



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Die Rolle von Bevölkerungsdynamiken für
Wirtschaftswachstum“

Verfasst von

Claudine Caroline Egger

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag.rer.soc.oec.)

Wien, November 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:
Studienrichtung lt. Studienblatt:
Betreuerin / Betreuer

A 066 913
Magisterstudium Volkswirtschaftslehre
Univ.-Prof. Monika Gehrig-Merz, Ph.D.

Danksagung

Mein großer Dank gilt Frau Prof. Merz für die Betreuung meiner Masterarbeit. Sie hat mir geholfen, den roten Faden nicht aus den Augen zu verlieren und die Arbeit mit einem klaren Ziel umzusetzen.

Des weiteren möchte ich mich bei meiner Familie, Mitbewohnern, Freunden und Arbeitskollegen die Unterstützung während des Studiums und vor allem während dem Schreiben der Masterarbeit bedanken.

Einen besonderen Dank möchte ich Eva und Raffael aussprechen, mit denen ich viele gemeinsame Stunden am Schreibtisch verbracht habe und die mir die Pausen zwischen dem Verfassen der Masterarbeit versüßt haben.

Diese Arbeit widme ich Hanna, Felix und Lennart - der nächsten Generation fleissiger Studenten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
2	Theoretische Erklärungsansätze	9
2.1	Die malthusianische Falle.....	9
2.1.1	Ricardianische Ressourcenentwicklung.....	9
2.1.2	Malthusianisches Bevölkerungsmodell	10
2.1.3	Langfristige Entwicklung von Bevölkerung und Ressourcen.....	11
2.2	Die Entstehung von technologischem Fortschritt.....	14
2.2.1	Wie technologischer Fortschritt entsteht	14
2.2.2	Das Modell von Romer	14
2.2.3	Langfristige Entwicklung von Bevölkerung und Technologie	18
2.3	Bevölkerungsentwicklung, technologischer Fortschritt und begrenzte Ressourcen.....	21
2.3.1	Beschreibung des drei Sektoren-Modells	21
2.3.2	Post-malthusianische Bevölkerungsdynamik.....	23
2.3.3	Langfristige Entwicklung von Bevölkerung, Ressourcen und technologischem Fortschritt	25
3	Das malthusianische und das post-malthusianische Modell im Vergleich	29
3.1	Die Rolle von Natur als limitierendem Faktor für Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum	29
3.2	Die Auswirkung von Änderungen der Bevölkerungsparameter	31
4	Vergleich der Modellprognosen mit empirischen Daten	34
4.1	Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum.....	34
4.2	Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum	36
4.3	Wachstum von Technologie und Wirtschaft	43
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	45
	Anhang.....	47
	Literaturverzeichnis.....	52
	Abbildungsverzeichnis.....	54

1 Einleitung

Neueste Berechnungen der Vereinten Nationen prognostizieren, dass die Weltbevölkerung von aktuell 7,2 Milliarden bis zum Jahr 2050 auf 9,6 Milliarden, bis zum Jahr 2100 sogar auf 10,1 Milliarden Menschen ansteigen wird. Diese Prognose revidiert frühere Modellrechnungen und besagt, dass eine Abschwächung des Bevölkerungswachstums und damit eine Stabilisierung der Weltbevölkerung in diesem Jahrhundert unwahrscheinlich sein wird. Der größte Anteil dieses Bevölkerungsanstiegs entfällt vor allem auf die sozioökonomisch wenig entwickelten Länder im Subsaharischen Afrika (Gerland, et al., 2014, S. 234f.)

Aus ökonomischer Perspektive ist vor allem die Entwicklung einer Gesellschaft hinsichtlich Bevölkerungsgröße und Altersstruktur interessant. Der Anteil der Erwerbstätigen an der Gesamtbevölkerung kann einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige, wirtschaftliche Entwicklung eines Landes haben. Eine große, junge Bevölkerung kann viele potentielle Arbeitskräfte bedeuten, allerdings kann das auch zu hoher Arbeitslosigkeit und Unterbeschäftigung führen. (Bloom, 2011, S. 24f.)

Steigt die Anzahl älterer Menschen (>65 Jahre), erhöht sich dadurch der von der Erwerbsbevölkerung abhängige Teil der Gesellschaft. Um diese weiterhin ausreichend versorgen zu können, müssen für sie höhere Unterstützungsleistungen getätigt werden, was politische Reformen des Altersvorsorge- und Sozialversicherungssystems erfordern kann. (Gerland, et al., 2014, S. 234-236)

Diese Masterarbeit befasst sich daher mit der Frage, wie sich Bevölkerungswachstum auf das Wirtschaftswachstum auswirkt. Um dieser Forschungsfrage möglichst vielschichtig zu begegnen, werden die Theorien von Thomas Robert Malthus und Ester Boserup im Hinblick auf den Zusammenhang von Bevölkerungswachstum für Wirtschaftswachstum und deren Auswirkungen für Ressourcenverbrauch verglichen.

Der Pastor und klassische Ökonom Thomas Robert Malthus hat mit dem 1798 veröffentlichten Werk *An Essay on the Principles of Population* die Wahrnehmung von Bevölkerungswachstum bis in das 20. Jahrhundert geprägt. Malthus hat darin die Entwicklung von natürlichen Ressourcen (Rohstoff- und Lebensmittelproduktion) und Bevölkerung verglichen und festgestellt, dass die Bevölkerung schneller wächst als die Ressourcen, wodurch die Bevölkerung die konstante Tendenz hat ihre Subsistenzgrundlage zu übersteigen. Da Menschen aber Essen und andere Konsumgüter brauchen, um zu überleben, muss laut Malthus die Bevölkerung zwangsläufig wieder auf das

Subsistenzniveau schrumpfen, auf dem das Überleben gerade noch möglich ist. (Malthus, 1992, S. 11-20)

Malthus ist durch seine Forderung, Armenfürsorgemassnahmen (Suppenküchen etc.) abzuschaffen, berühmt geworden. Seiner Meinung nach wird, durch die unentgeltliche Versorgung mit Lebensmitteln, das Bevölkerungswachstum zusätzlich stimuliert. Das wiederum führt über eine negative Rückkoppelung zu niedrigeren Löhnen und höheren Lebensmittelpreisen, wodurch sich die Situation der Armen weiter verschlechtert. (Malthus, 1992, S. xvii)(Lee, 2011, S. 569)

Die Dänische Ökonomin Ester Boserup war Zeit ihres Lebens eine große Kritikerin von Malthus' Theorie zum Zusammenhang zwischen Ressourcen und Bevölkerung. In ihren Werken *THE CONDITIONS OF AGRICULTURAL GROWTH* (1965) und *Population and Technology* (1981) stützt sie sich auf eine Kombination aus ökonomischer und kultur-antropologischer Analyse von empirischen Daten zur Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Technologieentwicklung. Im Gegensatz zu klassischen Ökonomen wie Malthus geht sie davon aus, dass die Bevölkerung nicht die abhängige, sondern die erklärende Variable für sozioökonomische Entwicklung ist.

Sie sieht zwar ebenfalls die Verbindung von Bevölkerung und Ressourcen, allerdings sind die Fortschritte in der landwirtschaftlichen Produktion ihrer Meinung nach nicht das Ergebnis einer zufälligen, technologischen Verbesserung, sondern eine Folge des menschlichen Einfallsreichtums. Für sie ist das Bevölkerungswachstum der Motor für technologische Innovationen, da durch eine höhere Bevölkerungsdichte Gesellschaften dazu animiert werden, zu komplexeren Formen des Ressourcenmanagements überzugehen.

Sie schreibt, dass technologische Entwicklung auf verschiedenen Ebenen (politisch, sozial, gesundheitlich) wirkt und dabei nicht die Ressourcennutzung sondern die Gesellschaft als solche verändert. (Boserup, *Population and Technology*, 1981, S. 11-14)(Boserup, *Population and Technology*, 1981, S. ix-xi;3-7)

Das erste Kapitel dieser Arbeit befasst sich mit den theoretischen Erklärungsansätzen für die Beziehung von Bevölkerung und Wirtschaft. In diesem Teil der Arbeit werden drei Modelle mit unterschiedlichen Erklärungsansätzen für sozioökonomische sowie technologische Entwicklung vorgestellt.

Zunächst wird mittels eines Ricardo-Malthus- Modells die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung nach Malthus analysiert.

Anschließend wird die Entstehung von technologischem Fortschritt mithilfe des Romer Modells diskutiert. Ester Boserups Ideen werden mit jenen von Paul Romer verknüpft, denn obwohl Ester Boserup sich primär mit Agrarindustrien befasst hat und kein formalisiertes Modell für ihren Ansatz hat, decken sich ihre Ansichten doch in vielen Punkten mit jenen von

Paul Romer. Der große Vorteil des Romer- Modells ist zudem, dass es auch auf moderne Industriestaaten anwendbar ist, während der Forschungsschwerpunkt von Boserup vor allem auf der Analyse von Jäger und Sammlergesellschaften und Agrargesellschaften lag.

Das letzte Modell verfolgt einen post-malthusianischen Ansatz und berücksichtigt neben Ressourcen und Bevölkerung auch technologischen Fortschritt als zusätzliche Variable.

Im nächsten Kapitel werden die wesentlichen Ergebnisse der Modelle im Bezug auf Ressourcen als den limiterenden Faktor sowie einer Veränderung der Bevölkerungsparameter miteinander verglichen. Dabei werden modellspezifische Unterschiede aufgezeigt.

Das letzte Kapitel widmet sich der empirischen Überprüfung der zuvor präsentierten Theorien. Hierbei werden die Entwicklung von Ressourcenverbrauch, Wirtschaftswachstum und technologischem Wachstum mit Bevölkerungswachstum verglichen und nach Bestätigung, bzw. Unterschieden der Modellprognosen gesucht.

Das letzte Kapitel fasst die gewonnen Erkenntnisse im Bezug auf die Forschungsfrage zusammen, um diese zu beantworten.

2 Theoretische Erklärungsansätze

2.1 Die malthusianische Falle

Mit Hilfe des Modells *The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use* von Brandner und Taylor wird die Dynamik von Ressourcen und Bevölkerungsentwicklung nach Malthus Theorie beschrieben.

2.1.1 Ricardianische Ressourcenentwicklung

Zu der Entwicklung der natürlichen Ressourcen schreibt Malthus in *An Essay on the Principles of Population*, dass diese arithmetisch wachsen und die Bevölkerungsgröße an die Tragfähigkeitsgrenze der Ressourcen (Boden, Wald, etc.) geknüpft ist. (Malthus, 1992, S. 19f.) David Ricardo hat Malthus Ideen weiter formalisiert und diese Entwicklung einerseits auf die Knappheit von Land sowie andererseits auf den abnehmenden Grenzertrag von Arbeit (auf den Feldern) zurückgeführt. (Ehrlich & Lui, 1997, S. 209)

Brandner und Taylor beschreiben in ihrem Modell eine Zwei-Sektoren-Wirtschaft, welche die zwei Güter Ernte H und ein aggregiertes, anderes Gut M produziert.

Die Inputfaktoren für die Produktion sind die natürlichen Ressourcen S und die menschliche Arbeitskraft L , wobei vereinfachend angenommen wird, dass die Erwerbsbevölkerung der Gesamtbevölkerung entspricht. Die Entwicklung der natürlichen Ressourcen wird durch folgende Funktion beschrieben:

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S} = G(S) - H = rS \left(1 - \frac{S}{K}\right) - H \quad (2.1)$$

Der erste Teil der Funktion beschreibt die natürliche Wachstumsrate $G(S)$. Für diese wird eine logistische Funktion angenommen, welche die einfachste Form für biologisches Wachstum in einer begrenzten Umwelt darstellt. Die Variable r bezeichnet die natürliche Regenerationsrate. Das Ressourcenwachstum ist zudem abhängig vom Ressourcenstock $S(t)$. Aufgrund des logistischen Wachstums wächst die Ressource zuerst schnell, allerdings verlangsamt sich das Wachstum zunehmend je mehr sich der Ressourcenstock S der Tragfähigkeitsgrenze K – dem Produktionsmaximum – nähert. So gilt für $S=K$ ist $r=0$, da das Ressourcenwachstum an diesem Punkt gesättigt ist. (Brandner & Taylor, 1998, S. 123)

Der zweite Teil der Funktion H , steht für die geerntete Menge. Für die Beschreibung der Erntemenge verwenden die Autoren eine Schäfer-Ernte-Produktions-Funktion:

$$H^P = \alpha S L_H \quad (2.2)$$

Wobei L_H den dafür benötigten Arbeitsaufwand und α eine positive Konstante darstellen. Der Parameter $A_{LH} = L_H / H^P = 1 / \alpha S$ misst die Produktivität des Landwirtschaftssektors. Die natürlichen Ressourcen können kostenfrei und ohne Zugangsbeschränkung genutzt werden, was bedeutet, dass der Preis jedes Ernteguts seinen Produktionskosten entspricht:

$$p = w a_{LH} = \frac{w}{\alpha S} \quad (2.3)$$

Das aggregierte Gut M wird als numeraires Gut behandelt, das heißt $p_m=1$. M wird nur mit Hilfe von Arbeit produziert, wobei 1 Einheit Arbeit 1 Gut M produziert und die Produktion konstanten Skalenerträgen unterliegt. In beiden Sektoren herrscht freier Marktein- und Austritt.

Auf der Nachfrageseite steht der nutzenmaximierende Konsument für dessen Präferenzen eine Cobb-Douglas-Funktion mit $0 \leq \beta \leq 1$ angenommen wird:

$$u = h^\beta m^{1-\beta} \quad (2.3)$$

h und m entsprechen den individuell nachgefragten Mengen nach Ernte und Manufakturgut. Jeder Konsument ist mit einer Arbeitseinheit ausgestattet und optimiert seinen Nutzen unter der Budgetbeschränkung $p \cdot h + m = w$.

Die aggregierte Nachfrage ergibt sich durch die Multiplikation der individuell, optimalen Mengen mit der Gesamtbevölkerung L :

$$H^D = \frac{w \beta L}{p} \text{ und } M^D = w(1 - \beta)L \quad (2.4)$$

Betrachtet man nun die Wirtschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt, sind sowohl der Ressourcenstock als auch die Bevölkerungsgröße konstant und gegeben, damit die maximale Produktionsgrenze vor.

Obiges ist durch folgende Gleichung beschrieben:

$$H^D a_{LH}(S) + M = L \quad (2.5)$$

Diese lineare Produktionsstruktur ist nach ihrem Entdecker David Ricardo benannt. Wenn der Ressourcenstock kleiner wird (die Ernte H ist größer als die Wachstumsrate G), dann sinkt auch die Arbeitsproduktivität a_{LH} im Ressourcensektor. Dadurch verschiebt sich die Produktionsgrenze nach unten und es kommt zu einem neuen, temporären Gleichgewicht mit einer niedrigeren Ernte. (Brandner & Taylor, 1998, S. 122-123)

2.1.2 Malthusianisches Bevölkerungsmodell

Da bei der Betrachtung der Ressourcen die Bevölkerung als fixe Variable L behandelt wurde, soll nun auf die Bevölkerungsdynamik eingegangen werden. Die Bevölkerungsentwicklung wird im Modell vom Brandner und Taylor durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\frac{dL}{dt} = \dot{L} = L \left(b - d + \phi \frac{H}{L} \right) \quad (2.6)$$

L steht für die totale Bevölkerung; die Variablen b und d stehen für die Demografieparameter Geburten- und Sterberate. In diesem Modell wird angenommen, dass die Sterberate die Geburtenrate übersteigt und $(b-d) < 0$ gilt. Diese realistische Annahme bedeutet, dass die Bevölkerungsentwicklung prinzipiell negativ ist und eine Gesellschaft nur mit ausreichend

Ernteeinkommen (Lebensmittel) wächst und sogar aussterben kann, falls dieses nicht (oder nur ungenügend) vorhanden ist.

$\phi H/L$ spiegelt die Fertilitätsfunktion wieder, wobei ϕ eine positive Konstante ist. Zudem ist sie abhängig vom Pro-Kopf-Konsum der Ernte H/L . Steigt dieser (aufgrund von einem höheren Einkommen), führt dies zu Bevölkerungswachstum und vice versa zu einem Bevölkerungsrückgang. Malthus bezeichnet jenes Pro-Kopf-Einkommen, bei dem beide Seiten der Bevölkerungsgleichung gleich groß sind und das Bevölkerungswachstum somit genau 0 ist, als Subsistenz Einkommen. Sobald das individuelle Einkommen jene Grenze überschreitet, führt das zu einer wachsenden Bevölkerung, hier $(b-d) < \phi\alpha\beta S$.

Im malthusianischen Bevölkerungsmodell ist die Nettoreproduktionsrate $(b-d+\phi\alpha\beta S)$ abhängig von der Verfügbarkeit von Land. In diesem Modell zeigt sich die Abhängigkeit von natürlichen Ressourcen, weil $(b-d+\phi\alpha\beta S)$ linear in S ist. Wobei für H die optimale Erntemenge $H = \phi\alpha\beta S$ eingesetzt wurde. (Brandner & Taylor, 1998, S. 124f.)

2.1.3 Langfristige Entwicklung von Bevölkerung und Ressourcen

Als nächstes soll die dynamische Interaktion von Ressourcen und Bevölkerung am Beispiel des obig genannten Modells analysiert werden. Hierfür werden zuerst die Gleichgewichtszustände und anschließend das dynamische System genauer betrachtet.

