

Ökologische Grenzen des Bevölkerungswachstums?

Von Thomas Straubhaar, Universität Bern und WWZ Basel

Die Fragestellung im Titel erinnert an *Thomas Malthus*. Ausgehend insbesondere von Gedanken des Italieners *Botero* und von *Adam Smith*, brachte Malthus das nach ihm benannte Bevölkerungsprinzip in die wissenschaftliche Diskussion ein: Danach lässt sich die Produktion von Nahrungsmitteln nicht beliebig steigern. Deswegen werden Kriege, Hungersnöte und andere Katastrophen die Bevölkerungszahl immer wieder auf das durch den Umfang der Nahrungsmittelproduktion gesetzte Mass reduzieren. Die Effekte einer Bevölkerungszunahme auf das Wirtschaftsgeschehen werden demgemäss negativ beurteilt.

In dieselbe Richtung zielt das Argument, wonach rasches Bevölkerungswachstum eines der wichtigsten Hemmnisse für das wirtschaftliche Wachstum der Entwicklungsländer sei. Misst man die wirtschaftliche Entwicklung am Pro-Kopf-Einkommen der Bevölkerung, definiert als Sozialprodukt pro Kopf, bestimmt die Differenz der Veränderungsrate von Sozialprodukt und Bevölkerung die wirtschaftliche Entwicklung einer Volkswirtschaft. Dabei übt die Wachstumsrate der Bevölkerung einen negativen Einfluss aus: Je höher sie ist, desto geringer wird das Wachstum des Pro-Kopf-Einkommens. Eine Volkswirtschaft mit stagnierender oder gar schrumpfender Bevölkerung hätte demgemäss die besten Aussichten auf eine Erhöhung des durchschnittlichen Lebensstandards.

Kontrovers zu dieser Auffassung stehen die Ideen der Merkantilisten, Populationisten und in neuerer Zeit der Stagnationstheorie von *Keynes* und dann insbesondere *Hansen*. Hier wird die Bevölkerungsgrösse und ihre rasche Zunahme als eine der Grundvoraussetzungen gesehen für die Steigerung des an der Höhe des Sozialproduktes insgesamt oder je Kopf der Bevölkerung gemessenen wirtschaftlichen Wohlstandes einer Volkswirtschaft. Einer grossen und wachsenden Bevölkerung werden eine stärkere Arbeitsteilung und eine bessere Ausnutzung noch brachliegender Ressourcen sowie, eine höhere Mobilität zugesprochen, wodurch strukturelle Arbeitslosigkeit leichter überwunden werden kann, was insgesamt eine Steigerung der allgemeinen ökonomischen Aktivität erwirkt. Ebenso argumentierten *Keynes* (1937), *Hansen* (1939), später auch *Rostow* (1960) und andere Wirtschaftshistoriker, nur bei einer wachsenden Bevölkerung sei eine Volkswirtschaft in der Lage, in einzelnen Sektoren bestehende Überkapazitäten abzubauen.

Angesichts des drohenden ökologischen Ungleichgewichts und der stark gestiegenen Umweltbelastung ist das Wachstum der Bevölkerung unter einem neuen Blickwinkel zu beurteilen. Die Begrenztheit unseres Planeten lässt die im Titel aufgeworfene Frage aufkommen, ob der Weltbevölkerungszahl nicht ökologische

Grenzen gesetzt sind. Insbesondere die auf Axiomen der Physik ruhenden naturwissenschaftlichen Erklärungsansätze der "Entropietheorie" [Georgescu-Roegen (1971) und Boulding (1971), wobei letzterer den Begriff der "gesellschaftlichen Entropie" schuf und eine "Entropie-Theorie des Wertes" aufzustellen suchte] und der "Ökonomie des Fliessgleichgewichts" (vgl. aus der neueren Literatur Gruhl 1989, Hauser 1989) malen ein pessimistisches Bild.

Die folgende Arbeit fasst einige Ideen zu dieser Thematik zusammen. Sie argumentiert aus einer eng abgegrenzten Sicht und setzt sich zum Ziel, allgemeine Sachverhalte in der Beziehung zwischen Bevölkerungszahl und Umweltbelastung aufzuzeigen. Nicht beabsichtigt ist, auf grundsätzliche ökologische Fragestellungen oder das Verhältnis "Ökonomie"/"Ökologie" einzugehen¹. Ebenso wenig wird angestrebt, generelle Lösungen drängender Umweltprobleme anzubieten.

Die weiteren Ausführungen gliedern sich in drei Teile. In Teil I werden einige modelltheoretische Überlegungen zum Verhältnis von Bevölkerungswachstum und Umweltfaktoren angestellt. Teil II liefert hierzu einige realwirtschaftliche Fakten. Teil III verbindet die modelltheoretische Überlegungen mit den realwirtschaftlichen Voraussetzungen und fasst einige Erkenntnisse zusammen.

