich vergleichsweise soliden Basis stehen, zeichnen dagegen ein vorsichtig optimistisches Bild: Theoretisch könnte die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion ausreichen, eine bis 2050 um mehr als 3 Mrd. Menschen steigende Weltbevölkerung zu ernähren. Allerdings verbinden sich mit der (zumindest) erforderlichen Verdoppelung der Nahrungsmittelproduktion eine Reihe von Fragen bzw. Problemen: Weil Angebot und Nachfrage geographisch gesehen weit auseinander liegen, setzt dieses Ziel ein reibungsloses Funktionieren der Weltagrarmärkte voraus. Damit die Nahrungsmittelproduktion gravierend ansteigt, sind Weltmarktpreise erforderlich, die betriebswirtschaftlichen Erfolg auch auf weniger geeigneten Flächen zulassen. Das erfordert ein Überdenken der seitens der Industrieländer verfolgten Strategie subventionierter Agrarexporte, welche nur mäßig positive Einkommenseffekte für die inländischen Landwirte zeitigen, das Weltmarktpreisniveau jedoch stark unter Druck setzen.

Der vermutlich größte Unsicherheitsfaktor in diesen Prognosen ist jedoch die ökologische Komponente, welche zwei Dimensionen aufweist: zum einen wird die Ausweitung der Nahrungsmittelproduktion im erforderlichen Ausmaß – wenn überhaupt – kaum auf nachhaltige Weise vor sich gehen können, weil dafür der zur Verfügung stehende Zeitrahmen zu knapp ist. Zum anderen sind die ökologischen Rückwirkungen einer Veränderung des Weltklimas auf die Produktivkraft der Weltlandwirtschaft noch weitgehend unklar. Aus heutiger Sicht ist

---

<sup>24</sup> Damit soll nicht einer verantwortungslosen Automatismusgläubigkeit in Bezug auf die existenziellen Probleme der Welt das Wort geredet werden. Bestimmte Probleme – z. B. der Treibhauseffekt – könnten eine derart lange Verzögerungszeit aufweisen, dass auch im Falle von aus heutiger Sicht zeitgerechten Gegenmaßnahmen existenzbedrohende Entwicklungen auftreten.

auch nicht ausreichend exakt vorherzusehen, welche Rolle der technologische Fortschritt im Bereich der Bio-, Informations- und Kommunikationstechnologie auf die Nahrungsmittelproduktion haben wird. Insgesamt ergibt sich daraus der Schluss, dass wir trotz der enormen Fortschritte in allen Wissenschaftsbereichen auch heute vor Prognoseproblemen stehen, die denen zu Malthus' Zeit nicht grundlegend unähnlich sind. Gerade die aktuelle Forschung im Bereich nicht-linearer Systeme macht deutlich, dass wissenschaftlicher Fortschritt nicht nur Problemlösungskapazität schafft, sondern auch das Wissen um die enorme Komplexität unserer Lebensgrundlagen laufend erweitert und damit neue, bisher unbekannte Problemfelder erkennbar macht.

### Literatur

- AYRES, R. U. (1993): Cowboys, cornucopians and long-run sustainability. *Ecological Economics*, 8, S. 189-207.
- BARNEY, G. O. (1982): *The Global 2000 Report to the President*. New York: Penguin.
- Blaug, M. (1985): *Economic Theory in Retrospect*. Fourth Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- BOULDING, K. E. (1966): Environmental Quality in a growing economy. In: Garrett (Ed.): *Essays from the Sixth RFF Forum*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- COMMONER, B. (1971): *The Closing Circle*. New York: Alfred Knopf.
- CREEDY, J. und MARTIN, L. (1994): The strange attraction of chaos in economics. In: Creedy, J. und Martin, L. (Hrsg.): *Chaos and non-linear Models in Economics, Theory and Applications*. Aldershot: Edward Elgar. S. 7-29
- DE HAEN, H. (1978): Analyse und Prognose des Agrarsektors als Grundlage der Politikberatung - Thesen aus der Sicht der Betriebswirtschaft. *Agrarwirtschaft*, 27, S. 199-201.
- EDWARDS, C. and HARRINGTON, D. H. (1984): The future productive capacity of U.S. agriculture: Economic, technological resource, and institutional determinants. *American Journal of Agricultural Economics*, December 1984, 590.
- EHRLICH, P. (1968): *Population Bomb*. New York: Ballantine.
- FAO (1999): Assessment of the World Food Security Situation. Report No. CFS:99/2 of the 25<sup>th</sup> Session of the Committee on World Food Security, Rome, May 13-June 2.
- FESTA, Ch. (1980): Prognosen in der Politik. *Wirtschaftspolitische Blätter*, 5, S. 50-54.
- FISCHER, G., and HEILIG, G. K. (1998): Population momentum and the demand on land and water resources. Research Reprint RR-98-1. Laxenburg: IIASA.
- FOGEL, R. W. (1999): Catching up with the economy. *American Economic Review*, 98, S. 1-21.