Ein Gleichgewichtszustand kennzeichnet sich dadurch, dass die Wachstumsraten Null sind. Für das Bevölkerungs- als auch das Ressourcenwachstum gilt $dL/dt = dS/dt = 0$. Durch das Nullsetzen der Gleichungen (2.1) und (2.7) sowie Einsetzen, erhält man drei Gleichgewichtszustände, wobei es sich bei den ersten zwei Gleichungen (G_1 : $L=0$, $S=0$) und (G_2 : $L=0$, $S=K$) um Randlösungen handelt und die einzige, innere Lösung G_3 bei

$$L^* = \left[\frac{r}{\alpha\beta} \right] * \left[1 - \frac{(d-b)}{\phi\alpha\beta K} \right] \text{ und } S^* = \frac{(d-b)}{\phi\alpha\beta} \quad (2.7)$$

liegt. Da sowohl $d > b$ als auch alle anderen Variablen > 0 sind, sind hier S und L positive Werte.

Abbildung 1 zeigt in Teil A (oben) die Entwicklung der natürlichen Ressourcen und in Teil B (unten) der Bevölkerung. S^* und L^* markieren den dritten, inneren Gleichgewichtszustand, auf den im Folgenden hauptsächlich eingegangen wird. (Brandner & Taylor, 1998, S. 124-125)

Teil A zeigt die Entwicklung der natürlichen Ressourcen S . Auf der Y-Achse werden Ernte und Wachstum (dS/dt) abgebildet. Die X-Achse verweist auf die Größe des Ressourcenstocks. Zudem ist auch die Erntefunktion $H = \alpha\beta LS$ (wie die Nettoreproduktionsrate ebenfalls linear in S) dargestellt. Im Gleichgewichtszustand S^* entspricht die geerntete Menge genau dem Ressourcenwachstum. Für $S < S^*$ ist sie kleiner

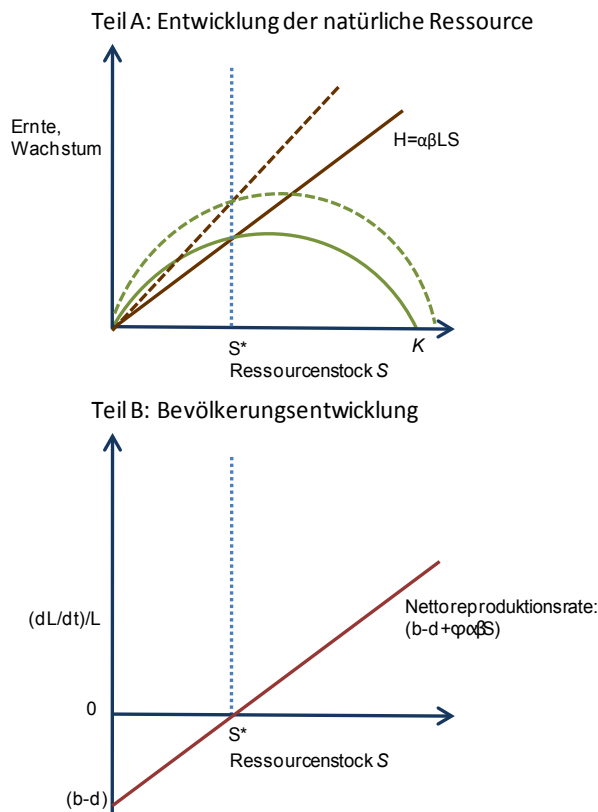


Abbildung 1: Entwicklung von Ressourcen und Bevölkerung, eigene Darstellung nach Brandner & Taylor 1998: S.124

und führt zu Wachstum. Ist $S > S^*$ größer, führt dies zum Schrumpfen von S .

Die Darstellung in Teil B zeigt die Bevölkerungskurve mit der Bevölkerungsveränderung (dL/dt) auf der Y-Achse und dem zugehörigen Ressourcenstock auf der X-Achse. Für jedes Ressourcenlevel $S < S^*$ ist das Bevölkerungswachstum negativ, da $(b-d) < 0$ und $\phi\alpha\beta S < (b-d)$ und somit die Netto-Reproduktionsrate negativ ist. Für S^* ist das Bevölkerungswachstum stationär $(b-d) = \phi\alpha\beta S$ und für $S > S^*$ positiv $\phi\alpha\beta S > (b-d)$. (Brandner & Taylor, 1998, S. 124-125)

Hier zeigt sich der Kern von Malthus Bevölkerungstheorie. Das Wachstum des Ressourcenstocks S (Lebensmittelproduktion) wird durch eine exogene Wachstumsrate bestimmt und die

langfristige Bevölkerungsgröße und deren Wachstum passen sich immer nur an das Ressourcenniveau an. (Ehrlich & Lui, 1997, S. 206) (Malthus, 1992, S. 26-29)

Als nächstes wird das dynamische Verhalten der natürlichen Ressourcen und der Bevölkerungsgröße im Modell von Brandner & Taylor genauer untersucht.

In Abbildung 2 ist auf der Y-Achse der Ressourcenstock und auf der X-Achse die Bevölkerungsgröße dargestellt. Die horizontale Linie in der Mitte (vgl. Gleichung 2.7) spiegelt den jeweiligen Ressourcenstock, bei dem das Bevölkerungswachstum gleich Null ist, wider. Gleiches gilt für $dL/dt = 0$ für $S = (d-b)/\phi\alpha\beta$. Unterhalb dieser Linie ist das Bevölkerungswachstum negativ, oberhalb positiv. Im Diagramm wird dies durch die Richtung der roten Pfeile dargestellt.

Die diagonal fallende Linie gibt die Bevölkerungsgröße, für die das Ressourcenwachstum (ebenfalls von Gleichung 2.7) Null ist, an. (Brandner & Taylor, 1998, S. 126-127)

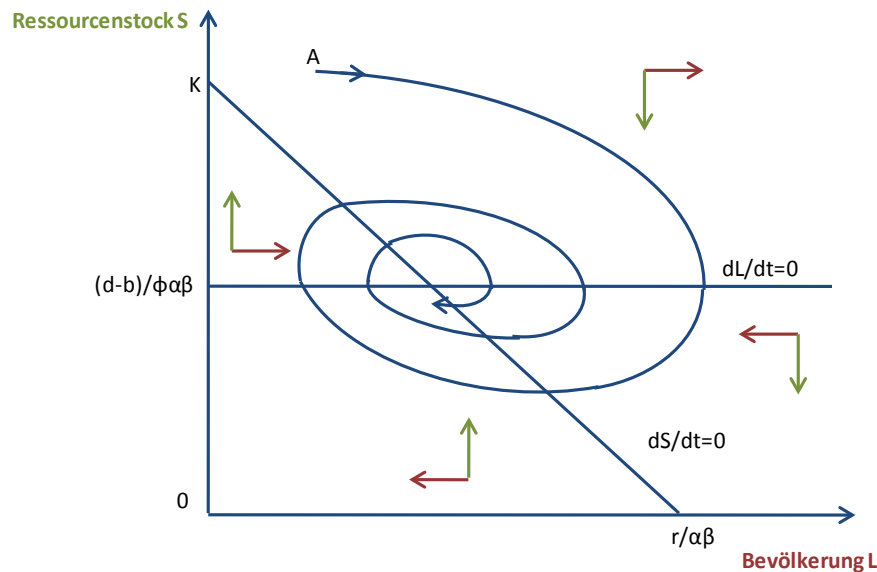


Abbildung 2: Dynamisches Zusammenspiel von Bevölkerung und Ressourcen, eigene Darstellung nach Brandner&Taylor S.126

Links unterhalb der Diagonale und zwischen den XY-Achsen ist das Ressourcenwachstum positiv, darüber negativ. Im Diagramm ist die Richtung der Ressourcenentwicklung durch die grünen Pfeile dargestellt. Der Schnittpunkt der zwei Geraden bildet den inneren Gleichgewichtszustand G_3 ab.

Die dynamische Entwicklung der zwei Größen kann anhand der kombinierten Pfeilrichtungen aus dem Phasendiagramm in Abbildung 2 herausgelesen werden.

Offensichtlich ist die Dynamik für alle Fälle $L > 0$ und $S = 0$. Hier hat die Bevölkerung keine Ressourcen (mehr), die sie abbauen kann und wird daher aussterben oder abwandern, was bedeutet, dass sich das System auf den ersten Gleichgewichtszustand ($S = 0, L = 0$) zubewegt. Ebenfalls leicht ersichtlich ist die Entwicklung, wenn die Bevölkerung ausstirbt ($L = 0$) und die natürliche Ressource nicht aufgebraucht ist ($S > 0$). Ohne Ernte kann diese bis zur ihrem Maximum, der Tragfähigkeitsgrenze K ($S = K, L = 0$), wachsen und der zweite Gleichgewichtszustand stellt sich ein.

Beide Gleichgewichtszustände sind jedoch instabile Sattelpunkte. Im Punkt $(0,0)$ sind die natürlichen Ressourcen – Baumbestände, Feldfrüchte – zwar aufgebraucht, allerdings können sich diese mit der Zeit erholen. Sobald ein Baum oder eine Pflanze wächst, bewegt sich das System auf G_2 zu. Im zweiten Gleichgewichtszustand gibt es viele Pflanzen und Bäume. Sobald sich eine Gruppe Menschen (Siedler) dort niederlässt, begünstigt die große Erntemöglichkeit das Bevölkerungswachstum. (Brandner & Taylor, 1998, S. 126-127)

Interessant ist nun das dynamische Zusammenspiel wenn sowohl Menschen ($L > 0$) als auch Ressourcen ($S > 0$) existieren und das System sich einem Gleichgewichtszustand annähert.

Beginnend im Punkt A in Abbildung 2 wächst die Bevölkerung, da der Ressourcenstock groß und der Pro-Kopf-Anteil der Ernte (H/L) hoch sind, was sich positiv auf die

Nettoreproduktionsrate auswirkt. Mit wachsender Bevölkerung schrumpfen die Ressourcen und das Bevölkerungswachstum verlangsamt sich, bzw. wird negativ sobald $\phi\alpha\beta S < (b-d)$ ist. Nun beginnt die Bevölkerung ebenfalls zu schrumpfen. Die natürlichen Ressourcen erreichen ihr Nullwachstum und erholen sich langsam wieder und deren Wachstum wird positiv, während die Bevölkerung noch immer schrumpft. Schließlich wachsen für kurze Zeit sowohl Ressourcen als auch die Bevölkerung. Diese vier Phasen der zyklischen Annäherung wiederholen sich, bis der Gleichgewichtszustand G_3 erreicht wird.

Dieses Modell zeigt die zyklische Bewegung, die eine Gesellschaft nach Malthus immer und immer wieder durchmacht. Abbildung 2 zeigt, dass hierfür vor allem die Entwicklung in den Quadranten 2 und 4 ausschlaggebend ist. Der schrumpfende bzw. wachsende Ressourcenstock sorgt zuerst für Bevölkerungseinbrüche und anschließend wieder für Wachstum. (Brandner & Taylor, 1998, S. 126-127)

Das hier vorgestellte Ricardo-Malthus-Modell von Brandner & Taylor beschreibt sehr eingängig Malthus Idee vom Zusammenhang zwischen Bevölkerungsentwicklung und wirtschaftlicher Entwicklung. In diesem Modell ist die Bevölkerungsgröße die abhängige Variable und wird durch das Pro-Kopf-Einkommen, bzw. den individuellen Anteil an natürlichen Ressourcen (Lebensmitteln), bestimmt. Das Wachstum der Ressourcen wiederum wird durch einen exogenen Faktor (natürliche Regenerationsrate) determiniert. Wenn der Ressourcenstock wächst oder fällt, zieht dies unweigerlich auch Bevölkerungsdynamik (Wachstum/Einbruch) nach sich. Eine entkoppelte Entwicklung dieser Variablen ist nicht möglich und Veränderungen führen langfristig immer wieder zurück zum Subsistenzniveau, was dem gleichgewichtigen Lebensstandard entspricht. Ein modernes Beispiel für eine solche Entwicklung ist laut Brandner & Taylor Ruanda. (Brandner & Taylor, 1998, S. 125-127)

2.2 Die Entstehung von technologischem Fortschritt

In diesem Kapitel wird die Entstehung von technologischem Fortschritt genauer betrachtet. Hierfür werden die theoretischen Ansichten von Ester Boserup mit jenen von Paul Romer verknüpft und anhand seines Modells zu endogenem Technologiewachstum analysiert. Trotz unterschiedlicher Forschungsschwerpunkte lassen sich interessanterweise viele Parallelen zwischen den Ideen der zwei Forscher ziehen und die empirischen Erkenntnisse von Boserup werden mit dem formalen Modell von Romer bekräftigt.

2.2.1 Wie technologischer Fortschritt entsteht

Technologischen Fortschritt kann man aus vielen Perspektiven betrachten, von daher soll vorerst mit Hilfe von Boserups Arbeiten ein Blick auf die primär landwirtschaftlichen Entwicklungsschritte bis und innerhalb Agrargesellschaften geworfen werden. Anschließend

wird mit Hilfe von Romers Modell technologischer Fortschritt für moderne Gesellschaften analysiert.

In ihrem ersten Werk, dem 1965 erschienen Buch *THE CONDITIONS OF AGRICULTURAL GROWTH - The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*, hat Ester Boserup den Zusammenhang von Bevölkerungswachstum und Veränderungen der Subsistenzweise für Agrargesellschaften untersucht. In ihrem späteren Buch *Population and Technology* hat sie die Interaktionen zwischen Bevölkerung und Technologie in einem breiteren Fokus betrachtet und deren Beziehung von Urgesellschaften bis in die frühe Phase der Industrialisierung erörtert. (Boserup, 1965, S. 8ff.) (Boserup, 1981, S. x)

Boserups Rahmenwerk unterscheidet sechs, in ihrer Komplexität und Ernteerträgen steigende Subsistenzsysteme. Beginnend bei Jägern und Sammlern, die keine Landwirtschaft betreiben, über Baum- und Buschfäller, die ihre Umgebung mit längeren Brachzeiten (10-25 Jahre) bewirtschaften, bis hin zum Anbau mit einjähriger Brache, bzw. jährlicher Bewirtschaftung und schließlich Mehrfelderwirtschaft mit unterjährigem Fruchtwechsel. (Boserup, 1965, S. 8-19) (Boserup, 1988, S. 27)

Sie hält fest, dass Technologie nicht nur auf die Landwirtschaftsformen wirkt, sondern auch soziale, kulturelle sowie gesundheitliche Veränderungen herbeiführen kann und die Gesellschaft selbst verändert. So ermöglichen Arbeitsteilung und Spezialisierung auch eine soziale Differenzierung, wodurch sich unterschiedliche Berufe entwickeln (z.B. Schmied, Bäcker, etc.) und eine komplexere Gesellschaft entsteht. (Boserup, 1988, S. S.23f.)

Boserup schreibt, dass technologische Entwicklung nicht überall zur gleichen Zeit geschieht und abhängig von Klima, Vegetation und der Landschaft selbst ist. Neuerungen können sich dennoch verbreiten, indem einerseits Bewirtschaftungsweisen oder Werkzeuge von anderen kopiert, oder andererseits durch Migrationsbewegungen und Handelsbeziehungen verbreitet werden. Sie betont allerdings, dass mehrere Subsistenzsysteme parallel existieren können, da vor allem in der landwirtschaftlichen, aber später auch in der industriellen Produktion, Fortschritt mit *Mehrarbeit* und damit einem niedrigeren Output pro Arbeitsstunde verbunden ist. Gesellschaften versuchen dies allerdings solange wie möglich zu vermeiden. (Boserup, 1965, S.41f) Zudem gibt sie zu bedenken, dass für die erfolgreiche Durchsetzung einer technologischen Innovation auch die Bevölkerungsdichte oder das vorhandene Land eine entscheidende Rolle spielen. Ist einer dieser Faktoren zu gering, können technologische Neuerungen auch nicht umgesetzt werden.

Boserup schreibt, dass vor allem das 20. Jahrhundert gezeigt hat, dass es im Wesentlichen zwei treibende Seiten für Innovationen gibt: Kosten und Nachfrage. Wächst eine Bevölkerung, erhöht sich dadurch die Marktnachfrage, was das Wirtschaftswachstum antreibt. Andererseits führt dies zu einer Verknappung der natürlichen Ressourcen und erhöht dadurch den Anreiz für die effizientere Nutzung des nun knappen Guts. Sie betont

den Zusammenhang zwischen dem Anreiz für technologische Innovationen und deren Ausmaß: „[...] *there is usually correlation between the resources devoted to research within a given field and the speed of technological progress within that field.*“ (Boserup, 1981, S. 4f.) Von einer technologischen Innovation können neben dem Erfinder selbst auch viele Leute in vielfältiger Weise profitieren. Der kollektive Nutzen, den die Menschheit aus Erfindungen (z.B. Internet, Computer) gewinnt, übersteigt den Betrag, den dessen Entdecker für die Erfindung bekommen hat, wohl um ein Vielfaches. Für Romer ist das möglich, weil diese Art von Wissen positive, externe Effekte hat.

Romer unterscheidet anhand von Rivalität und Ausschliessbarkeit zwei fundamentale Kategorien in Bezug auf Wissen. Bei einem *rivalen* Gut kann immer nur eine Person oder Firma gleichzeitig dieses Gut (bsp. einen Computer) verwenden. Bei einem *nicht-rivalen* Gut können unbegrenzt viele Menschen und Firmen das Gut (bsp. Internet) gleichzeitig nutzen. Um Andere vom Konsum eines Gutes auszuschließen, braucht es allerdings zusätzlich ein Rechtssystem, welches das Eigentum und dessen Verfügung regelt. Öffentliche Güter, wie beispielsweise Luft oder auch Wasser, sind nicht-rival und nicht-ausschließbar.