I. Einige modelltheoretische Überlegungen

1. Das Malthus-Modell als Ausgangspunkt

Das von *Malthus* verbal formulierte Bevölkerungsprinzip lässt sich in Hinblick auf unsere Fragestellung folgendermassen zusammenfassen:

1. Es gibt eine Grenze des Bevölkerungswachstums. Diese Grenze wird durch das Einkommensniveau vorgegeben, das dem (demographischen) Existenzniveau entspricht.
2. Das Bevölkerungswachstum kompensiert jede durch technischen Fortschritt induzierte Erhöhung des Pro-Kopf-Einkommens.
3. Eine dauerhafte Verbesserung des Pro-Kopf-Einkommens lässt sich nur über ein verringertes Bevölkerungswachstum erreichen.

Das Malthus-Modell impliziert also eine Trade-Off-Beziehung zwischen Bevölkerungsgrösse und Pro-Kopf-Einkommen: Zu wählen ist zwischen niedriger Bevölkerungszahl (beispielsweise durch eine Geburtenkontrolle), was einen hohen Lebensstandard erlaubt, und hoher Bevölkerungszahl bei geringem Pro-Kopf-Einkommen.

¹ Vgl. hierzu die ausführliche Darlegung bei Frey (1987), der auch einen Literaturüberblick liefert.

Das von *Malthus* in die Diskussion eingebrachte "klassische" Bevölkerungsprinzip hat im Laufe der Zeit einen grossen Teil seiner Überzeugungskraft eingebüsst:

1. Die klassische Bevölkerungstheorie unterschätzte die Rolle des technischen Fortschritts für die wirtschaftliche Entwicklung.
2. Der unterstellte direkte Zusammenhang zwischen der Wachstumsrate der Bevölkerung und dem existenzminimalen Einkommensniveau, erwies sich als nicht so eng, wie die klassische Bevölkerungstheorie angenommen hatte.

Seit den "Grenzen des Wachstums" (*Meadows*, 1972) haben die malthusianischen Ideen wieder einen Aufschwung erfahren. Behauptet wird, dass bei konstanter Technologie, unverändertem Ressourcenverbrauch und steigender Bevölkerung die Welt in einigen Jahrzehnten mehr oder weniger zugrunde gehen muss². Die Schwäche dieses mechanisch-materialistischen Ansatzes liegt darin, dass vorausgesetzt wird, mit dem Wachstum der wirtschaftlichen Aktivität gehe eine mit gleicher Proportion zunehmende Umweltbelastung einher, was die Möglichkeit des zunehmenden Einsatzes ressourcensparender Produktionstechnologien verneint.

2. Neuere bevölkerungsökonomische Modelle

Ausgehend von wirtschaftshistorischen Analysen, verwerfen *Kuznets* (1965, 1979), *Simon* (1977), *Boserup* (1981) und *Steinmann* (1986), um nur eine Auswahl zu nennen, das Malthus-Modell. Sie sehen in einem raschen Bevölkerungswachstum nicht einen Hemmschuh, sondern eine Triebfeder der wirtschaftlichen Entwicklung. Ihrer Ansicht nach war (in historischer Sicht) ein Bevölkerungswachstum oft Vorbedingung, Auslöser und Motor von technischen Neuerungen (insbesondere im Agrarbereich). Mit dieser optimistischen Beurteilung steht die "Neue Bevölkerungsökonomie" im scharfen Kontrast zu den pessimistischen Ergebnissen des Malthus-Modells.

Im Hinblick auf unsere Fragestellung lassen sich die Ideen der "Neuen Bevölkerungsökonomie" folgendermassen zusammenfassen:

1. Es gibt keine Grenzen des Bevölkerungswachstums, solange die Skalenerträge in Bezug auf Arbeit und Kapital konstant sind. In diesem Falle fördert das

² Die erste Schlussfolgerung des "Berichts des Club of Rome" lautet: "1. Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht" (*Meadows*, 1972; 17). Zu den vielen Kritikern der "Grenzen des Wachstums" gehört *Nordhaus* (1974). In "Jenseits der Grenzen des Wachstums" schildert *Pestel* (1988) die heutige Sicht eines Betroffenen.

Bevölkerungswachstum im langfristigen Gleichgewicht die Entwicklung des Pro-Kopf-Einkommens.