- FORRESTER, J. V. (1971): *World Dynamics*. Cambridge, MA: Wright-Allen.
- HOFREITHER, M. F. (1989): *Wissenschaftliche Politikberatung als Problemstellung der Ökonomie*. Linz: Johannes Kepler Universität.
- JOHNSON, D. G. (1983): The world food situation: recent and prospective developments. In: D. G. Johnson and G. E. Schuh (eds.): *The role of markets in the world economy*. Boulder, CO: Westview Press, S. 1-33.
- JOHNSON, D. G. (2000): Population, food and knowledge. *American Economic Review*, S. 1-14.
- KNUTSON, R. D., PENN, J. B., and BOEHM, W. T. (1990): *Agricultural and food policy*. Second Edition. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.
- MALTHUS, Th. R. (1966): *First essay on population*. 1789, reissued. London: Macmillan.
- MEADOWS, D., MEADOWS, D. L., RANDERS, J. and BEHRENS, W. W. (1972): *The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
- MESAROVIC, M., PESTEL, E. (1974): *Mankind at the turning point - The second report to the Club of Rome*. New York: Readers Digest Press.
- OTA (Office of Technology Assessment) (1986): *Technology, public policy, and the changing structure of agriculture*. Washington D.C.: U.S. Congress.
- PARRY, M., ROSENZWEIG, C., IGLESIAS, A., FISCHER, G., LIVERMORE, M. (1999): *Climate change and world food security: A new assessment*. Research Report, RR-99-12. Laxenburg: IIASA.
- Phillips, M. J., Lu, Y. (1987): Impact of emerging technologies on food and agricultural productive capacity. *American Journal of Agricultural Economics*, S. 448-453.
- Pindyck, R. S., Rubinfeld, D. L. (1991): *Econometric models and economic forecasts*. Second Edition. New York: Macmillan.
- PINSTRUP-ANDERSEN, P., PANDYA-LORCH, R., ROSEGRANT, M. W. (2000): World food prospects. *Agrarwirtschaft*, 49, 9/10, S. 311-319.
- SANDERSON, F. H. (1984): An assessment of global demand for U.S. agricultural products to the year 2000. *American Journal of Agricultural Economics*, S. 577-584.
- SCHMITT, G. (1978): *Analyse und Prognose des Agrarsektors als Grundlage der Politikberatung - Thesen aus der Sicht der Agrarpolitik*. *Agrarwirtschaft*, 27, S. 193-194.
- SWOBODA, H. (1979): *Propheten und Prognosen - Hellseher und Schwarzseher von Delphi bis zum Club of Rome*. München/Zürich: Droemer Knaur.
- WILLER, H. (1978): *Analyse und Prognose des Agrarsektors als Grundlage der Politikberatung - Thesen aus der Sicht nationaler Entscheidungsträger*. *Agrarwirtschaft*, 27, S. 199-201.
- WÖHLKEN, E. (1978): *Analyse und Prognose des Agrarsektors als Grundlage der Politikberatung - Thesen aus der Sicht der Landwirtschaftlichen Agrarforschung*. *Agrarwirtschaft*, 27 S. 196-199.

**Anschrift des Verfassers**

*Univ. Prof. Dr. Markus F. Hofreither  
Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung  
1180 Wien, Feistmantelstr. 4  
Tel.: +43 1 47654 3671  
eMail: markus.hofreither@boku.ac.at*