Für Romer von besonderem Interesse für die Wachstumstheorie, sind jene Güter, die nicht-rival und trotzdem exklusiv sind. Er unterscheidet hierfür zwei Formen von Wissen. Das physische Wissen (Humankapital), das an den Menschen und dessen Fähigkeiten gebunden ist, wodurch es vergänglich ist. Stirbt ein Mensch, sind auch alle seine im Laufe des Lebens erworbenen Fähigkeiten weg. An zweiter Stelle nennt er das nicht-physische Wissen (Grundlagenforschung, Patente, Beweise), welches schriftlich oder digital festgehalten und beliebig oft vervielfältigt werden kann. Es ist nicht gebunden und langfristig erhaltbar. (Romer, 1990, S. 73-78)

2.2.2 Das Modell von Romer

Romers Modell besteht aus einer drei Sektoren-Wirtschaft (Forschungssektor, Intermediärgüter- und Konsumgüterproduktion) mit den vier Inputfaktoren Arbeit L , Kapital K , Humankapital H und Technologie A . Unter Arbeit wird menschliche Arbeitskraft verstanden, Kapital wird durch die Anzahl unterschiedlicher Gebrauchsgüter x gemessen und unter Humankapital subsumiert sich erlerntes, personengebundenes Wissen (Studium, Fachausbildung, etc.).

Romer trifft vereinfachend die Annahme, dass die Inputfaktoren L und H fix sind. Der Forschungssektor und die Konsumgüterproduktion konkurrieren um das Humankapital, es gilt $H = H_A + H_Y$ und Humankapital wird immer beiden Sektoren zugewiesen. Wie zuvor beschrieben unterteilt Romer Wissen in das *rivale* Humankapital und in die *nicht-rivale* Technologie. (Romer, 1990, S. 78ff.)

Der Forschungssektor schafft mit Humankapital H_A und bestehender Technologie A neues Wissen.

$$\dot{A} = \delta H_A A \quad (2.8)$$

Für den Effizienzparameter δ gilt $\delta > 0$. Aus dieser Gleichung lassen sich drei wichtige Aspekte für die Entwicklung der Technologie ableiten. Erstens, je größer der Anteil Humankapital im Forschungssektor H_A ist, desto größer ist das Technologiewachstum. Zweitens, je größer A bereits ist, desto produktiver arbeitet jeder einzelne Forscher H_A^j , da jeder gleichermaßen auf einen immer größer werdenden Stock des *nicht-rivalen* Gutes Technologie A zugreifen kann. Das bedeutet drittens, auch mit konstantem Forschungsaufwand, also einer fixen Anzahl an Forschern, ist unbegrenztes Wachstum möglich. (Romer, 1990, S. 81; 83f.)

Die Intermediärgüterproduktion besteht aus monopolistischen Firmen, welche die Kapitalgüter x für die Konsumgüterproduktion herstellen. Da sie für ihre Produktion entweder ein Patent kaufen oder selbst ein Forschungsdesign entwickeln (und patentieren) müssen, stellt jedes Unternehmen genau ein spezifisches Gut x_i her. Vereinfachend wird angenommen, dass es sich um ewigwährende Patente handelt, die nicht an Wert verlieren. Da jede Firma jeweils der einzige Produzent eines Gutes ist, verlangt sie dafür den Monopolpreis $p(i)$ und produziert die gewinnmaximierende Menge $x(i)$.

$$K = \eta \sum_{i=1}^A x_i \quad (2.9)$$

Die Anzahl unterschiedlicher Güter, die hergestellt werden können, wird wiederum durch das Technologieniveau eingegrenzt. Je höher A ist, desto größer die Anzahl unterschiedlicher Inputgüter. Die Veränderung des Kapitalstocks $dK/dt = Y_t - C_t$ ergibt sich durch den Output Y abzüglich des vergangenen Konsums C . (Romer, 1990, S. 82)

Der Konsumgütersektor besteht aus einer Vielzahl an Firmen, die auf einem vollkommenen Wettbewerbsmarkt miteinander konkurrieren. Mit Hilfe von Arbeitskraft L , Humankapital H_Y und Kapital K wird der Output Y produziert. Die Konsumgüterproduktion unterliegt einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion:

$$Y(H_Y, L, x) = L^\beta \sum_{i=1}^A x_i^{1-\alpha-\beta} \quad (2.10)$$

Das Technologieniveau A gibt wieder die Anzahl der zu einem Zeitpunkt herstellbaren Intermediärgüter vor. Alle Inputgüter sind perfekte Substitute füreinander und können beliebig ersetzt werden. Da die Produktionsfunktion konstante Skalenerträge aufweist und es sich um einen Wettbewerbsmarkt handelt, fasst Romer das Verhalten aller Firmen als jenes einer profitmaximierenden Firma zusammen. Der Output Y kann entweder konsumiert oder als neues Kapital gespart werden. (Romer, 1990, S. 79f.)

Jeder Mensch kann sein Humankapital entweder in den Forschungssektor H_A oder in die Konsumgüterproduktion H_Y einbringen. Romer formuliert Arbeitskraft L und Humankapital H als disjunkte Mengen, da er davon ausgeht, dass sich Menschen darauf spezialisieren entweder ihr Wissen oder ihre Arbeitskraft in den Arbeitsmarkt einzubringen. Die Allokation von Humankapital zwischen beiden Sektoren hängt vom Lohn w_H ab:

$$w_H = P_A \delta A \quad (2.11)$$

Dieser setzt sich aus dem Preis P_A – Forschungskosten – für ein neues Produktionsdesign, dem Effizienzparameter δ und dem Technologieniveau zusammen. (Romer, 1990, S. 85)

Um zu wissen, ob sich die Forschung und Herstellung eines neuen Designs lohnt, müssen die Herstellkosten mit den zu erwartenden Gewinnen, bzw. den diskontierten Zahlungsströmen verglichen werden. Das führt zu folgender Gleichung

$$\pi(t) = r(t)P_A \quad (2.12)$$

Zu jedem Zeitpunkt t muss der Monopolgewinn π gerade so groß sein, dass er die Zinskosten des ursprünglichen Designs abdecken kann. Eine detaillierte Berechnung hierzu findet sich im Anhang auf S.49 (Romer, 1990, S. 87)

Abschließend wird noch ein Blick auf die Präferenzen der Konsumenten geworfen. Diese sehen sich folgendem diskontierten Lebensnutzen gegenüber:

$$\int_0^{\infty} U(C) e^{-\rho t} dt, \text{ mit } U(C) = \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \text{ für } \sigma \in [0, \infty] \quad (2.13)$$

Mit Hilfe von Gleichung (2.14) lässt sich nun ein Zusammenhang zwischen Präferenzen, Zinsrate, und dem Wachstum des Konsums herstellen ($\dot{C}/C = (r - \rho)/\sigma$). (Romer, 1990, S. 88)

2.2.3 Langfristige Entwicklung von Bevölkerung und Technologie

Mit Hilfe der Gleichung (2.10) lässt sich (2.11) umformulieren und genauer analysieren. (Vgl. auch Anhang S. 47ff)

$$Y = ((H_Y A)^\alpha (L A)^\beta (K)^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1}) \quad (2.14)$$

Romer beschreibt mit dieser Gleichung die Verwandtschaft zum neoklassischen Solow-Modell. Die Kapitalakkumulation unterliegt sinkenden Grenzerträgen. Wäre das Wachstum der Technologie A exogen, würde die Wirtschaft zu einem Wachstumspfad konvergieren, bei dem Kapital mit derselben Rate wie Technologie wächst. Kurzfristig sind entlang eines Übergangspfades unterschiedliche Verhältnisse zwischen K und A möglich. Langfristig, bei gleichmäßigem Wachstum, sind allerdings r , $\bar{x}$ und K/A alle konstant. (Romer, 1990, S. 88f.)

Romer konzentriert sich bei der Analyse seines Modells auf den gleichmäßigen Wachstumspfad, das heißt auf das gleichmäßige Wachstum der Variablen A , K und Y und den zugehörigen Gleichgewichtszustand. Da das technologische Wachstum in einem linearen Zusammenhang mit der Technologie (Gleichung 2.9) steht, wächst es nur mit einer

konstanten Rate, wenn die Preise und Löhne dafür sorgen, dass H_Y , bzw. H_A konstant bleiben.

Hierfür untersucht Romer nun, analog dem Solow-Modell, die einzelnen Wachstumsraten der Variablen. Mit der Monopolmenge der Intermediärgüter $\bar{x}$ und einem gegebenen Technologieniveau A lässt sich die Gleichung für den Output Y wie folgt umformen

$$Y = H_Y^\alpha L^\beta A \bar{x}^{1-\alpha-\beta} \quad (2.15)$$

Wenn H_Y , L und $\bar{x}$ fix sind, wächst der Output mit derselben Rate wie A . Von $K=A\bar{x}\eta$. Lässt sich schlussfolgern, dass das Gleiche auch für den Kapitalstock K gilt. Durch umformen der Gleichung $dK/dt = C_t - Y_t$ zeigt sich, dass auch das Verhältnis von C/Y konstant ist.

$$\frac{C}{Y} = 1 - \frac{\dot{K}}{Y} = 1 - \frac{\dot{K}}{K} \frac{K}{Y} \quad (2.16)$$

Daher lässt sich die Wachstumsfunktion schreiben als

$$g = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{A}}{A} = \delta H_A \quad (2.17)$$

Zusammen mit dem hergeleiteten H_Y (vgl. Anhang S.50) und einsetzen der Bedingung $H_Y=H-H_A$ erhält man die Beziehung zwischen der Wachstumsrate g und dem Zinssatz r .

$$g = \delta H_A = \delta H - \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} r \quad (2.18)$$

Schließlich wird das Modell durch hinzufügen der intertemporalen Präferenzen geschlossen.

$$g = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{(r-\rho)}{\sigma} = \frac{\delta H - \Lambda \rho}{\sigma \Lambda + 1} \quad (2.19)$$

Wobei die Konstante $\Lambda=\alpha/(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)$ entspricht und ausschließlich von den Technologieparametern α und β abhängt. (Romer, 1990, S. 90ff.)

Als erstes fällt auf, dass die Wachstumsrate g unabhängig von Arbeit L und Kapital K – hier insbesondere dem Faktor η , der die Kapitalakkumulation beeinflusst – ist und nur von der Größe von H_A abhängt. Der eigentliche Motor des Wachstums in Romers Modell ist also das Humankapital im Forschungssektor H_A . Steigt dort die Anzahl der Forscher, können mehr technologische Neuerungen gemacht und dadurch das Wirtschaftswachstum erhöht werden. Intuitiv liegt die Vermutung nahe, dass Arbeitskraft und Kapital einen Einfluss auf das Wirtschaftswachstum haben und ein Anstieg von L oder eine Reduktion von η (Erhöhung des Kapitalstocks) sich positiv auf dessen Entwicklung auswirken müssten. Beides führt zu einem Anstieg des Lohns für Humankapital im Konsumgüter- und Forschungssektor und obwohl sich eine Variation dieser Faktoren auf mehreren Ebenen auswirkt, gleichen sich deren Effekte hier genau aus. (Romer, 1990, S. 93f.) Allerdings kommt Romer zum Beispiel im Folgemodell von *Endogenous Technological Change* zum Ergebnis, dass sich ein Anstieg von L , abhängig von Substitutionselastizität zwischen L und H_A , sogar negativ auf den Anteil Humankapital im Forschungssektor auswirken kann. (Romer, 1990, S. 352f.) Er schließt daraus, dass sich die Effekte von L und η mit Hilfe eines theoretischen Modells nicht

eindeutig bestimmen lassen, da das Ergebnis wesentlich vom Design des Modells selbst abhängt. Und dennoch liefert das Modell dadurch gerade für entwicklungspolitische Fragestellungen einen interessanten Ansatz. Es zeigt, dass durch Kapitalsubventionierung allein Wirtschaftswachstum nicht stimuliert werden muss. Vielmehr sollten vermehrt Anreize zur Erhöhung des Humankapitals durch Bildung und Forschung geschaffen werden, das heißt der Fokus sollte mehr auf der Vermehrung des physischen Kapitals liegen.

Interessant sind nun auch die Faktoren, welche die Verteilung des Humankapitals beeinflussen. Die Allokation von Humankapital auf die zwei Wirtschaftssektoren wird durch die Löhne gesteuert und die Opportunitätskosten eines jeden Forschers sind der entgangene Lohn aus dem anderen Sektor. Aus Gleichung (2.12) und (2.13) geht hervor, dass der Lohn im Forschungssektor dem diskontierten Gewinn eines neuen Forschungsdesigns entspricht. Daraus kann man sehr einfach den negativen Einfluss der Zinsrate r auf das Wirtschaftswachstum g erkennen. Wenn r steigt, sinkt der aktuelle Gewinn – die Gewinne von neuen Designs liegen vor allem in zukünftigem Nutzen – bzw. der Lohn im Forschungsbereich, weshalb weniger Forscher im Forschungsbereich tätig sind und H_A sinkt. Der ROI (Return on Investment) eines Designs wird kleiner und „Neuentdeckungen“ weniger attraktiv. Ähnlich ist die Wirkung der intertemporalen Präferenzen, wie Gleichung (2.19) zeigt. Da ein Großteil des Nutzens eines neuen Produktionsdesigns in der Zukunft liegt, hat die *Geduld* einer Gesellschaft einen ausschlaggebenden Einfluss auf deren Wirtschaftswachstum. Ein Anstieg der Geduldigkeit ρ oder eine Verringerung der intertemporalen Substitution σ verringern den Einfluss der Zinsrate r und erhöhen somit das Wachstum g . Alle drei Faktoren zeigen, dass Wirtschaftswachstum auf die zukünftigen Erwartungen reagiert. (Romer, 1990, S. 93-96,99)

Zwei Faktoren führen allerdings dazu, dass der Anteil des Humankapitals in der Forschung tendenziell zu gering ist. Zum einen sind das die positiven, externen Effekte von Technologie. Da jeder Forscher Zugang zur gesamten Technologie A hat, ist mit jedem neuen Produktionsdesign ein kollektiver Zusatznutzen verbunden. Der Preis eines Forschungsdesigns spiegelt allerdings nur den individuellen Gewinn wider. Das heißt, das soziale Grenzprodukt des Humankapitals H_A ist höher als der dafür bezahlte Lohn. (Romer, 1990, S. 93-96)

Andererseits sind die Produktionsdesigns der Input für einen Monopolmarkt, dessen Preise Aufschläge auf die Grenzkosten beinhalten. Dadurch ist der Monopolist in der Lage, einen zusätzlichen Gewinn zu erwirtschaften, während der Forscher als Produzent einer Idee nicht deren vollen Gewinn abschöpfen kann. In einer Wohlfahrtsanalyse berechnet Romer das Modelgleichgewicht unter vollständigem Wettbewerb. Dieses spiegelt die wohlfahrtsoptimale Verteilung von Humankapital wider und zeigt, dass hier H_A und somit auch die Wachstumsrate g^* größer sind, was schnelleres Wirtschaftswachstum bedeutet. Romer

betont zudem die Vorteile von internationalem Handel und Austausch, da sich dadurch nicht nur der Gütermarkt vergrößert, sondern auch die personellen Ressourcen (Humankapital), was sogar für heterogene Länder, das technologische und somit das wirtschaftliche Wachstum stimuliert. (Romer, 1990, S. 96ff.)

Als letztes soll für Romers Modell noch untersucht werden, welche Faktoren die wirtschaftlichen Entwicklung hemmen kann. Dieser Punkt führt dann auch zurück zum Anfang dieses Kapitels und zu Ester Boserup. Aus Gleichung (2.20) geht hervor, dass das Humankapital eine gewissen Größe haben muss, damit die Gleichung positiv wird. Wenn das Humankapital einer Gesellschaft zu niedrig ist, kann daher deren Wirtschaftswachstum stagnieren. In Romers Modell kann das realisierbare, technologische Wachstum zu gering sein, als dass es die Opportunitätskosten (Verzicht auf den jetzt produzierten Output Y) wert ist. Romer führt die unterschiedlichen Wachstumsraten der Länder unter anderem auf diesen Faktor zurück. So schreibt er: „...*civilization, and hence growth, could not begin until human capital could be spared from the production of goods for immediate consumption.*“ und ist sich damit mit Boserup einig, dass eine zu kleine Bevölkerung die Falle für sozioökonomische Entwicklung ist. (Romer, 1990, S. 96ff.)

2.3 Bevölkerungsentwicklung, technologischer Fortschritt und begrenzte Ressourcen

Als letztes wird im Folgenden das Modell von Prskawetz et al. „*Endogenous Growth of Population and Income Depending on Resource and Knowledge*“ vorgestellt. Das Besondere an diesem Modell ist, dass es einerseits die beiden vorangehenden Modelle vereint, da es sowohl Ressourcen-, Bevölkerungs- und Technologiewachstum als Variablen enthält und andererseits, im Gegensatz zu vielen anderen Modellen der endogenen Wachstumstheorie, alle diese Variablen *endogen* sind. Das Ziel des Modells von Prskawetz et al. ist es, auf Basis dieser drei endogenen Variablen langfristig, aufrechterhaltbare Entwicklungspfade von Bevölkerung und Ressourcen zu untersuchen.