2. Bei abnehmenden Skalenerträgen ist dieser positive Effekt solange gültig, als bei *nachfragedeterminiertem* technischem Fortschritt die stimulierte Produktionselastizität der Arbeit die beeinträchtigte Produktionselastizität der natürlichen Ressourcen übersteigt. Dieses Ergebnis ist wie folgt zu erklären: Eine wachsende Bevölkerung stimuliert einerseits den technischen Fortschritt, verknappt aber andererseits die natürlichen Ressourcen.
3. Es gibt dann eine Grenze des Bevölkerungswachstums, wenn bei abnehmenden Skalenerträgen und *nachfragedeterminiertem* technischem Fortschritt die beeinträchtigte Produktionselastizität der natürlichen Ressourcen die stimulierte Produktionselastizität der Arbeit übersteigt. Dann wirkt sich die Verknappung der natürlichen Ressourcen stärker negativ aus als der durch die wachsende Bevölkerung stimulierte technische Fortschritt.

Der wesentliche Vorteil der "Neuen Bevölkerungsökonomie" gegenüber dem Malthus-Modell liegt darin, dass ihrer Ansicht nach ein Bevölkerungswachstum die Entwicklung des Pro-Kopf-Einkommens sowohl hemmen als auch fördern kann. Es sind nicht Per-se-Annahmen wie im Malthus-Modell, sondern die gegenseitigen Beziehungen der Produktionsfaktoren und der natürlichen Ressourcen, die über das Ergebnis entscheiden.

3. Erweitertes neoklassisches Wachstumsmodell mit erschöpfbaren Ressourcen

Die auf der Malthus-Ricardo-Bevölkerungstradition beruhenden Modelle sollten modifiziert werden, um die der endlichen Dimension der Erde widersprechenden Ergebnisse besser mit der Realität in Einklang zu bringen. Diesem Einwand trägt Niehans (1975) Rechnung, indem er ein Wachstumsmodell *mit erschöpfbaren Ressourcen* entwickelte. Folgende im Hinblick auf unsere Fragestellung interessanten Resultate lassen sich mit diesem Ansatz herleiten:

1. Um die Menge der pro Kopf zur Verfügung stehenden Ressourcen konstant zu halten, darf bei neutralem technischem Fortschritt und konstanter Abbaurrate pro Kopf eine Bevölkerung nicht wachsen. Würde die Bevölkerung nicht schrumpfen, nähme bei konstanter Abbaurrate pro Kopf der Rohstoffabbau insgesamt ständig zu, was bei der Endlichkeit der Erde langfristig nicht aufrechterhalten werden kann.
2. Daraus ergibt sich, dass ein langfristiges Gleichgewicht bei neutralem technischem Fortschritt und konstanter Abbaurrate pro Kopf nur im Bereich einer *schrumpfenden* Bevölkerung möglich ist. Es gibt nur ein gleichgewichtiges Schrumpfen, nicht aber ein gleichgewichtiges Wachstum³.

³ Gemäss den Prämissen des neoklassischen Standardmodells ist zu erwarten, dass dieses

3. Dieses Ergebnis wird nur leicht modifiziert, wenn man die Annahme einer konstanten Abbaurates pro Kopf aufgibt: Verringert man die Pro-Kopf-Abbaurates, schwächt sich der Schrumpfungsprozess der Bevölkerung ab.
4. Die bisherigen Resultate ändern wesentlich, wenn ressourcenschonender technischer Fortschritt in das System eingeführt wird. Es wird nun möglich, die Pro-Kopf-Versorgung mit Ressourcen auch bei einer wachsenden Bevölkerung konstant zu halten. Daraus ergeben sich Gleichgewichtslösungen im Bereich zunehmender Bevölkerungen. In diesem Fall kann eine Bevölkerung wachsen, ohne dadurch die Ressourcenausstattung pro Kopf zu verringern. Gleichgewichtiges Wachstum wird nun möglich.

Zusammengefasst ergibt sich, dass ein Fehlen von ressourcensparendem Fortschritt im langfristigen gleichgewichtigen Wirtschaftswachstum zwangsläufig zu einem Schrumpfungsprozess führt, mit immer weniger immer reicheren Individuen. Gibt es einen genügend starken ressourcensparenden Fortschritt, kann (muss aber nicht) dieser Schrumpfungsprozess überwunden werden.

Heftige Kritik an den Ergebnissen der neoklassischen Wachstumstheorie üben die Vertreter der "steady-state economics" (Daly, 1977; Gruhl, 1989). Wenn überhaupt, löse der (ricardianische) Preismechanismus nur das *relative*, nicht aber das (malthusianische) *absolute* Knappheitsproblem. Eine wachsende Bevölkerung führe zu einer absoluten Verknappung und bringe die Menschheit näher an die maximale Tragfähigkeit der Biosphäre. Begründet wird die "Tatsache", "that there is such a thing as absolute scarcity ... and, if these aspects are dominant at the margin, the implication is the opposite of growthmania, namely the steady-state economy" mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (Daly, 1977, 41)⁴. Demgemäss wird die ökologische Grenze des Bevölkerungswachstums durch die absolute Knappheit der "niedrigen" Entropie gesetzt.