2.3.1 Beschreibung des drei Sektoren-Modells

Das Modell von Prskawetz et al. besteht aus einer drei Sektoren-Wirtschaft. Der primäre und sekundäre Sektor produzieren jeweils den Input für den nachgelagerten Sektor. Es werden hier Steuern eingenommen, mit denen der tertiäre Sektor finanziert wird. Dieser dritte Sektor produziert neues, technologisches Wissen, das wiederum den vorgelagerten Sektoren zu Gute kommt. Der Primärsektor produziert mit Hilfe von Arbeit L_1 , Technologie A und Ressourcen R die Ernte H (landwirtschaftliche Produkte, Holz, etc.) als Output. Die

Erntefunktion wird durch eine Cobb-Douglas-Funktion beschrieben:

$$H(A, L_1, R) = R^{\alpha_1} (A^{\varepsilon_1} L_1)^{\alpha_2} \quad (2.20)$$

wobei für die Exponenten $0 < \alpha_1, \alpha_2, \varepsilon_1 \leq 1$ und $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ gilt. Anders als beim Ricardo-Malthus-Modell hat hier neben Arbeitseinsatz und Ressourcenstock auch das Technologieniveau (Know-how, Ausbildung, Sozialkapital) über steigende Arbeitsproduktivität einen Einfluss auf die Erntemenge. Das Wachstum der natürlichen Ressource wird, wie im Ricardo-Malthus Modell, durch das biologische Wachstum und durch die Ernte beeinflusst.

$$\frac{dR}{dt} = \dot{R} = \theta R(\bar{R} - R) - R^{\alpha_1} (A^{\varepsilon_1} L_1)^{\alpha_2} \quad (2.21)$$

Der erste Teil der Funktion entspricht, wie schon im ersten Modell, wieder einer logistischen Wachstumsfunktion, wobei hier θ die Regenerationsrate und $\bar{R}$ die Tragfähigkeitsgrenze repräsentieren. (Prskawetz et al., 1999, S. 308;311)

Der zweite Sektor produziert das Industriegut Y indem er den Output des Primärsektors H mit Arbeitskraft L_2 und Technologie A weiterverarbeitet und beispielsweise aus Holz, Papier macht. Auch hier wird wieder eine Cobb-Douglas Produktionsfunktion angenommen:

$$Y(A, H, L_2) = A^{\varepsilon_2} H^{\beta_1} (A^{\varepsilon_3} L_2)^{\beta_2} \quad (2.22)$$

Für die Exponenten gilt wiederum $0 < \beta_1, \beta_2, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \leq 1$ und $\beta_1 + \beta_2 = 1$. Das Industriegut wird als numeraires Gut mit dem Preis $\pi = 1$ angenommen. Auch in der Produktionsfunktion des Industriesektors beeinflusst die Technologie die Arbeitsproduktivität und kann die Produktionsgrenze erhöhen.

Der tertiäre Sektor schafft schließlich mit Hilfe des Inputgutes Z (Schulen, Universitäten, Forschungslaboratorien) und Arbeitskraft L_3 (Lehrer, Professoren, Richter) neues Wissen E . Z entspricht hier jenem Teil der Steuereinnahmen aus den vorgelagerten Sektoren, der für die Ausstattung und nicht für den Arbeitsinput L_3 im tertiären Sektor verwendet wird.

Auch die Produktion von Wissen unterliegt einer Cobb-Douglas-Funktion:

$$E(Z, L_3, A) = \left[\left(\frac{Z}{P} \right)^{\gamma_1} \left(\frac{L_3}{P} \right)^{\gamma_2} A^{\gamma_3} \right] P^{\gamma_4} \quad (2.23)$$

mit den Exponenten $0 < \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4 \leq 1$ und $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$. Wie schon im vorangehenden Kapitel diskutiert, wirken in diesem Modell einerseits das vorhandene Technologieniveau A und andererseits auch die Bevölkerungsgröße P – stellvertretend für die Bevölkerungsdichte – positiv auf die Produktion von neuem Wissen. (Z/P) repräsentiert den Pro-Kopf-Input des Industriegutes und (L_3/P) den Arbeitskräfteanteil im tertiären Sektor. Beide Faktoren haben ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Wissensproduktion, das heißt mit besserer Pro-Kopf-Ausstattung des Industriegutes und höherem Arbeitskräfteanteil im tertiären Sektor wird es leichter, einen technologischen Fortschritt zu erzielen. Wissen E wird in diesem Modell als

Bestandsgröße behandelt und als solche kann sie nicht nur wachsen, sondern auch zerfallen. Daher wird hier das Technologiewachstum durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\frac{dA}{dt} = \dot{A} = \left[\left(\frac{Z}{P} \right)^{\gamma_1} \left(\frac{L_3}{P} \right)^{\gamma_2} A^{\gamma_3} \right] P^{\gamma_4} - \delta A \quad (2.24)$$

wobei δ die Abschreibungsrate für die Technologie darstellt. (Prskawetz et al., 1999, S. 308-311)

Das hier beschriebene Wirtschaftssystem wird durch folgende drei Annahmen eingegrenzt: vollständiger Wettbewerb, Verteilung der Steuern für den Dritten auf die vorgelagerten Sektoren und die endogene Bestimmung des Arbeitsangebots.

Bei Profitmaximierung unter vollständigem Wettbewerb entspricht der Preis der Inputfaktoren ihrem jeweiligen Grenzprodukt. Für den primären Sektor Gleichung (2.26 links) bedeutet das, dass der Faktorpreis dem Grenzprodukt der Arbeit entsprechen muss, wobei w den Marktlohn, ausgedrückt in Industriegütern und $\tilde{p}$ den relativen Preis des Erntegutes, ausgedrückt durch das Industriegut, darstellen. Der Industriesektor produziert das numeraire Gut (Preis=1) und das Grenzprodukt der Arbeit entspricht dem Marktlohn Gleichung (2.26 Mitte), während für eine zusätzliche Einheit des Erntegutes der Preis $\tilde{p}$ plus dessen Steuer $T_1 = t_1 \tilde{p}$ bezahlt werden müssen Gleichung (2.26 rechts).

$$w = \tilde{p} \frac{\delta H}{\delta L_1}, \quad w = \frac{\delta Y}{\delta L_2}, \quad p = \tilde{p}(1 + t_1) = \frac{dY}{dH} \quad (2.25)$$

Die gesamten Steuereinnahmen ergeben sich aus den Steuern auf das Erntegut $T_1 H$ und jenen auf das Industriegut $T_2 L = w t_2 L$. Realitätsnah wird angenommen, dass nicht die gesamten Steuereinnahmen verteilt werden, sondern ein Teil in Korruption fließt, was durch den Faktor c ausgedrückt wird:

$$(1 - c)(T_1 H + T_2 L) \quad (2.26)$$

Die Steuereinnahmen werden auf den Konsum der Industriegüter $(1-c)s(T_1 H + T_2 L) = Z$ und die Löhne $(1-c)(1-s)(T_1 H + T_2 L) = w L_3$ des Technologiesektors verteilt.

Die letzte Einschränkung wird durch die endogen bestimmte Erwerbsbeteiligung $l(w(1-t_2))$ gestellt.

$$L = l(w(1 - t_2))P = \frac{w(1 - t_2)}{w_0 + w(1 - t_2)} P \quad (2.27)$$

Wobei w_0 eine Konstante ist. Gleichung (2.28) zeigt, dass die Erwerbsbeteiligung vom Nettolohn abhängt und eine steigende und konkave Funktion ist. (Prskawetz et al., 1999, S. 312f.)

2.3.2 Post-malthusianische Bevölkerungsdynamik

Die Bevölkerungsfunktion in diesem Modell stützt sich wesentlich auf empirische Erkenntnisse über den Zusammenhang von Pro-Kopf-Einkommen und Geburtenrate.

Während Malthus noch von einem stetig positiven Zusammenhang von Individualeinkommen und Geburtenrate ausgegangen ist, zeigen die Entwicklung von Bevölkerungsgröße und Pro-Kopf-Einkommen, dass deren Entwicklung zweigeteilt ist. Bis zu einem gewissen Einkommen steigt die Geburtenrate, sinkt danach aber wieder deutlich. Es kommt zu einem demografischen Übergang. Diese Theorie geht unter anderem auf Gary Becker zurück, der in den 1960er Jahren mit Bezug auf Malthus festgestellt hat, dass Kinder zwei wesentliche Funktionen erfüllen. Auf der einen Seite tragen sie als Arbeitskräfte zum Familieneinkommen bei. Auf der anderen Seite dienen sie ihren Eltern als Nutzenstifter. Becker behandelt Kinder wie andere Konsumgüter und geht davon aus, dass Eltern mit steigendem Einkommen nicht nur in die Quantität (Anzahl), sondern auch in die Qualität (Bildung, Zuwendung, Ausstattung an materiellen Gütern) ihrer Kinder investieren. (Becker, 1960, S. 212ff.) Oded Galor hat mehrere Ursachen für Geburtenrückgang untersucht und misst, im Gegensatz zu Becker, nicht dem dominierenden, negativen Substitutionseffekt (steigenden Opportunitätskosten von Kindern), sondern der steigenden Nachfrage und der zunehmenden Bedeutung von Humankapital die größte Bedeutung bei. (Galor, 2005, S. 498ff.)

Die hier gewählte Bevölkerungsfunktion ist daher zweigeteilt, in einen malthusianischen und einen post-malthusianischen Term, wodurch beide Entwicklungsrichtungen berücksichtigt werden.

$$\begin{aligned}\frac{dP}{dt} &= \dot{P} = n(y, A, P) = n_1(y) - n_2(y, A, P) \\ &= c_4 \left[\frac{y - y^{sub}}{c_1 + y - y^{sub}} - c_2 \frac{AP(y - y^{sub})}{APy + c_3} \right]\end{aligned}\quad (2.28)$$

c_1 , c_2 , c_3 und c_4 sind positive Konstanten und y^{sub} repräsentiert das Subsistenz Einkommen nach Malthus. Der erste Teil der Funktion entspricht Malthus Beobachtung einer wachsenden Bevölkerung, bzw. Geburtenrate, sobald das Pro-Kopf-Einkommen y das Subsistenz Einkommen y^{sub} übersteigt. (Prskawetz et al., 1999, S. 309f.)

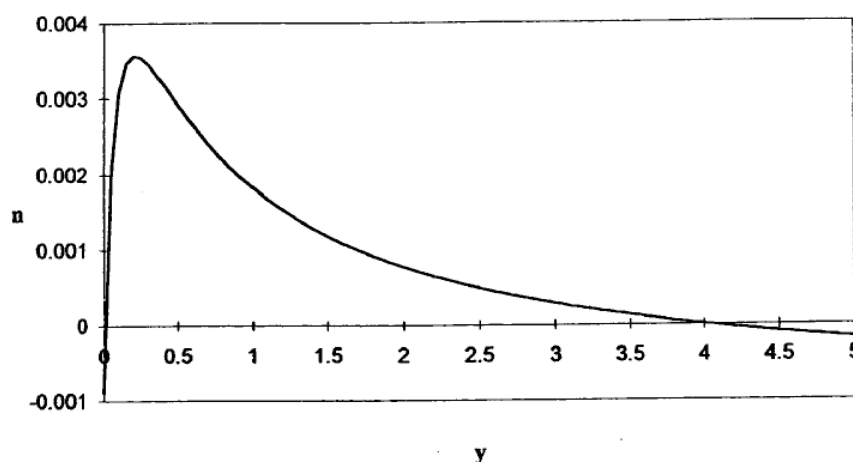


Abbildung 3: endogene Bevölkerungsentwicklung für $c_1=0,1$, $c_2=1,1$, $c_3=0,5$, $c_4=0,01$, $y^{sub}=0,01$ und $P=A=1$, Quelle:(Prskawetz, 1999, S. 312)

Der zweite Teil der Funktion spiegelt die post-malthusianische Bevölkerungsentwicklung wider. Dieser ist neben dem Pro-Kopf-Einkommen auch von der Gesamtbevölkerung P und der Technologie A abhängig. Beide Variablen haben einen negativen Einfluss auf das Bevölkerungswachstum und drosseln dessen Entwicklung mit höherem Einkommen y . Das Technologieniveau veranschaulicht auf diese Weise die inverse Beziehung von Geburtenrate und Humankapital (vgl. hierzu Kapitel 4.2) und die Gesamtbevölkerung den Bevölkerungsdruck, der durch die steigende Bevölkerungsdichte entsteht. Da der Einfluss des zweiten Teils mit steigendem Einkommen zunimmt, sorgt dieser für eine sinkende Bevölkerung, sobald ein bestimmter Lebensstandard erreicht wird. (Vgl. Abbildung 3) (Prskawetz et al., 1999, S. 311f.)

2.3.3 Langfristige Entwicklung von Bevölkerung, Ressourcen und technologischem Fortschritt

Für die Analyse und die Durchführung von Simulationen des Modells wurde von Prskawetz et al. das Bifurikationsprogramm LOCBIF verwendet. Der Schwerpunkt der Analyse lag darauf, zu untersuchen wie sich die Stabilität und Nachhaltigkeit der drei stationären Variablen verändert, wenn sich die Modellparameter verändern. Die Modellparameterwerte beruhen auf Annahmen, bzw. für die Elastizitäten $\alpha_{1,2}$, $\beta_{1,2}$ und $\gamma_{1,2,4}$ auf den Ergebnissen einer OLS-Schätzung, die aufgrund eines Datensamples von 23 afrikanischen Ländern mit niedrigen Einkommen durchgeführt wurde. Vereinfachend wurde zudem für die Elastizitäten der Technologie $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \gamma_3 = \varepsilon$ angenommen. (Prskawetz et al., 1999, S. 314)

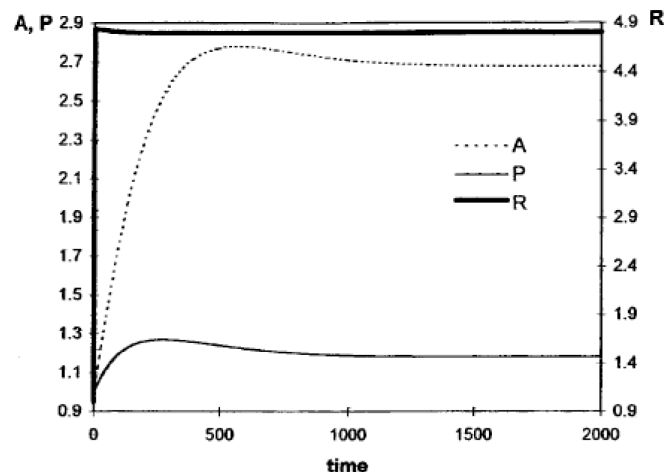


Abbildung 4: Phasen- Diagramm für Ressourcen, Bevölkerung und Technologie, Quelle: Prskawetz et al., 1997: S. 315

Zunächst wird anhand eines Phasen-Raum-Diagramms die dynamische Entwicklung von Bevölkerung, Ressourcen und Technologie hin zum Gleichgewichtszustand ($R^*=4,8$; $A^*=2,68$; $P^*= 1,18$) untersucht.

Als Erstes fällt auf, dass sich die Variablen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit entwickeln und sich ein Schnell-Langsam-Gefälle zwischen den natürlichen Ressourcen und den

anderen Variablen abzeichnet. Während die Ressourcen sehr sprunghaft (fast) bis auf ihr Gleichgewichtsniveau ansteigen, wachsen die Bevölkerung und das Technologieniveau erst mit Verzögerung. Deutlich zeigt sich hier auch die Beziehung von Bevölkerung und Technologie, da als nächstes die Bevölkerung rasant steigt und dadurch etwas verzögert die technologische Entwicklung folgt. Bevor die Technologie ihren Maximalwert erreicht hat, ist deren Einfluss auf das Bevölkerungswachstum schon so groß, dass dieses zu sinken beginnt. Dadurch geht das technologische Wachstum ebenfalls zurück und die Variablen nähern sich ihren Gleichgewichtswerten an. (Prskawetz et al., 1999, S. 314-316)

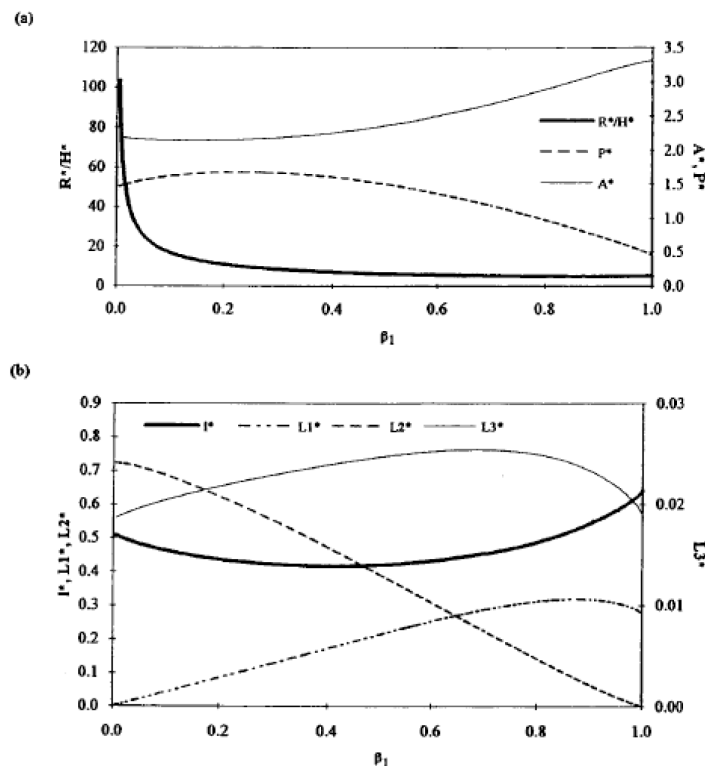


Abbildung 5a, b: Gleichgewichtskurven für ausgewählte Systemvariablen für ausgewählte β_1 , Quelle: (Prskawetz, 1999, S. 317)

Wie zuvor erwähnt, widmet Prskawetz et al. den Großteil der systemdynamischen Gleichgewichtsbetrachtung der Bifurkationsanalyse. Hierbei werden in einem Phasen- oder einem Phasen-Raum-Diagramm, ausgehend von einem stabilen Maximum, *Gleichgewichtskurven* berechnet, in denen jeweils nur ein Parameter variiert wird und die Gleichgewichtsbedingungen der Wachstumsraten=0 aufrechterhalten bleiben.

Zunächst wird hierfür die Produktionselastizität β_1 des Industriegutes (dY/dH) zwischen 0 und 1 variiert. Jede Veränderung des Faktors β_1 spiegelt sich auch in β_2 wider. Abbildung 5a zeigt, dass die hohen Werte von β_1 den Druck auf die natürlichen Ressourcen erhöhen, da es dadurch vorteilhafter wird, Arbeitskraft L_2 durch mehr Erntegüter H zu substituieren.

Die Löhne sowie die Arbeitskräfte L_2 sinken zuerst bis ca. $\beta_1=0,5$ und fangen dann wieder an zu steigen. Das Gegenteil erweist sich in Bezug auf die Gesamtbevölkerung. Je höher das

Pro-Kopf-Einkommen und das Technologieniveau sind, desto geringer ist die Bevölkerungsgröße im Gleichgewichtszustand. Zusammen führen die teurere Arbeitskraft und der kleinere Ressourcenstock zu einem Anstieg des Ressourcenpreises p sowie zu höheren Werten der Produktionselastizität β_1 . (Prskawetz et al., 1999, S. 316-318)

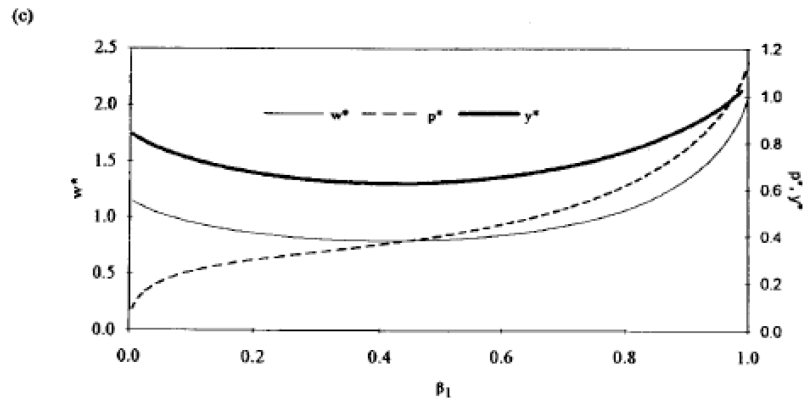


Abbildung 6: Gleichgewichtskurven für ausgewählte Systemvariablen, Quelle: Prskawetz et al. S.317

In einer zweiten, gesonderten Analyse wird zudem die gleichgewichtige Bevölkerungsgröße P^* anhand von unterschiedlichen Produktionselastizitäten ε als (Bifurkationsparameter) verglichen. Es zeigt sich, dass je produktiver Technologie und Arbeitskraft sind, desto niedriger ist die Gesamtbevölkerung und desto höher ist der technologische Stand.

Eines der Ziele von Prskawetz et al. war es, mit Hilfe dieses Modells unterschiedliche Entwicklungspfade zu vergleichen. Hierfür wurden die Parameterwerte für c_1 und ε variiert und die Simulationsergebnisse einander gegenübergestellt. (Prskawetz et al., 1999, S. 318ff.)

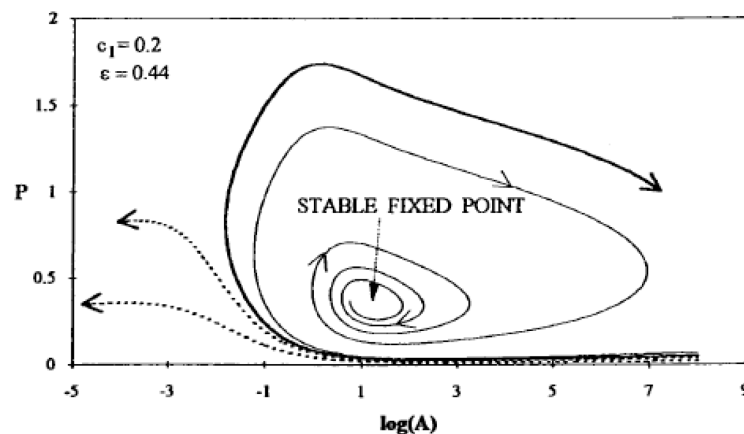


Abbildung 6: Phasendiagramm von Bevölkerung und Technology, Quelle: (Prskawetz, 1999, S. 321)

Exemplarisch für diese Analysen zeigt Abbildung 7 die dynamische Entwicklung von Bevölkerungsgröße und Technologie für die gegebenen Parameterwerte ($c_1=0,2;\varepsilon=0,44$). Die zyklische Bewegung entsteht durch die Wechselwirkung zwischen beiden Variablen, da mit steigender Technologie die Bevölkerung schrumpft. Dies wirkt sich allerdings auf die Entstehung von neuem Wissen aus und somit kann weniger geforscht und entdeckt werden. Schließlich sinkt auch das technologische Niveau, bis dessen negativer Einfluss auf die

Bevölkerungsentwicklung so gering wird, dass sich die Bevölkerung erholt und wieder zu steigen beginnt. In den entgegengesetzten Wachstumsphasen zeigt sich erneut die heterogene Beziehung von Bevölkerung und Technologie. Neben der Entwicklung hin zu einem stabilen Gleichgewichtspunkt (stable fixed point) zeigt sich, dass nicht jeder Entwicklungspfad langfristig aufrechterhalten werden kann und die Möglichkeit einer demografischen (gestrichelte Linie) oder einer ökologischen (dicke, durchgezogene Linie) Katastrophe besteht. Auf diese zwei möglichen Entwicklungen wird in Kapitel 4 noch genauer eingegangen. Kleine Variationen der Ausgangsparameter können allerdings den Entwicklungspfad grundlegend verändern, so dass kein stabiles Gleichgewicht mehr existiert und sich ein Grenzyklus oder eine Katastrophe einstellt. (Prskawetz, 1999, S. 320f.)

Dieses Modell unterscheidet sich von den meisten anderen endogenen Wachstumsmodellen dadurch, dass neben dem technologischen Aspekt auch das Bevölkerungs- und Ressourcenwachstum aus dem Modell heraus bestimmt werden kann.

Das Modell zeigt, dass sich die Kernvariablen Ressourcen, Bevölkerung und Technologie unterschiedlich schnell entwickeln. Wobei vor allem die Regenerationszeiten der natürlichen Ressourcen das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum limitieren.

Zudem haben die Modellanalysen gezeigt, dass nicht jeder Entwicklungspfad gleich wünschenswert, bzw. langfristig aufrechtzuerhalten ist. Die sozioökonomische Entwicklung hängt nicht nur vom wirtschaftlichen, sondern auch vom ökologischen Umfeld ab. Um demografisch-technologische Katastrophen zu verhindern, sollten ökologische Grenzen bei der Betrachtung von Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum nicht ignoriert werden.

Technologisches Wachstum führt zwar zu Effizienzerhöhungen, kann allerdings auch Ressourcendruck verursachen. Prskawetz et. al. messen der Bildung eine zwiespältige Rolle bei. Einerseits sorgt sie für ein besseres Verständnis von technologischen und ökologischen Prozessen, andererseits steigt mit höherem Einkommen auch der Pro-Kopf-Verbrauch von Ressourcen.

Allerdings relativieren Prskawetz et al. die Ergebnisse der Modellsimulationen, da sie zu bedenken geben, dass bereits kleine Veränderungen der Ausgangsbedingungen einen starken Einfluss auf die Stabilität der Equilibria haben und zu einem völlig anderen Ergebnis führen können.

Das Ziel dieses Modells war es, das langfristige Zusammenwirken von Ressourcen, Bevölkerung und Technologie zu untersuchen. Auch wenn die Modellprognosen eine große Bandbreite an verschiedenen Ergebnissen liefern, können diese trotzdem dazu beitragen demografische, ökonomische und ökologische Zusammenhänge besser zu verstehen. (Prskawetz et al., 1999, S. 324-326)

3 Das malthusianische und das post-malthusianische Modell im Vergleich

3.1 Die Rolle von Natur als limitierendem Faktor für Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum

“The power of population is so superior to the power in the earth to produce subsistence for man, that unless arrested by the preventive Check, premature death must in some shape or other visit the human race.” (Malthus, 1992, S. 42)

Malthus stellt fest, dass die Bevölkerung schneller wächst als ihre Subsistenzgrundlage (natürliche Ressourcen) und daher die Bevölkerung immer die Tendenz hat, ihre Subsistenzmittel zu überschreiten. Daher gibt für ihn die Natur langfristig die absoluten Grenzen für die sozioökonomische Entwicklung einer Gesellschaft vor. (Malthus, 1992, S. 15; 19) Diese Dynamik spiegelt auch das malthusianische Modell wider, bei dem sich die Bevölkerungsgröße immer nur an die natürlichen Ressourcen anpasst. Abbildung 1 zeigt den Gleichgewichtszustand für Bevölkerung und Ressourcen. Wenn sich durch einen Produktivitätsanstieg das Wachstum der natürlichen Ressource erhöht (gestrichelte Linie), steigen sowohl die Erntemenge als auch das Pro-Kopf-Einkommen über das Subsistenzniveau. Wie Gleichung (2.7) zeigt, wirkt sich die höhere Erntemenge positiv auf die Bevölkerungsfunktion aus und die Bevölkerung wächst. Dadurch erhöhen sich das Arbeitsangebot und die Löhne sowie das Pro-Kopf-Einkommen und beginnen erneut zu sinken, bis sie wieder das Subsistenzniveau erreicht haben. Die Bevölkerung ist insgesamt nun größer, aber deren Lebensstandard entspricht noch immer dem Subsistenzniveau, welches sich nicht geändert hat. Genau diese Dynamik spiegelt die malthusianische Falle wider, bei der jeder Produktivitätsanstieg durch Bevölkerungswachstum ausgeglichen wird. (Brandner & Taylor, 1998, S. 124f.) (Malthus, 1992, S. 25f.)

Diesen Zusammenhang beschreibt Malthus unter anderem am Beispiel des schnellen Bevölkerungsanstiegs Irlands im 18. Jahrhundert, das er auf die gesteigerte Lebensmittelversorgung der unteren Gesellschaftsklassen zurückführt. Die Bezahlung der irischen Arbeiter mit Kartoffeln ermöglicht seiner Auffassung nach eine höherer Deckung der Grundbedürfnisse, als es die Bezahlung der englischen Arbeiter mit Weizen erlaubt. Auch wenn irische Arbeiter mit Hilfe der Kartoffeln ihr unmittelbares Überleben sichern können, gibt Malthus zu bedenken, dass diese sich durch den niedrigen, relativen Wert ihres Arbeitslohns wenig andere Konsumgüter kaufen können und sich daher noch immer in einer miserablen Versorgungssituation befinden. (Malthus, 1992, S. 127f.)

Malthus schreibt, dass die Landwirtschaft für den Handel und die manufakturielle Produktion wichtiger ist, als diese für die Landwirtschaft sind. Er begründet das damit, dass die Agrarproduktion einen Zusatzertrag erwirtschaftet, der das Überleben der Menschen, die im zivilen oder militärischen Dienst stehen und nicht direkt von der landwirtschaftlichen Produktion leben, sichert. Die Größe dieses Zusatzertrags gibt daher, laut Malthus, das Limit für die gesamtgesellschaftliche Entwicklung, da die Wirtschaft nicht über diesen zusätzlichen Ertrag hinauswachsen kann. (Malthus, 1992, S. 131)

Ester Boserup widerspricht Malthus restriktiver Auffassung von Land, bzw. natürlichen Ressourcen. Eines der Hauptziele ihrer Arbeit liegt darin, zu zeigen, dass die Erträge von natürlichen Ressourcen und somit deren Tragfähigkeitsgrenze veränderbar sind. Boserup sieht die begrenzten, natürlichen Ressourcen nicht als Hindernis für Bevölkerungswachstum, sondern den entstehenden Ressourcendruck als Motivator und treibenden Faktor für eine technologische Entwicklung. Sie schreibt, dass mit wachsender Bevölkerung essentielle Ressourcen wie Holz, (Neu)Land, aber auch die Frischwasserversorgung knapper werden, wodurch eine Gesellschaft dazu angetrieben wird, sich zu verändern – sei es durch Emigration in ihrer Größe oder durch die Anpassung ihrer Lebensweise, indem neue Techniken und Werkzeuge verwendet werden. Die neue Bevölkerungsgröße ermöglicht neue Formen von kollektiven Investitionen, wie zum Beispiel ein Bewässerungssystem. Zudem schaffen die knappen, natürlichen Ressourcen einen Anreiz, diese vermehrt durch Arbeit und Kapital zu substituieren. Ein Beispiel für die Überwindung von Ressourcengrenzen spiegelt der Umstieg vom knappen Produktionsfaktor Holz auf Kohle im 18. Jahrhundert wider. Vor allem die Knappheit von Holz hatte seit dem 17. Jahrhundert weiteres Wirtschaftswachstum gebremst, was ihrer Auffassung nach aber durch die erreichten, technologischen Veränderungen überwunden werden konnte. (Boserup, 1965, S. 14, 41f., 64) (Boserup, 1981, S. 5f.; 112)

Prskawetz et al. betonen in ihrem Modell ebenfalls die Berücksichtigung der ökologischen Grenzen für die sozioökonomische Entwicklung. In Abbildung 7 zeigt die gestrichelte Linie einen Entwicklungspfad für Technologie und Bevölkerung, der in einer ökologischen Katastrophe endet. Wenn die Bevölkerung groß ist, wird dadurch das technologische Wachstum stark vorangetrieben. Kritisch wird diese Entwicklung, wenn die Technologie schneller wächst als die Bevölkerung sinkt. Beide Variablen wirken positiv auf die Erntemenge, wodurch der Ressourcenstock schnell verringert (siehe die Entwicklung von R/H in Abbildung 5a), bzw. gänzlich erschöpft werden kann.

Im Gegensatz dazu zeigt allerdings die gleichgewichtige Entwicklung der Ressourcen und der Bevölkerung in Abbildung 4, dass es durch die Wechselwirkung zwischen Technologie und Bevölkerung auch langfristig aufrechterhaltende Entwicklungspfade, ohne Katastrophe gibt. Im Modell von Prskawetz et al. hat nicht nur der Lebensstandard (Pro-

Kopf-Einkommen), sondern auch das Technologieniveau einen Einfluss auf die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung. Beide Teile der Bevölkerungsfunktion werden wesentlich durch jenen Teil des Pro-Kopf-Einkommens beeinflusst, der das Subsistenz Einkommen überschreitet ($y - y^{sub}$). Mit steigendem Pro-Kopf-Einkommen y wächst der negative Einfluss der Technologie auf das Bevölkerungswachstum und dessen drosselnder Effekt dämpft die Bevölkerungsentwicklung. Durch die Wechselwirkung von Technologie und Bevölkerung verlieren die natürlichen Ressourcen einen Teil ihres determinierenden Einflusses. (Prskawetz et al., 1999, S. 319f.)

3.2 Die Auswirkung von Änderungen der Bevölkerungsparameter

Im malthusianischen Modell von Brandner & Taylor entspricht der gleichgewichtige, individuelle Konsum für das Erntegut $h = (d - b) / \phi$ und für das aggregierte Gut $m = (1 - \beta)$. Interessant für die Bevölkerungsentwicklung ist der Pro-Kopf-Konsum der überlebenswichtigen Ernte (Lebensmittel). Dessen Höhe hängt von den demografischen Parametern, Geburten- und Sterberate sowie von der Empfindlichkeit der Fertilitätsrate ϕ auf zusätzliches Einkommen (Ernte) ab. In einem derartigen Modell kann der Pro-Kopf-Konsum (Lebensstandard) nur erhöht werden, wenn entweder die Geburtenrate oder die Fertilitätsempfindlichkeit ϕ sinkt und dadurch die Produktivitätsgewinne nicht in eine höhere Anzahl Menschen, sondern in einen höheren Individualkonsum fließen. (Brandner & Taylor, 1998, S. 124f.)

Für Malthus ist der Fortpflanzungstrieb die treibende Kraft eines jeden Lebewesens. Allerdings spricht er dem Menschen, im Gegensatz zu Pflanzen, ein Bewusstsein zu, welches ihm ermöglicht, über die zukünftigen Konsequenzen (größere Armut mit jedem zusätzlichen Kind) nachzudenken und sein Verhalten – Triebgesteuerte – zu verändern. Er schreibt, dass das Bevölkerungswachstum auf die eine oder andere Art immer durch die Natur eingeschränkt wird. Für ihn ist diese Entwicklung gesetzmäßig. Das Einzige, was Menschen beeinflussen können, ist, auf welche Weise das Bevölkerungswachstum gedrosselt wird. Seiner Meinung nach gibt es hierfür nur zwei Möglichkeiten: sexuelle Enthaltsamkeit und spätere Eheschliessungen. Er schreibt, dass dadurch zwar kurzfristig Leid entsteht, da die Familiengründung aufgeschoben werden muss, aber sowohl das Individuum als auch die Gesellschaft langfristig davon profitieren, da demzufolge Armut und Krankheiten abnehmen. (Malthus, 1992, S. 21-23; 207f; 220f.)