Zu fragen ist somit, wieweit die (naturwissenschaftlichen) Axiome der Thermodynamik tatsächlich auch für sozioökonomische Prozesse Gültigkeit haben, und ob die Menschheit schicksalhaft an thermodynamische Entropiegrenzen stosse. Der Rahmen einer Antwort soll nun im weiteren Verlauf dieser Arbeit abgesteckt werden.

Schrumpfungsgleichgewicht instabil ist (Schmitt-Rink, 1986, 70/71). Für den Fall des gleichgewichtigen Wachstums bei ressourcensparendem technischem Fortschritt zeigt Niehans (1975, 19) die Stabilitätsbedingungen. Auch mit einem neoklassischen Ansatz, der aber anders als bei Niehans spezifiziert ist, gibt Cigno (1981) eine ergänzende mathematische Formulierung der Stabilitätsbedingungen. Er zeigt, dass für die Stabilität der Gleichgewichtslösung die Sparneigung entscheidend ist. Bedingung ist, dass die Wachstumsrate der Bevölkerung elastischer auf Änderungen in der Kapitalintensität reagiert als auf Änderungen in der Arbeitsproduktivität.

⁴ Im Zentrum steht dabei der Entropiebegriff, vom Physiker Ludwig Boltzmann definiert, als das Streben der Natur aus einem unwahrscheinlichen in einen wahrscheinlichen Zustand zu gelangen.

II. Einige realwirtschaftliche Überlegungen

1. Fakten zur ökologischen Entwicklung

1. Unsere Welt ist kein geschlossenes System, in dem nach den Gesetzen der Thermodynamik die Entropie ständig zunimmt, also – vereinfacht ausgedrückt – verfügbare Energie und Materie (niedrige Entropie) durch ökonomische Transformation in einen unverfügbaren Zustand (hohe Entropie) übergeführt werden.
2. Vielmehr fliesst der Erde von der Sonne ständig Energie in Form von Strahlung zu. Diese über Jahrtausende ungestört erfolgte Energiezufuhr liess eine gewaltige Biomasse entstehen. Die Kohle-, Erdöl- und Erdgaslager dieser Welt sind eine Form dieser gespeicherten Sonnenenergie⁵.
3. Die für die Gültigkeit der Axiome der Thermodynamik entscheidende Annahme des "geschlossenen Systems" ist durch die Energiezufuhr von aussen verletzt. Die thermodynamischen Axiome lassen sich somit – wenn überhaupt – so nur modifiziert anwenden⁶.
4. Seit der industriellen Revolution und in immer rascherer Folge werden jedoch verfügbare Energie und Materie in grossem Umfang durch die ökonomische Transformation in einen unverfügbaren Zustand übergeführt. Nicht oder nur in Jahrtausenden erneuerbare Energiequellen und Rohstoffe werden damit innerhalb weniger Jahrzehnte unwiederbringlich aufgebraucht.
5. Das Fließgleichgewicht wird durch diesen beschleunigten Abbau der Biomasse nachhaltig und zunehmend gestört. Die von der Sonneneinstrahlung zugeführte niedrige Entropie wird durch die im Transformationsprozess verbrauchte (bzw. in "hohe" Entropie umgewandelte) niedrige Entropie bei weitem übertroffen.

Die Frage, die sich somit stellt, lautet, wie weit der technologische Fortschritt es möglich machen wird, dass die zunehmend beschleunigte Transformation von verfügbarer zu un verfügbarer Energie und Materie gebremst werden kann, wie weit also erneuerbare oder ressourcenschonende Energieformen in der Lage sind, nicht erneuerbare Energiequellen und Rohstoffe zu ersetzen⁷.

⁵ Somit wird auch der "Raumschiffansatz" Bouldings (1966) verworfen: Die Einstrahlung der Sonnenenergie und damit die Energiezufuhr von aussen ist und war entscheidende Voraussetzung für die Existenz der irdischen Biosphäre.

⁶ Die Tatsache, dass auch die Energieabgabe der Sonne endlich ist, wird hier aufgrund des extrem langen Zeithorizontes von 10 Milliarden Jahren vernachlässigt (vgl. hierzu Arber, 1987, 25).

⁷ Ohne Anspruch abschliessend zu sein, seien hier beispielhaft folgende potentiell erneuerbaren Energieträger aufgezählt: Holz, Wasser, Wind, Sonne, Gezeiten, Biogase und Geothermik.

2. Fakten zur Bevölkerungsentwicklung⁸

1. Von 1950 bis 1985 hat sich die Weltbevölkerung zahlenmässig verdoppelt und wuchs von 2,5 auf 4,8 Milliarden Menschen⁹.
2. Bis zum Jahr 2000 dürfte die Weltbevölkerung auf 6,1 Milliarden Menschen wachsen, bis zum Jahr 2025 auf ca. 8,2 Milliarden.
3. Die grösste Bevölkerungszunahme wird in den heute weniger stark entwickelten Ländern Afrikas, Lateinamerikas, Süd- und Ostasiens erwartet. Demgegenüber wird die Bevölkerung in den höher entwickelten Industrieländern (West- und Ost-) Europas, Nordamerikas und in Japan kaum mehr wachsen.

Die Frage, die sich stellt, lautet, wie schnell dieses starke Bevölkerungswachstum gebremst werden kann. Dabei sollte man sich über die Trägheit demographischer Prozesse keine Illusionen machen. Selbst wenn die Fruchtbarkeit ab heute, hypothetisch und aus welchen Gründen auch immer, auf das Reproduktionsniveau fallen würde, wird die Bevölkerung in den weniger entwickelten Ländern noch sehr lange sehr stark wachsen¹⁰. Die hohen Geburtenziffern der jüngeren Vergangenheit haben nämlich hier zu einem Altersaufbau mit einem relativ gewichtigen Anteil von Frauen geführt, die sich im reproduktionsfähigen Alter befinden oder gar erst in dieses hineinwachsen. Diese Eigendynamik der Bevölkerungsentwicklung wird noch für einige Jahrzehnte eine weiterhin stark positive Wachstumsrate der Bevölkerung induzieren¹¹.

3. Fakten zum Verhältnis von Ökologie und Bevölkerungsentwicklung

1. Die ökologische Belastung durch eine wachsende Bevölkerung hängt davon ab, wie sich der (durchschnittliche) Pro-Kopf-Ressourcenverbrauch ändert: Nimmt der (durchschnittliche) Pro-Kopf-Ressourcenverbrauch weniger rasch ab als die Bevölkerung zu, steigt die ökologische Belastung.
2. In den industrialisierten Ländern ist es weniger das Bevölkerungswachstum als der steigende (durchschnittliche) Pro-Kopf-Ressourcenverbrauch, der zu einer Verletzung des Entropie-Fließgleichgewichts beiträgt.

⁸ Für die folgenden Zahlenangaben vgl. Tabelle 1, die *WCED* (1987, 101, Table 4.2) entnommen ist.

⁹ Die jährliche Wachstumsrate erreichte zwischen 1950 und 1985 1,9 % und lag damit deutlich über den 0,8 % der ersten Jahrhunderthälfte (*WCED*, 1987, 99).

¹⁰ Reproduktionsniveau meint hierbei eine Nettofortpflanzungsrate (NRR – Net Reproduction Rate) von 1, was heisst, dass Frauen im Durchschnitt gerade so viele Töchter zur Welt bringen, um sich selbst innerhalb der Bevölkerung zahlenmässig zu reproduzieren (vgl. *World Bank*, 1988, 301).

¹¹ Eine Bevölkerung benötigt je nach Ausgangslage 50–75 Jahre, bis sie diese Eigendynamik verliert und sich die Altersverteilung vollständig an die geänderten Geburtenziffern angepasst hat (vgl. *World Bank*, 1988, 301).

3. Die Bevölkerung der industrialisierten Länder ist zu einem weit höheren Mass als die Bevölkerung weniger entwickelter Länder verantwortlich für die ökonomische Transaktion von verfügbarer Energie und Materie in einen unverfügbaren Zustand und mithin für die beschleunigte Entropiezunahme.
4. Der unterschiedliche Ressourcenverzehr in industrialisierten und weniger entwickelten Ländern lässt sich durch Tabelle 2 veranschaulichen (*WCED*, 1987, 33): Die höher entwickelten Länder mit rund einem Viertel der Weltbevölkerung erreichten im Durchschnitt der Jahre 1980–1982 einen Anteil von 80–86 % des in der Welt verbrauchten Metalls, Papiers und der Energie. Selbst im Bereich der Nahrungsmittel konsumierte dieses Viertel der Weltbevölkerung ein Drittel der zur Verfügung stehenden Kalorien und wächst dieser Anteil bei den ressourcen-intensiven Produkten auf über 50 %.
5. Trotzdem ist die Ursache der verstärkten Transformation von verfügbarer Energie und Materie in einen unverfügbaren Zustand nicht allein in den höher entwickelten Industrieländern zu finden. Weniger der (durchschnittliche) Pro-Kopf-Ressourcenverbrauch als das rasche Bevölkerungswachstum belastet das Fließgleichgewicht auch in den geringer entwickelten Ländern zusehends.
6. Verstärkt wird die Verletzung des Fließgleichgewichts in den weniger entwickelten Ländern dadurch, dass deren oft in grosser Zahl an der Existenzschwelle lebenden Bevölkerungsteile in ihrem Kampf um das Überleben ihre Umwelt in starkem Masse belasten durch Raubbau, Übernutzung von Gras- und Ackerland u.a.