Im Gegensatz dazu vertreten Romer und Boserup die Position, dass gerade weil die Bevölkerung zu niedrig ist, deren sozioökonomische Entwicklung stagnieren kann. Bei Romers Modell reicht das Humankapital dabei nicht aus, um Konsumgüter und technologisches Wachstum zu produzieren. Erst ab einer gewissen Bevölkerungsgröße lohnt

es sich, ausreichend in technologische Entwicklung und somit in Wirtschaftswachstum zu investieren. (Romer, 1990, S. 96f.)

Boserup schreibt, dass bäuerliche Gesellschaften oft erst zu einer technologisch anspruchsvolleren Produktionsweise wechseln, wenn sie eine gewisse Bevölkerungsdichte erreicht haben. Sie führt hier an, dass eine größere Bevölkerung Arbeitsteilung und dadurch intensivere Bewirtschaftung (unterjähriger Fruchtwechseln, Nutztiere) mit einem höheren, totalen Output ermöglicht. Dieser muss allerdings mit einem niedrigeren Output pro Arbeitsstunde erkauft werden. Durch den Druck, mehr Menschen zu ernähren, werden solche Gesellschaften gezwungen, diesen niedrigeren Output pro Arbeitseinheit zu akzeptieren. Als Beispiel nennt sie die im 18. Jahrhundert fortschrittlichen, intensiven Landwirtschaftsmethoden in den dicht besiedelten Benelux Staaten und Italien.

Für Boserup und Romer kann daher eine zu geringe Bevölkerung für eine Gesellschaft zur Entwicklungsfalle werden. Boserup argumentiert, dass die industrielle Revolution ohne das vorangegangene Bevölkerungswachstum wohl nicht möglich gewesen wäre. Einerseits haben die dadurch erreichten, technologischen Fortschritte eine Überwindung der Ressourcengrenzen ermöglicht, andererseits betont sie, dass erst durch die größere Erwerbsbevölkerung die vielseitige (militärische, landwirtschaftliche, städtische) Nachfrage nach Arbeitskräften gedeckt werden und so die Produktionsmöglichkeiten erhöht werden konnten. (Boserup, 1965, S. 35-42)(Boserup, 1981, S. 112-114)

Im post-malthusianischen Modell verändert die Wechselwirkung zwischen Bevölkerung und Technologie die Bedeutung von Bevölkerungs- für Wirtschaftswachstum.

Betrachtet man die Outputfunktion Gleichung (2.23) zeigt sich, dass die Technologie doppelt eingeht, einerseits über das allgemeine Technologieniveau, andererseits über die Arbeitsproduktivität. Das bedeutet, dass der Output Y trotz sinkender Bevölkerung steigen kann, solange trotzdem technologisches Wachstum erzielt wird.

Die Funktion für das technologische Wachstum Gleichung. (2.25) wiederum wird vor allem durch die Bevölkerungsgröße beeinflusst. Die treibenden Kräfte für das technologische Wachstum sind einerseits der Arbeitskräfteanteil im tertiären Sektor, der erwartungsgemäß mit steigender Bevölkerung zunimmt und andererseits die Gesamtbevölkerung, welche positiv auf die Technologie wirkt.

Die Bevölkerungsfunktion schließlich wird wiederum wesentlich von den anderen zwei Variablen getrieben. Dieses Modell lebt von der Zweiteilung der Bevölkerungsfunktion, da die Bevölkerung in einem ersten Schub wächst, sobald das Pro-Kopf-Einkommen das Subsistenzniveau überschreitet und dadurch genügend Arbeitskräfte und die Voraussetzungen für technologisches Wachstum schafft (Bevölkerungsdichte/-größe). Das höhere Individualeinkommen führt in einem zweiten Schritt dazu, dass das Technologieniveau und die Bevölkerungsgröße die weitere Bevölkerungsentwicklung

eindämmen, da die negative Rückkoppelung dieser beiden Faktoren dadurch eine stärkere Gewichtung bekommt. Beispielsweise drückt die höherer Arbeitseffizienz die Nachfrage nach zusätzlichen Arbeitskräften.

Prskawetz et al. geben allerdings zu bedenken, dass laut Modellsimulationen neben der Natur- auch eine Bevölkerungskatastrophe möglich ist, wenn die Bevölkerung so stark sinkt, dass sie zu gering ist um noch technologisches Wachstum zu produzieren. In diesem Fall zeigt sich das selbe Bild wie in Romers Model. Die Arbeitskraft der Erwerbsbevölkerung reicht nicht aus um Lebensmittel, Industriegüter und Technologie zu herzustellen und es kommt zum Untergang einer Gesellschaft. (Prskawetz et al., 1999, S. 309f.;319)

4 Vergleich der Modellprognosen mit empirischen Daten

In diesem Kapitel sollen für die drei Schlüsselvariablen *Ressourcen*, *Bevölkerung* und *Technologie* die Prognosen aus den unterschiedlichen Modellen mit empirischen Ergebnissen verglichen werden. Als Erstes wird der Ressourcenverbrauch im Zusammenhang mit Wirtschaftswachstum betrachtet, wobei die Ressourceneffizienz besondere Beachtung findet. Im nächsten Teil wird die Entwicklung der Bevölkerung und Wirtschaft genauer analysiert und die Transitionstheorie anhand empirischer Daten untersucht. Als Letztes wird noch ein Blick auf die Entwicklung von Technologie und Wirtschaftswachstum geworfen.

4.1 Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum

Das 20. Jahrhundert ist durch tiefgreifende soziale, ökologische aber auch ökonomische Veränderungen geprägt. Während die Bevölkerung sich vervierfacht hat, hat sich die Wirtschaftsleistung, gemessen am Bruttoinlandsprodukt (BIP) im selben Zeitraum um den Faktor 24 erhöht. Krausmann et al. haben die Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaftswachstum und Ressourcenkonsum während des letzten Jahrhunderts mittels sozialökonomischer (Bruttoinlandsprodukt, Bevölkerungsgröße) und biophysischer Indikatoren (Primärenergieversorgung, Biomassekonsum) rekonstruiert und deren Zusammenhänge analysiert.

Für die Untersuchung des Ressourcenverbrauchs haben Krausmann et al. mit Hilfe der Materialflussrechnung (MFA) für die vier Kategorien Biomasse, fossile Energieträger, industriell genutzte Erze und Minerale sowie Baumineralien für den Zeitraum von 1900-2005 den jährlichen Konsum berechnet. Die Datengrundlage hierfür bildeten auf der einen Seite Daten von nationalen, statistischen Ämtern, internationalen Organisationen sowie Schätzungen für die Extraktion der Biomasse zu Beginn der Zeitreihe. (Krausmann, 2009, S. 2697f.)

Krausmann et al. stellen fest, dass der Ressourcenverbrauch auf komplexe Art mit Bevölkerungs- und ökonomischem Wachstum verbunden ist. Für das letzte Jahrhundert stellen sie drei wesentliche Phasen der Entwicklung fest. Bis zur Mitte des Jahrhunderts ist der Rohstoffverbrauch (Direct Consumption) jährlich um 1,2% gestiegen, wohingegen die Bevölkerung nur um 0,98% und das Bruttoinlandsprodukt um 2,13% gewachsen ist. Das Wirtschaftswunder nach dem Zweiten Weltkrieg hat zu deutlich höheren Wachstumsraten aller drei Variablen geführt. So ist der Materialverbrauch um 3,3% pro Jahr gewachsen und hat damit das Bevölkerungswachstum bei Weitem übertroffen. Nach der Ölkrise in den 1970er Jahren haben sich alle Wachstumsraten abrupt verlangsamt und erst in den 2000er Jahren wieder zugenommen. Betrachtet man den gesamten Zeitraum, lässt sich feststellen, dass der Ressourcenverbrauch um einiges schneller als die Bevölkerung und deutlich

langsamer als die Wirtschaft gewachsen ist. Der Pro-Kopf Ressourcenverbrauch hat sich zwar verdoppelt, allerdings hat sich die Ressourcenintensität – gemessen als Ressourceninput per Einheit Bruttoninlandsprodukt – deutlich verringert und betrug im Jahr 2005, zum Ende der Zeitreihe, nur noch 40% vom ursprünglichen Wert aus dem Jahr 1900. (Krausmann, 2009, S. 2000)

Krausmann et al. stellen fest, dass die monetäre Wirtschaft um einiges schneller gewachsen ist als die biophysische Seite. Die Material- und Energieintensität insgesamt haben sich, innerhalb des betrachteten Zeitraums, auf 30%, bzw. 50% ihrer Anfangswerte verringert. Weiters stellen die Autoren fest, dass Produktivitätsgewinne charakteristisch für die globale, industrielle Entwicklung des 20. Jahrhunderts waren. Obwohl die Energieintensität durchschnittlich um 0,68% und die Materialintensität um 1% pro Jahr abgenommen haben, hat sich der absolute Verbrauch von Energieträgern und materiellen Ressourcen dennoch um ein Vielfaches erhöht. Krausmann et al. sehen hieraus einen direkten Zusammenhang zwischen ökonomischer Entwicklung und Materialverbrauch.

Im Hinblick auf die Entwicklung von Bevölkerung und Ressourcenverbrauch über das gesamte letzte Jahrhundert stellen Krausmann et al. fest, dass Ressourcenkonsum hauptsächlich durch Bevölkerungswachstum getrieben wurde und sich die Entwicklungen für Industrie- und Entwicklungsländer unterscheiden. In Entwicklungsländern ist die Bevölkerung doppelt so schnell wie in Industrieländern gewachsen, was für diese die Hauptursache für den Mehrkonsum von Ressourcen war. Im Gegensatz dazu hat sich der materielle Pro-Kopf-Verbrauch in Industrieländern schneller erhöht, bzw. sich nach der Ölkrise in den 1970er Jahren auf einen hohen Pro-Kopf-Verbrauch stabilisiert.

Dennoch zeigen die Analysen von Krausmann et al., dass sich mit steigendem Lebensstandard der Ressourcenverbrauch von der Bevölkerungsgröße entkoppelt. Sie schreiben, dass im Jahr 2000 die Bewohner von Industrienationen, also nur 15% der Weltbevölkerung, für ein Drittel des globalen Ressourcenabbaus verantwortlich waren und deren Anteil am Verbrauch von Fossilenergie, industriell genutzten Mineralien und Erzen bei 50% lag. (Krausmann, 2009, S. 2701-2703)

Der Anstieg des Ressourcenverbrauchs hatte diverse Einflüsse auf die Umwelt zur Folge. Die Auswirkungen dieses erhöhten Ressourcenverbrauchs sind nicht so einfach festzustellen und spiegeln sich in vielfältigen Veränderungen und Einflüssen auf die Umwelt wider. Durch die vermehrte Nutzung von fossilen Brennstoffen hat sich der Ausstoß von Klimagasen (CO₂, CH₄) vervielfacht. Zudem haben die ungleich verteilten und limitierten Mineralienvorkommen abgenommen. Die Größe und Zusammensetzung des Ressourcenverbrauchs kann nur als Proxy-Variable für Ressourcendruck von Menschen dienen. Der Ressourcenverbrauch ist mit einer kleineren Rate als das Bruttoninlandsprodukt gewachsen, was bedeutet, es gab Effizienzgewinne im betrachteten Zeitraum.

Durchschnittlich hat die Materialproduktivität jedes Jahr um 1% zugenommen. Krausmann et al. schreiben, dass die festgestellte, relative Dematerialisierung eine Begleiterscheinung von ökonomischer Entwicklung ist. Die Entkopplung der biophysischen und ökonomischen Seite ist nur unter der Vermeidung von Rückkopplungseffekten möglich, sodass Effizienzgewinne nicht in einen Mehrverbrauch investiert werden. (Krausmann, 2009, S. 2703)

4.2 Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum

In diesem Teil soll nun die globale Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung der vergangenen Jahrzehnte anhand empirischer Daten und Studien analysiert werden. Als Erstes werden die Schlüsselvariablen für die demografische die Entwicklung *Mortalität*, bzw. *Lebenserwartung* und *Bildung* analysiert. In einem nächsten Schritt wird auf die Bevölkerungsentwicklung und deren Bedeutung für die Ökonomische Entwicklung, gesondert für Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländer (hauptsächlich im Subsaharischen Afrika) untersucht.

Ob eine Gesellschaft wächst oder schrumpft, hängt neben Sterberate und Migration wesentlich von der Fertilitätsrate – also der Anzahl der Kinder, die eine Frau durchschnittlich im Laufe ihres Lebens (15.-45. Lebensjahr) zur Welt bringt – ab. Damit die Bevölkerungsgröße konstant bleibt, muss durchschnittlich jede Frau 2,1 Kinder (Ersatzniveau) bekommen. Liegt die Geburtenrate darüber, wächst die Bevölkerung, liegt sie darunter, schrumpft sie dementsprechend. (Münz, 2007; aktualisiert März 2013) Unter dem demografischen Übergang wird meistens ein Übergang von 6 Kindern pro Frau auf weniger verstanden. (Angeles, 2010, S. 110)

Abbildung 8 zeigt für ausgewählte Länder die Entwicklung der Geburtenrate je Frau von 1960 bis 2012. Die Grafik zeigt, dass sich der globale Durchschnitt der Geburtenrate in den letzten 50 Jahren halbiert hat und 2012 noch bei ca. 2,5 Kindern pro Frau lag.

Die Geburtenrate von Österreich befindet sich mit 1,4 Kindern sogar noch unter dem OECD-Ländermittel, das bei 1,8 Kindern liegt. Betrachtet man die Industrieländer, weisen die USA mit einer Geburtenrate von 1,9 Kindern eine der höchsten Geburtenraten auf. Interessant ist die Entwicklung der Fertilitätsraten der Schwellenländer Indien und China. Dort sind die Geburtenraten von 5,9 auf 2,5 in Indien und in China von 5,8 auf 1,7 gesunken. Sehr hohe Geburtenraten ohne merkliche Reduktionen weisen vor allem die ökonomisch am wenigsten entwickelten Länder im subsaharischen Afrika auf, wobei Niger mit 7,6 Kindern pro Frau (2012) die höchste Geburtenrate aufweist. (The World Bank, 1960-2012).

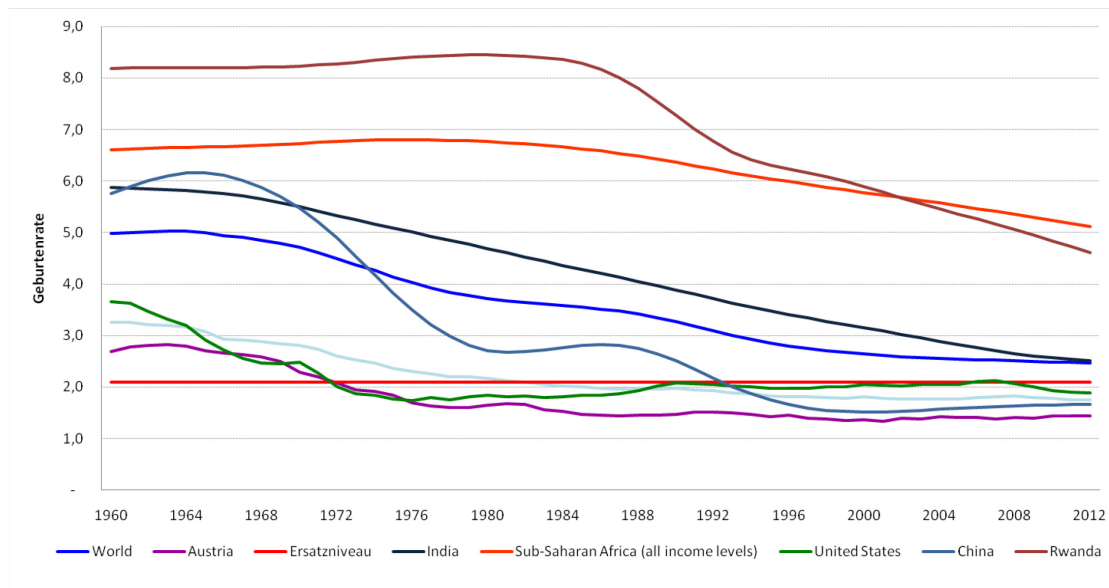


Abbildung 7: Entwicklung der Geburtenrate für ausgewählte Länder von 1960-2012, eigene Darstellung Quelle: (The World Bank, 1960-2012)

Der demografische Übergang beschreibt die Bevölkerungsentwicklung bei der davon ausgegangen wird, dass ausgehend von einer hohen Geburten- und Sterberate zuerst die Sterberate sinkt und die Geburtenrate mit einer zeitlichen Verzögerung folgt. Dadurch entsteht eine Phase mit starkem Bevölkerungsanstieg, bevor diese Entwicklung aufgrund niedriger Geburts- und Sterberate wieder stagniert. (www.berlin-institut.org)

Als nächstes soll daher der Einfluss von Faktoren, welche die Geburtenrate beeinflussen, wie Sterberate, Bildung und Einkommen, genauer analysiert werden.