Die Frage, die sich stellt, lautet, wie weit die stark wachsende Bevölkerung der weniger entwickelten Länder ein Nachholbedürfnis artikulieren und im Zuge der Entwicklung ebenfalls einen höheren Ressourcenverbrauch pro Kopf aufweisen wird. Eine Verbesserung des Lebensstandards bedeutet dann für Millionen von Menschen, die heute noch am Rande des Existenzminimums leben, dass auch sie in vermehrtem Ausmass an der ökonomischen Transformation von verfügbarer Energie und Materie in einen unverfügbaren Zustand beteiligt sein werden.

III. Synthese

1. Ökologische Grenze

1. Gewisse Ressourcen unserer Welt sind endlich. In welchem Ausmass sich dadurch eine ökologische Grenze für das Bevölkerungswachstum ergibt, hängt davon ab, wie weit sich erschöpfbare Ressourcen substituieren lassen. Diese Möglichkeiten der Substitution erschöpfbarer Ressourcen erscheinen heute nahezu unbegrenzt, und es gibt praktisch keinen Rohstoff, der nicht durch Elemente ersetzt werden kann, die auf der Erde nahezu unbegrenzt vorhanden sind (*Felderer*, 1989, 19).

2. Eine ökologische Grenze des Bevölkerungswachstums könnte durch die zunehmende ökonomische Transformation von verfügbarer Energie und Materie in einen unverfügbaren Zustand und die damit verbundenen nicht zu beseitigenden Schäden gesetzt werden. Diese Grenze wird dann wahrscheinlicher das weitere Bevölkerungswachstum limitieren, wenn der Abbau niedriger Entropie durch die technische Transformation ungebrochen und anhaltend rascher erfolgt als die Zufuhr niedriger Entropie durch die Sonneneinstrahlung. Die permanente Verletzung des Fließgleichgewichts würde dazu führen, dass die Entropiezunahme einen Zusammenbruch unseres Ökosystems erwirkt.
3. Der technologische Fortschritt vermag diese potentielle ökologische Grenze dann hinauszuschieben, wenn er darauf ausgerichtet ist, "Back-Stop"-(Auffang-) Technologien zu entwickeln. Darunter sind Verfahren zu verstehen, die zum Ziel haben, erschöpfbare Ressourcen durch nichterschöpfbare Ressourcen (Back-Stop-Ressourcen) zu ersetzen (z. B. die Substitution fossiler Energiequellen durch Sonnenenergie)¹².

2. Bevölkerungswachstum

1. Das Wachstum der Bevölkerung lässt sich kurzfristig nicht in grossem Ausmass bremsen. Die Eigendynamik verhindert hier eine rasche Anpassung.
2. Eine wachsende Bevölkerung braucht jedoch nicht notwendigerweise zu einer verstärkten Transformation von verfügbarer Energie und Materie in einen unverfügbaren Zustand und mithin zu einer beschleunigten Entropiezunahme zu führen. Verhält sich die Abnahme des individuellen Ressourcenverzehr umgekehrt gleich wie die Zunahme der Bevölkerung, bleibt der Ressourcenverzehr insgesamt konstant.
3. Ressourcensparender technischer Fortschritt kann zu einer Gleichgewichtslösung auch im Falle wachsender Bevölkerungszahlen führen [*Niehans* (1975)-Modell].

3. Erkenntnisse

1. Wie schon bei der Überwindung der malthusianischen Nahrungsmittelfalle, erhält der technische Fortschritt bei der Frage nach den ökologischen Grenzen des Bevölkerungswachstums eine zentrale Bedeutung. Die Technologie als

¹² Vgl. hierzu *Endres* (1985, 146/147). *Solow* (1974, 11) schreibt den Begriff der "back-stop technology" Nordhaus zu.

Bindeglied zwischen der Natur und dem Menschen kann eine Produktivitätssteigerung ermöglichen, womit eine wachsende Bevölkerung bei sinkendem Pro-Kopf-Ressourcenverzehr mit insgesamt geringerer Umweltbelastung versorgt werden kann.

2. Die zunehmende Belastung der Umwelt durch eine mehr oder weniger aktive Strategie zur Begrenzung des Bevölkerungswachstums abzubauen, ist der Tendenz nach sicher richtig: Weniger Menschen belasten bei gleichbleibenden Produktions- und Konsumformen die Umwelt weniger. Allerdings sind die Zeithorizonte einer derartigen Strategie auf sehr langfristige Lösungen anzu legen. Kurzfristig ist ein Abbau der Umweltbelastung nur durch ressourcenschonenden technologischen Fortschritt möglich, der die (durchschnittliche) Entropie-Transformation pro Individuum reduziert.
3. Für die kaum mehr stark wachsende Bevölkerung in den Industrieländern wird entscheidend sein, wieweit es gelingt, durch technologische Fortschritte erneuerbare oder ressourcenschonende Energieträger anstelle nicht regenerierbarer Rohstoffe einzusetzen und pro Produktionseinheit immer weniger verfügbare Energie und Materie in einen unverfügbaren Zustand zu transformieren.
4. Ob dieser technologische Fortschritt rechtzeitig erfolgt, ist nicht zum voraus sicher: "If the future is anything like the past, there will be prolonged and substantial reductions in natural-resource requirements per unit of real output. It is true, as pessimists say, that it is just an assumption and one cannot be sure; but to assume the contrary is also an assumption, and a much less plausible one" (Solow, 1974, 10/11).
5. Für die stark wachsende Bevölkerung der weniger entwickelten Länder sollte es darum gehen, nicht der Verhaltensweise der Individuen in industrialisierten Ländern zu folgen. Gliche sich der durchschnittliche Pro-Kopf-Verzehr von Ressourcen in den Entwicklungsländern demjenigen der Industrieländer an, ergäbe sich eine enorme zusätzliche Umweltbelastung, was die Wahrscheinlichkeit eines ökologischen Kollapses stark erhöhen würde.

In den Mittelpunkt rückt damit die Erkenntnis, dass das wirtschaftliche Entwicklungsmodell der Industrieländer, wenn überhaupt, so nur begrenzt als Vorbild für die noch nicht industrialisierten Länder dienen kann. Vielmehr sind Strategien gefragt, die anstreben, mit neuen Technologien und geringerem Entropiezuwachs eine Senkung des durchschnittlichen Pro-Kopf-Ressourcenverzehrs zu erzielen. Diese Massnahmen zur Senkung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Entropietransformation dürften wesentlich wirkungsvoller sein als der Versuch, das Bevölkerungswachstum zu beeinflussen, der höchstens in der sehr langen Frist erfolgreich sein kann.

Tabelle 1:
Bevölkerungsentwicklung 1985–2025

Region	Bevölkerung (in Mia.)			Wachstum pro Jahr (in Prozenten)		
	1985	2000	2025	1950 bis 1985	1985 bis 2000	2000 bis 2025
Welt	4,8	6,1	8,2	1,9	1,6	1,2
Afrika	0,56	0,87	1,62	2,6	3,1	2,5
Lateinamerika	0,41	0,55	0,78	2,6	2,0	1,4
Asien	2,82	3,55	4,54	2,1	1,6	1,0
Nordamerika	0,26	0,30	0,35	1,3	0,8	0,6
Europa	0,49	0,51	0,52	0,7	0,3	0,1
UDSSR	0,28	0,31	0,37	1,3	0,8	0,6
Ozeanien	0,02	0,03	0,04	1,9	1,4	0,9

Quelle: WCED (1987:101)

Tabelle 2:
Verteilung des Weltkonsums, Durchschnitt 1980–1982

Güter	Einheit des Pro-Kopf- Konsums	Industrieländer (26 Prozent der Weltbevölkerung)		Entwicklungsländer (74 Prozent der Weltbevölkerung)	
		Anteil am Weltkonsum (in %)	pro Kopf	Anteil am Weltkonsum (in %)	pro Kopf
Nahrungsmittel:					
- Kalorien	Kcal/Tag	34	3'395	66	2'389
- Proteine	Gramm/Tag	38	99	62	58
- Fett	Gramm/Tag	53	127	47	40
Papier	kg/Jahr	85	123	15	8
Stahl	kg/Jahr	79	455	21	43
andere Metalle	kg/Jahr	86	26	14	2
Kommerz. Energie	mtce/Jahr	80	5,8	20	0,5

Quelle: WCED (1987:33)