Luis Angeles hat den Einfluss der Sterberate auf die Geburtenrate auf globaler Ebene für den Zeitraum von 1955 bis 2005 untersucht. Für seine Analyse hat er die Entwicklung der Geburtenrate mit Hilfe der Sterberate, der durchschnittlichen Anzahl an Schuljahren sowie dem Pro-Kopf-Einkommen und anderer länderspezifischer Einflussgrößen, wie Religion oder Region, untersucht. Angeles geht dabei von einem verzögerten Effekt der Sterberate auf die Geburtenraten aus, weshalb er diese Variable in drei Versionen in sein Modell einbezieht: die aktuelle Sterberate als auch die Sterberate 10 und 20 Jahre vor dem betrachteten Jahr.

Endogenität ist bei demografischen Analysen ein großes Problem. Dieses versucht Angeles zu umgehen, indem er neben zwei Fixed-Effects-Modellen auch ein GMM-Modell (General Methods of Moments) verwendet. (Angeles, 2010, S. 105-110)

Erstaunlicherweise haben die Kontrollvariablen Bildung und städtische Bevölkerung in allen Modellversionen eine signifikant negative Wirkung auf die Geburtenrate, während sich der Einfluss des Pro-Kopf-Einkommens als weniger deutlich als erwartet erweist. Ein signifikanter Einfluss ($p\text{-Wert} < 0,05$) auf die Geburtenrate lässt sich für das Einkommen nur im Fixed-Effects-Modell feststellen. Wenn man die Kindersterblichkeit vor 10 Jahren mit

einbezieht, verliert das Einkommen deutlich an Einfluss auf die Geburtenrate. Mit beiden verzögerten Werten für die Kindersterblichkeit (10 und 20 Jahre) wird sein Einfluss gänzlich in allen Modellen insignifikant und weist zum Teil sogar einen positiven Zusammenhang auf. Der Einfluss der aktuellen Kindersterblichkeit auf die Geburtenrate ist nur signifikant, wenn man keine zeitverzögerten Effekte (Kindersterblichkeit 10 und 20 Jahre zuvor) berücksichtigt. Sobald diese ebenfalls beachtet werden, hat die aktuelle Kindersterblichkeit in den meisten Modell-Rechnungen keinen signifikanten Einfluss auf die Geburtenrate mehr. Zudem zeigen die zeitverzögerten Werte, dass deren Einfluss mit der Zeit abnimmt und die Sterberate vor 10 Jahren die größte Wirkung auf die Geburtenrate hat.

Angeles wiederholt die oben beschriebenen Regressionen mit der Lebenserwartung anstelle der Kindersterblichkeit und kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Der unmittelbare Einfluss der Lebenserwartung auf die Geburtenrate verliert seine Signifikanz, sobald man deren zeitverzögerte Werte (ebenfalls 10 und 20 Jahre vorher) in die Regression miteinbezieht. Allerdings verbleibt deren Einfluss auch nach 20 Jahren nicht, woraus er schlussfolgert, dass eine höhere Lebenserwartung die Geburtenrate langfristig senkt. (Angeles, 2010, S. 110-114)

Einen anderen Ansatz haben Hansen et al. für ihre Analysen gewählt und den Effekt von Schulbildung auf die Geburtenrate genauer untersucht, bzw. ob Schulbildung oder Pro-Kopf-Einkommen niedrigere Geburtenraten bewirken. Hierfür haben sie für 48 US-Bundesstaaten über den Zeitraum von 1840 bis 1980 dekadeweise Daten für die kohortenspezifische Fertilität, die Anzahl an Schuljahren und das Pro-Kopf-Einkommen untersucht. Die Studie konzentriert sich auf den demografischen Übergang der USA, wodurch die Probleme von Heterogenität unterschiedlicher Länder größtenteils ausgelassen werden können. Zudem ermöglicht es die Kohortenbetrachtung genauere Aussagen über den Einfluss einer Variable auf die Geburtenrate zu machen. Auch Hansen et al. arbeiten aufgrund von Endogenität mit einem Fixed-Effects-Modell und einem GMM-Modell.

Das Fixed-Effects-Modell liefert für die Anzahl der Schuljahre einen signifikant ($p\text{-Wert} < 0,01$) negativen Einfluss auf die Geburtenrate. Laut der Schätzung von Hansen et al. senkt in diesem Modell ein zusätzliches Schuljahr die Anzahl der Geschwister um 0,15. Hochgerechnet auf den Anstieg der durchschnittlichen Schuljahre im betrachteten Zeitraum (von gut 3 auf knapp 14 Jahre) erklärt die Schulbildung 55% vom Rückgang der Geburtenrate. Betrachtet man nur dieses Modell, haben sowohl das Einkommen als auch die Schulbildung einen negativen Einfluss auf die Geburtenrate, allerdings kann der wechselseitige Einfluss beider Variablen nicht ausgeschlossen werden, weshalb im Folgenden noch die Ergebnisse des GMM-Modells genauer betrachtet werden. (Hansen, Jensen, & Lonstrup, 2014, S. 3f.; 9f., 11)

Die Forscher beschreiben, dass die Schwierigkeit des GMM- Modells darin bestand, die richtige Anzahl Vergangenheitswerte zu finden, die in die Regression einbezogen werden sollen, um genügend relevante Information einzuschliessen, aber nicht zu viele Instrumentschätzer zu berücksichtigen. Schliesslich wurden 3 bis 7 Vergangenheitswerte – d.h. ein Vergangenheitszeitraum von maximal 70 Jahren – einbezogen. Das GMM- Modell liefert deutlichere Ergebnisse und weist der Schulbildung mit -0,46 Kinder pro zusätzlichem Schuljahr einen stärkeren Effekt zu. In dieser robusteren Schätzung verliert das Pro-Kopf-Einkommen seinen signifikanten Einfluss auf die Geburtenrate. In den Regressionen mit mehr Vergangenheitswerten wechselt dessen Zusammenhang sogar zwischen positiv und negativ, bleibt aber im statistisch unsignifikanten Bereich ($p\text{-Wert} > 10\%$). Im Gegensatz dazu behält Schulbildung den signifikant negativen Einfluss auf die Geburtenrate in allen Varianten der Berechnung. (Hansen, Jensen, & Lonstrup, 2014, S. 11f.)

In Zusatzregressionen kommen Hansel et al. sogar zu dem Ergebnis, dass sich der Einfluss des Bildungsniveaus über mehrere Generationen fortpflanzt. Nicht nur das Bildungsniveau der Eltern, sondern auch das ihrer Kinder wirkt sich negativ auf die Geburtenrate aus. Die Analysen von Hansen et al. zeigen, dass nicht das Pro-Kopf-Einkommen sondern das Bildungsniveau der hauptsächliche Treiber für die Reduktion der Geburtenrate ist und die erhöhte Anzahl der Schuljahre zwischen 1840 und 1980 für 50% des Geburtenrückgangs der USA verantwortlich sind. (Hansen, Jensen, & Lonstrup, 2014, S. 13-15)

In einer vergleichenden Analyse hat Oded Galor diverse Studien zum demografischen Übergang mit den Schlüsselvariablen Sterberate, Einkommen und Bildungsniveau verglichen. Im Gegensatz zu Angeles berücksichtigt Galor längere Zeitreihen für Sterbe- und Geburtenrate und bewertet den Einfluss der Sterberate daher weniger stark. Er schreibt, dass die Geburtenrate für viele frühindustrielle Länder trotz niedrigerer Sterberate noch gestiegen ist und argumentiert, dass deren Entwicklung im 19. Jahrhundert in Westeuropa nahe legen, dass mehrere Faktoren für den demografischen Übergang verantwortlich waren. Galor kommt zum Schluss, dass der hauptsächliche Antrieb für den demografischen Übergang die Entwicklung von Humankapital (Bildung) ist und bestätigt damit das Ergebnis von Hansen et al.. Humankapital weist Galor eine besondere Bedeutung zu, da es eine übergreifende Wirkung auf andere sozioökonomische Faktoren hat und z.B. Kinderarbeit senkt und Lebenserwartung und technologischen Fortschritt erhöht. Er beschreibt, dass eine Wachstumsphase von Bevölkerung und die Investition in Humankapital dem demografischen Übergang vorausgeht. In der Übergangsphase sinkt dann die Geburtenrate, während die Investitionen in Humankapital weiterhin steigen. (Galor, 2005, S. 497-503)

Interessant ist nun die Entwicklung von Schwellen- und Entwicklungsländern mit jener von Industrieländern zu vergleichen und nach Parallelen zu suchen.

David E. Bloom hat in einer Analyse die demografische und ökonomische Entwicklung von Indien und China seit den 1960er Jahren verglichen. Indiens Bevölkerung hat sich von 448 Millionen im Jahr 1960 auf 1,21 Milliarden im Jahr 2010 mehr als verdoppelt, wohingegen Chinas Bevölkerungsentwicklung durch die Ein-Kind-Politik stark verlangsamt wurde, da dadurch in den 1970er Jahre die Geburtenrate massiv zurückgegangen ist. Wie Abbildung 8 zeigt, hat sich Indiens Geburtenrate im Zuge des demografischen Überganges im selben Zeitraum halbiert. Jene Chinas in den 1970 Jahren

In beiden Ländern ist die Wirtschaft gemessen am Bruttoinlandsprodukt, mit einer durchschnittlichen, jährlichen Wachstumsrate von 5,2% für Indien bzw. sogar 8,1 % für China (ohne Hong Kong), ebenfalls stark angestiegen.

Bloom schreibt, dass sich durch den demografischen Übergang die Bevölkerungssituation in beiden Ländern vorteilhaft entwickelt hat. 15-25 Jahre nach einer Baby-Boom-Phase steigt die Erwerbsbevölkerung stark an, wodurch sich das Verhältnis von Erwerbs- und nicht Erwerbsbevölkerung vorteilhaft entwickelt. Bloom betont, dass ein solcher demografischer Übergang kein Garant für wirtschaftliche Entwicklung ist, aber die Chance auf ökonomischen Aufschwung eines Landes erhöht. Ohne die richtigen, politischen Begleitmaßnahmen, kann diese Entwicklung allerdings auch zu hohen Arbeitslosenraten und Unterbeschäftigung führen und länderübergreifende, negative Auswirkungen haben. (Bloom, 2011, S. 2-6)

Bloom führt weiters die Gesundheit, bzw. die Lebenserwartung als positive Faktoren für wirtschaftliche Entwicklung an. Gesunde Kinder können besser lernen und sich entwickeln. Eine gesunde Erwerbsbevölkerung ist produktiver, wodurch eine Gesellschaft mehr sparen und reinvestieren kann. Zudem spiegeln sich die empirischen Ergebnisse von Angeles und Hansen et al. in den Daten Indiens wider. Zwischen 1960 und 2010 hat sich die Kinder- und Säuglingssterblichkeitsrate mehr als halbiert, gleichzeitig haben sich das Bildungsniveau und die Lebenserwartung stark erhöht.

Die Veränderung der Bevölkerungsstruktur bringt allerdings nicht nur Vorteile. Während sich die meisten OECD Staaten heute schon den Problemen der Überalterung gegenübersehen, werden diese Probleme in Zukunft auch auf Indien und China treffen. Laut Prognosen der Vereinten Nationen für die Bevölkerungsstruktur Indiens, zeigt deren Bevölkerungspyramide im Jahr 2050 die gleiche Form (Urne), wie sie heute schon OECD Länder aufweisen. (Bloom, 2011, S. 6-10; 24)

Zuletzt soll nun noch die Bevölkerungsentwicklung für Entwicklungsländer, hauptsächlich im Subsaharischen Afrika, betrachtet werden. Shapiro & Gebreselassie haben für die Entwicklung der Geburtenraten in 24 Subsaharischen Ländern untersucht und stützen sich

dabei auf Daten aus demografischen Gesundheitsstudien (Demographic and Health Surveys DHS). Ihr Fokus lag dabei auf der Frage, ob deren Geburtenrate sinkt oder stagniert. In vielen Entwicklungsländern sind erst ab den 1980er und 1990er Jahren erste Anzeichen eines demografischen Übergangs feststellbar. Vor Beginn ihrer Analyse beschreiben Shapiro&Gebreselassie den Ist-Zustand. Von den 24 untersuchten Ländern weisen 14 sinkende, 8 stagnierende und zwei noch immer prätransformativ Geburtenraten auf. Mit Hilfe von mehreren Multivariaten Regressionen versuchen sie die Schlüsselfaktoren für Unterschiede in den Geburtenraten zu erkennen. Dafür untersuchen sie neben den traditionellen Variablen wie Kindersterblichkeit und Bildung auch den Einfluss von anderen Faktoren wie Lebensraum (Stadt/Land), Zugang zu Verhütungsmitteln und Zivilstand. (Shapiro & Gebreselassie, 2013, S. 5f.;19)

Auch Shapiro&Gebreselassie stellen deutliche Unterschiede in den Geburtenraten für rurale und urbane Regionen fest. Vor allem in Ländern, wo der demografische Übergang gerade erst begonnen hat, ist die durchschnittliche, städtische Geburtenrate mit 5 Kindern kleiner als die ländliche mit 6 Kindern. Zudem zeigt sich, dass für viele Länder, die auf nationaler Ebene eine stagnierende Geburtenrate aufweisen, die höheren, ruralen Werte, die Reduktionen der urbanen Gegenden überlagern.

In einer ersten Regression untersuchen Shapiro & Gebreselassie den Rückgang der Geburtenrate zwischen den neuesten zwei Studienergebnissen (aus DHS). Als erklärende Variablen dienen ihnen sozioökonomische Variablen wie Schulbildung, Wirtschaftswachstum gemessen am Bruttoinlandsprodukt, sowie der Rückgang der Kindersterblichkeit unterteilt in spezifische Regionen. Das Ergebnis der Regression zeigt, dass Bildung den Geburtenrückgang beschleunigen kann, auch wenn deren Koeffizient nur für die Unterteilung in rural/urban signifikant ist. Zudem wirkt ein Rückgang der Kindersterblichkeit stark signifikant auf den Rückgang der Geburtenrate, während Wirtschaftswachstum diesen Rückgang sogar verlangsamen kann. (Shapiro & Gebreselassie, 2013, S. 7; 13)

In einem nächsten Schritt haben Shapiro & Gebreselassie ihre Analyse verfeinert und Frauen im gebärfähigen Alter (15 bis 49 Jahre) in 7 Kohorten unterteilt. Die Analyse zeigt, dass unabhängig vom Alter das Leben in der Stadt einen negativen Einfluss auf die Geburtenrate hat, wobei sich die geringsten Differenzen für sehr junge und alte Frauen ergeben. Sie verweisen ebenfalls auf die Korrelation der erklärenden Variablen und verwenden für die weiteren Analysen ein Seemingly Unrelated Regressions- Modell (SUR) und machen hierfür mehrere Regressionen hintereinander. Zunächst untersuchen sie die Effekte von Bildung auf Kindersterblichkeit, die Verwendung von Verhütungsmitteln und den Zivilstand (ledig/verheiratet). Die Regressionen bestätigen einerseits die Erwartung, dass Schulbildung auf sekundärer oder höherer Stufe alle drei Variablen beeinflusst, ganz

besonders die senkende Wirkung auf Eheschliessungen und Mortalitätsraten. Außerdem zeigen die Regressionen, dass vor allem junge Frauen (15 bis 24 Jahre) mit geringer Schulbildung seltener verhüten, öfter verheiratet sind und ihre Kinder eine höhere Säuglings- und Kindersterblichkeitsrate aufweisen. Signifikant ($p\text{-Wert} < 0,01$) negativ zeigt sich in den Analysen für alle Altersklassen der Einfluss der städtischen Lebensregion auf die Geburtenrate. (Shapiro & Gebreselassie, 2013, S. 14-18)

Die Analysen von Shapiro & Gebreselassie lassen vermuten, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Veränderungen der Geburtenrate und Verhütungsmitteln gibt, wohingegen urbaner Lebensraum und Schulbildung einen signifikant negativen Einfluss auf die Geburtenrate haben. Schulbildung ist der Schlüsselfaktor wenn es um eine Reduktion der Geburtenrate geht, da sie die Rate der Eheschliessungen senkt, die Verwendung von Verhütungsmitteln fördert sowie die Kindersterblichkeit reduziert.

Dem Wirtschaftswachstum kommt dabei eine eher zwiespältige Rolle zu, da es in der Anfangsregression zu einer Verlangsamung des Geburtenrückgangs geführt hat.

Sie werfen zusätzlich die Frage auf, wie weit die Geburtenrate sinken wird. Sie führen ältere Prognosen an, die besagen, dass die Geburtenrate im Subsaharischen Afrika auf hohem Niveau (4-5 Kinder) stagnieren kann, da Kindern in dieser Region noch immer eine Altersvorsorge für ihre Eltern sind. (Shapiro & Gebreselassie, 2013, S. 20f.)

Das Ergebnis von Shapiro & Gebreselassie wird durch Ezeh et al. bestätigt, die ebenfalls mit DHS-Daten arbeiten und mit Hilfe eines Probit-Modells die entscheidenden Faktoren für Stagnation, bzw. Reduktion der Geburtenrate zu analysieren. Ezeh et al haben für 16 Regionen in vier subsaharischen Ländern die Auswirkungen von sozioökonomischen Faktoren auf die Geburtenrate analysiert. Was sich auch in dieser Analyse zeigt, ist die negative Wirkung von urbanem Lebensraum und sekundärer Schulbildung auf die Eheschliessungen und die Geburtenrate. (Ezeh, U. Mberu, & O. Emina, 2009, S. 2995f.; 2999; 3005f.)