Literatur

- Arber, W. (1987): Erbgut – der Schlüssel zum Reichtum der belebten Natur. Rektoratsrede, Universität Basel vom 27.11.1987. Helbing & Lichtenhahn, Basel.
- Boserup, E. (1981): Population and Technology. Oxford University Press, Oxford.
- Boulding, K.E. (1966): The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: Jarret, H. (Hrg.), Environment Quality in a Growing Economy. John Hopkins University Press, Baltimore: 3–14.
- Boulding, K.E. (1971): Economics as a Science, McGraw-Hill, New York.
- Cigno, A. (1981): Growth with Exhaustible Resources and Endogenous Population. Review of Economic Studies 48, 281–287.
- Daly, H.E. (1977): Steady-State Economics. Freeman, San Francisco.
- Endres, A. (1985): Umwelt- und Ressourcenökonomie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Felderer, B. (1989): Immigration, Geburtenentwicklung und Wirtschaft. Aus Politik und Zeitgeschichte (Beilage zur Wochenzeitschrift "Das Parlament", Trier) B 18/89, 16–22.
- Frey, R.L. (1987): Wirtschaftswachstum und Umweltqualität: Auf der Suche nach einer neuen Wirtschaftspolitik. Schweiz. Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 123, 289–315.
- Georgescu-Roegen, N. (1971): The Entropy Law and the Economic Process. Harvard University Press, Cambridge Mass.
- Gruhl, H. (1989): Ist das zerstörte Fließgleichgewicht wieder herstellbar? Nationale schweizerische UNESCO-Kommission (Hrg.), Kolloquium über "Wissenschaft, Technik, Gesellschaft – Wege zu einem neuen Fließgewicht". UNESCO-Kommission, Bern 7–22.
- Hansen, A.H. (1939): Economic Progress and Declining Population Growth. American Economic Review 29, 1–15.
- Hauser, J.A. (1989): Grundzüge und wirtschaftspolitische Richtlinien einer Ökonomie des Fließgewichts. Nationale schweizerische UNESCO-Kommission (Hrg.), Kolloquium über: "Wissenschaft, Technik, Gesellschaft – Wege zu einem neuen Fließgewicht". UNESCO-Kommission, Bern 23–31.
- Keynes, J.M. (1937): Some Economic Consequences of a Declining Population. Eugenics Review 29, 13–17.
- Kuznets, S. (1965): Economic Growth and Structure. Selected Essays. Norton, New York.
- Kuznets, S. (1979): Economic Growth. Free Press, Glencoe.
- Meadows, D. (1972): The Limits of Growth. Universe Books, New York. (Deutsche Ausgabe: Die Grenzen des Wachstums, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.)
- Niehans, J. (1975): Economic Growth and Decline with Exhaustible Resources. De Economist 123, 1–22.
- Nordhaus, W.D. (1974): Resources as a Constraint on Growth. American Economic Review 64 (Papers and Proceedings), 22–26.
- Pestel, E. (1988): Jenseits der Grenzen des Wachstums. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.
- Rostow, W.W. (1960): The Stages of Economic Growth. Cambridge University Press, Cambridge.
- Schmitt-Rink, G. (1986): Demographische Variablen in der ökonomischen Wachstumstheorie. In: Felderer, B. (Hrg.), Beiträge zur Bevölkerungsökonomie, Duncker & Humblot, Berlin, 65–83.
- Simon, J.L. (1977): The Economics of Population Growth. Princeton University Press, Princeton.
- Solow, R.M. (1974): The Economics of Resources or the Resources of Economics. American Economic Review 64 (Papers and Proceedings), 1–14.
- Steinmann, G. (1986): Bevölkerungsentwicklung und technischer Fortschritt. In: Felderer, B. (Hrg.), Beiträge zur Bevölkerungsökonomie. Duncker & Humblot, Berlin, 85–115.
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987): Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.
- World Bank (1988): World Development Report. Oxford University Press, New York.

Zusammenfassung

Ökologische Grenzen des Bevölkerungswachstums?

Diese Studie kommt zum Schluss, dass es keine absolute (malthusianische) ökologische Grenze für das Bevölkerungswachstum gibt. Das Bevölkerungswachstum allein übt lediglich einen geringen Einfluss auf das Ökosystem aus. Entscheidend sind vielmehr die Umweltbelastung pro Kopf und die starke, anhaltende Verletzung des Fließgleichgewichts. Diese beiden Faktoren können sehr wohl zu einem Kollaps des Ökosystems und damit einer Grenze des Bevölkerungswachstums führen. Entsprechend sind auch Massnahmen zur Senkung der durchschnittlichen Pro-Kopf-Entropietransformation wirkungsvoller als der Versuch, das Bevölkerungswachstum zu beeinflussen, der höchstens in der sehr langen Frist erfolgreich sein kann.

Summary

Are there ecological limits of population growth?

This study concludes that there is not much reason to believe in an absolute (malthusian) ecological limit of population growth. The growth of population does not itself contribute to the ecological problems. Rather it is the per capita demand for resources and the strong and continuous disregard of the low entropy steady-state that could limit a further growth of population. Consequently a policy directed towards a restriction of population growth is less efficient than a policy directed towards the implementation of new back-stop technologies intended to decline the per capita transformation from low to high entropy.