Wie schnell sich sozioökonomische Stagnation in Prosperität verwandeln kann, zeigt das Beispiel von Ruanda. Nach einem Rückgang der Geburtenrate von durchschnittlich über 8 (Anfang 1980er Jahre) auf gut 6 Kinder (1992) stagnierte bis ins Jahr 2005 die Geburtenrate auf diesem Wert. Im Zeitraum von 2005-2010 ist die Geburtenrate sprunghaft auf 4,6 Kinder gesunken, was einem Rückgang der Geburtenrate von 25% entspricht (vgl. Abbildung 8). Neben der demografischen Veränderung zeigt sich in dieser Zeit auch eine sozioökonomische Verbesserung mit jährlichen Wirtschaftswachstumsraten von 8% und flächendeckender Grundschulausbildung.

Bundevoet hat für die Analyse des Geburtenrückgangs in Ruanda ebenfalls mit DHS-Daten für die Jahre 2005 und 2010 gearbeitet und die Auswirkung von verschiedenen Variablen wie

Bildungsstand, Beschäftigungssektor sowie Zivilstand der Frauen untersucht. (Bundervoet, 2014, S. 2f.)

Bundervoet kommt dabei zum Schluss, dass sich die Geburtenraten für die Vor- und Nachkriegsgenerationen deutlich unterscheiden. Die Nachkriegsjahrgänge haben von sozioökonomischen Verbesserungen in den Bereichen Bildung, Gesundheitsvorsorge und allgemeinem Lebensstandard profitiert. Es zeigt sich ein besonders starker, negativer Zusammenhang zwischen der Entwicklung des Anteils der Frauen, die niemals eine Schule besucht haben und der kohortenspezifischen Geburtenrate.

Die Untersuchung mittels Oaxa-Blinder Dekomposition zeigt, dass die Bildung, gemessen in der Anzahl Schuljahre von Frauen mit 70% den größten Anteil des spezifischen Geburtenrückgangs und fast 25% des Geburtenrückgangs allgemein erklärt. Zweitwichtigster, doch deutlich niedrigerer Faktor ist der Anstieg des Lebensstandards mit 15%. Mit 5% ist der Einfluss der Arbeitsmarktbeteiligung von Frauen vergleichsweise gering, was aber laut Bundervoet hauptsächlich daran liegt, dass sich landwirtschaftliche Tätigkeiten mit Reproduktionsarbeit besser verbinden lassen. Der Anstieg non-landwirtschaftlicher Arbeit erklärt 8% des Geburtenrückgangs.

Für den starken Rückgang der Geburtenrate sieht er daher hauptsächlich den Anstieg der Schulbildung von Frauen verantwortlich. Zudem hat sich die Partizipation am Arbeitsmarkt von Frauen auf über 80% erhöht, was sich durch höhere Opportunitätskosten ebenfalls negativ auf die Geburtenrate auswirkt. Auch wenn noch immer der größte Anteil der Frauen in der Landwirtschaft tätig ist, hat deren Tätigkeit im nicht-landwirtschaftlichen Bereich stark zugenommen. (Bundervoet, 2014, S. 2f.; 10f.; 17; 20)

4.3 Wachstum von Technologie und Wirtschaft

Bisher wurde Humankapital nur als erklärende Variable berücksichtigt, um die Entwicklung der anderen Schlüsselvariablen zu untersuchen. In diesem Kapitel liegt nun der Schwerpunkt der Betrachtung auf dieser Variable.

Frühere Werke beschreiben einen kausalen Zusammenhang zwischen qualitativer Ausbildung (gemessen in den ISAT-Testergebnissen für Mathematik und Naturwissenschaften) und der Wachstumsrate des Pro-Kopf-Einkommens. Jamison et al. begründen die Motivation für ihre weiterführende Analyse darin, die bisherigen Ergebnisse auf Basis einer größeren Datengrundlage zu reevaluieren sowie den Einfluss von anderen Variablen auf das Einkommen zu untersuchen. Die Datenbasis für diese Analyse bilden 10-Jahres-Werte im Zeitraum von 1960 bis 2000 und umfasst für 62 Länder. Als erklärende Variablen dienen unter anderem die Geburtenrate, das Pro-Kopf-Einkommen, die Anzahl Schuljahre sowie die handelstechnische Offenheit eines Landes. (Jamison, Jamison, & Hanushek, 2007, S. 772f.)

Eine erste Basisanalyse bestätigt die Erwartung hinsichtlich Konvergenz von Wirtschaftswachstum und Anzahl der Schuljahre, wobei ein höheres Wirtschaftsniveau sich negativ und die absolvierten Schuljahre positiv auf das Wirtschaftswachstum auswirken. Sobald man die Qualität von Bildung in die Regression miteinbezieht, zeigt diese einen deutlich positiven Zusammenhang mit Wirtschaftswachstum, zudem verliert die Anzahl der Schuljahre an Einfluss. Die Berücksichtigung der Offenheit einer Wirtschaft zeigt ebenfalls einen positiven Zusammenhang mit Wirtschaftswachstum und Jamison et al. stellen fest, dass der Übergang einer geschlossenen zu einer offenen Volkswirtschaft das Wirtschaftswachstum um 1,5% erhöht.(Jamison, Jamison, & Hanushek, 2007, S. 776)

Als nächstes konzentrieren Jamison et al. sich auf den indirekten Zusammenhang von Ausbildungsqualität auf Wirtschaftswachstum, der über einen Anstieg des technologischen Wachstums entsteht. Wie auch schon im vorangehenden Kapitel verwenden sie dafür ein Fixed-Effects- Modell, da sie Endogenität im Modell vermuten. Ähnlich wie in vorangegangenen Analysen berechnen Jamison et al. mehrere Regressionen und variieren dabei die Anzahl erklärender Variablen im Modell. In den ausführlicheren Modellregressionen unterscheiden sie unter anderem zeitabhängige und zeitunabhängige sowie länderspezifische Effekte.

Jamison et al. beziehen sich auf Blooms Feststellung, dass sich Bevölkerungswachstum vor allem dann vorteilhaft auswirkt, wenn die Erwerbsbevölkerung schneller als die noch nicht und nicht mehr arbeitenden Bevölkerungsteile wächst. Daher verwenden sie die Geburtenrate als Messgröße für die länderspezifische Bevölkerungsstruktur, da eine größere Anzahl Kinder die Abhängigkeitsquote erhöht, was sich durch die negative Einkommenselastizität der Geburtenrate (-0,23) in mehreren Modellregressionen zeigt.

Für den Einfluss von Schulbildung auf Technologie und Einkommen zeigen sich große Unterschiede zwischen offenen und geschlossenen Wirtschaftssystemen. Eine bessere Ausbildung zahlt sich in offenen Ländern mehr aus, als in geschlossenen. Werden die Ausbildungsqualität und die internationale Offenheit eines Landes gleichzeitig berücksichtigt, sinkt zwar der absolute Einfluss der Ausbildungsqualität auf Technologiewachstum, er bleibt aber noch immer signifikant erhalten. Dieser Modellversion ermöglicht es zudem, den Effekt von Ausbildungsqualität in einer offenen, bzw. geschlossenen Volkswirtschaft zu evaluieren und zeigt, dass in einer offenen Wirtschaft einerseits das technologische Wachstum höher ist und andererseits eine Verbesserung der Ausbildungsqualität stärker wirkt. Jamison et al. schreiben dieser Version des Modells die höchste Aussagekraft zu.

Jamison et al. bestätigen in ihrem Fazit die theoretischen Ergebnisse von Paul Romer. Sie stellen fest, dass Bildungsqualität und deren Quantität (Humankapital) Wirtschaftswachstum indirekt, über eine höhere Rate an technologischem Wachstum beeinflussen. Zudem bestätigen sie, dass deren Einfluss in offenen Volkswirtschaften größer ist, als in geschlossenen.(Jamison, Jamison, & Hanushek, 2007, S. 778-782).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Während die Rolle von natürlichen Ressourcen als limitierender Faktor für sozioökonomische Entwicklung für Malthus absolut ist, fasst Boserup deren Grenzen (Tragfähigkeitsgrenze) als variable Größe auf. Im malthusianischen wie auch im post-malthusianischen Modell konnten sich Bevölkerung und Wirtschaft nur innerhalb ökologischer Grenzen entwickeln, wobei beide Modelle die Wirkung von Technologie auf die Ressourcenproduktivität vernachlässigen. Die empirische Analyse der Entwicklung des Ressourcenverbrauchs führt das 20. Jahrhundert hat gezeigt, dass Produktivitätsgewinne zu einer relativen Dematerialisierung geführt haben. Dennoch ist der absolute Ressourcenkonsum deutlich gestiegen und Krausmann et al. geben diesbezüglich ökologische Grenzen zu bedenken. (Krausmann, 2009, S. 2703f.) Weizäcker et al. prognostizieren allerdings gerade für den Umgang mit Ressourcen ein großes Potential im Hinblick auf Effizienzgewinne und prognostizieren in ihrem Buch *Faktor 5*, dass Ressourcenmanagement grundsätzlich 5 mal effizienter erfolgen kann. Ob diese Effizienzgewinne und Produktivitätssteigerungen ausreichen um eine echte Entkopplung von sozioökonomischer Entwicklung und Ressourcenverbrauch zu erzielen, wird sich in der Zukunft zeigen. (von Weizsäcker, Hargroves, & Smith, 2010, S. 45-60)

Das Ziel dieser Arbeit war es den Zusammenhang von Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum zu analysieren. Die drei betrachteten Modelle haben für Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum unterschiedliche Prognosen geliefert. Während Malthus Bevölkerungswachstum als wohlstandsvermindernd auffasst, haben die Modelle von Romer und Prskawetz et al. prognostiziert, dass Bevölkerungswachstum sehr wohl die Grundlage für ökonomisches Wachstum sein kann. Hieran zeigt sich sehr deutlich der Unterschied zwischen endogenen und exogenen Wachstumsmodellen. Wenn technologischer Fortschritt keine exogene Variable ist, muss dieser erarbeitet werden, was der Bevölkerung, insbesondere deren Bildungsniveau (Humankapital) eine neue Bedeutung verleiht.

Der Vergleich der Modellprognosen mit empirischen Ergebnissen hat zudem gezeigt, dass die malthusianische Stagnation nur eine Zwischenphase im weiteren Entwicklungsprozess ist. Bevölkerungswachstum wirkt vor allem zu Beginn des demografischen Übergangs, wenn die Erwerbsbevölkerung noch groß und die Geburtenrate bereits niedrig ist, positiv auf die wirtschaftliche Entwicklung. Des weiteren bestätigt sich auch die inverse Beziehung zwischen Bevölkerungs- und technologischem Wachstum, da mit zunehmender ökonomischer Entwicklung, Technologie, bzw. Humankapital immer wichtiger wird und die Bevölkerungsgröße an Einfluss auf das Wirtschaftswachstum verliert.

Als Schlüsselvariable erweist sich hierbei die *Bildung*, da sie über ihre direkte und indirekte Wirkung nachhaltig die sozioökonomische Entwicklung eines Landes beeinflusst, was am

Beispiel von Ruanda gezeigt werden konnte. Mitte der 1990er Jahre Brandner & Taylor das bürgerkriegsgeschüttelte Ruanda noch als Beispiel für malthusianischen Stillstand angeführt und bereits ein Jahrzehnt später zeigt das Land wie schnell sich daraus wirtschaftliche Prosperität entwickeln kann.

Die Prognosen der Vereinten Nationen zur Bevölkerungsentwicklung, vor allem zu jener im Subsaharischen Afrika, zeichnen für die Zukunft dieser Region ein eher düsteres Bild hinsichtlich der sozialer und wirtschaftlichen Entwicklung. Allerdings indizieren die Ergebnisse des empirischen Vergleichs, dass mit Hilfe der richtigen politischen Maßnahmen, innerhalb kurzer Zeit sehr große Effekte im Hinblick auf Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum erzielt werden können.

Anhang

A1 Ricardo-Malthus- Modell

Nebenrechnungen zur Herleitung der Gleichgewichtszustände:

Null setzen der Ressourcenfunktion ergibt:

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S} = rS \left(1 - \frac{S}{K}\right) = \alpha\beta LS = 0 \quad (\text{A.1.1})$$

$$rS - \frac{rS^2}{K} - \alpha\beta LS \quad (\text{A.1.2})$$

$$S \left[r \left(1 - \frac{S}{K}\right) - L\alpha\beta \right] = 0 \quad (\text{A.1.3})$$

$$-\frac{S}{K} = \frac{L\alpha\beta}{r} - 1 \quad (\text{A.1.4})$$

$$S = \frac{Kr - \alpha\beta KL}{r} \quad (\text{A.1.5})$$

$$\frac{Sr - Kr}{\alpha\beta K} = L \quad (\text{A.1.6})$$

$$\frac{dL}{dt} = \dot{L} = L(b - d + \phi\alpha\beta S) = 0 \quad (\text{A.1.7})$$

$$L = 0 \quad (\text{A.1.8})$$

$$(b - d) + \phi\alpha\beta S = 0 \quad (\text{A.1.9})$$

$$-\frac{b - d}{\phi\alpha\beta} = S \quad (\text{A.1.10})$$

A2 Romer Modell

Herleitung der Monopolmengen und des Preises

Die unterschiedlichen Intermediärgüter $x(i)$ werden als kontinuierliche Variable aufgefasst, weshalb das Summenzeichen durch ein Integral ersetzt werden kann. Die aggregierte Nachfrage ergibt sich durch die Berechnung des Optimierungsproblems

$$\max_x \int_0^\infty [H_Y^\alpha L^\beta x(i)^{1-\alpha-\beta} - p(i)x(i)] di \quad (\text{A.2.1})$$

Differenzieren unter dem Integral und auflösen nach $p(i)$ führt zur inversen Nachfrage:

$$p(i) = (1 - \alpha - \beta) H_Y^\alpha L^\beta x(i)^{-\alpha-\beta} \quad (\text{A.2.2})$$

Mit Hilfe dieser und seinen Kosten kann der Monopolist seinen Gewinn maximieren:

$$\begin{aligned}\pi &= \max_x p(x)x - r\eta x \\ &= \max_x (1 - \alpha - \beta)H_Y^\alpha L^\beta x^{1-\alpha-\beta} - r\eta x\end{aligned}\quad (\text{A.2.3})$$

Was zu dem Monopolpreis: $\bar{p} = r\eta/(1 - \alpha - \beta)$ führt, der aus einem Aufschlag auf die Grenzkosten besteht. Der zugehörige Monopolgewinn ist $\pi = (\alpha + \beta)/\bar{p}\bar{x}$

Diskontierung der zukünftigen Gewinne von einem neuen Produktionsdesign:

Um zu entscheiden, ob sich die Entwicklung eines neuen Produktionsdesigns lohnt, werden dessen Kosten den zu erwartenden Gewinnen gegenüber gestellt:

$$\int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r(s)ds} \pi(\tau) d\tau = P_A(t) \quad (\text{A.2.4})$$

Differenzieren nach t führt zu einer einfacheren Form der Gleichung, da P_A eine Konstante ist und dadurch wegfällt:

$$\pi(t) - r(t) \int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r(s)ds} \pi(\tau) d\tau = 0 \quad (\text{A.2.5})$$

Einsetzen in A.2.4 ergibt:

$$\pi(\tau) = r(t)P_A \quad (\text{A.2.6})$$

(Romer, 1990, S. 86f.)

Umformen der Outputfunktion

Einsetzen der Monopolmenge $\bar{x}$ in Gleichung 2.9 führt zu $K = \eta A \bar{x}$, wodurch sich die Outputfunktion umschreiben lässt :

$$\begin{aligned}Y(H_A, L, x) &= H_Y^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} di \\ &= H_Y^\alpha L^\beta A \bar{x}^{1-\alpha-\beta} \\ &= H_Y^\alpha L^\beta A \left(\frac{K}{\eta A}\right)^{1-\alpha-\beta} \\ &= (H_Y A)^\alpha (LA)^\beta (K)^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1}\end{aligned}\quad (\text{A.2.7})$$

Abgezinster Preis eines Forschungsdesigns

Durch umformen der Gleichung A.2.6 und einsetzen des Monopolgewinns erhält man folgende Gleichung:

$$\begin{aligned}
P_A &= \frac{1}{r} \pi = \frac{\alpha + \beta}{r} \bar{p} \bar{x} \\
&= \frac{\alpha + \beta}{r} (1 - \alpha - \beta) H_Y^\alpha L^\beta A \bar{x}^{1-\alpha-\beta}
\end{aligned} \tag{A.2.8}$$

Vergleich der Löhne für Humankapital

Sowohl im Forschungs- als auch im Konsumgütersektor müssen die Löhne für das Humankapital gleich sein, da ansonsten solange zwischen den Sektoren gewechselt wird, bis diese gleich sind. Der Lohn für Humankapital im Konsumgütersektor w_H entspricht dem Grenzprodukt, durch gleichsetzen von w_H und w_A ergibt sich:

$$\begin{aligned}
w_H &= P_A \delta A = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^\beta \int_0^\infty \bar{x}(i)^{1-\alpha-\beta} di \\
&= \alpha H_Y^{\alpha-1} L^\beta A \bar{x}(i)^{1-\alpha-\beta}
\end{aligned} \tag{A.2.9}$$

Durch Kombinieren der beiden obigen Gleichungen und vereinfachen ergibt sich für H_Y der Ausdruck:

$$H_Y = \frac{1}{\delta} \frac{\alpha}{(1 - \alpha - \beta)(\alpha + \beta)} r \tag{A.2.10}$$

(Romer, 1990, S. 89-91)

Optimierung der sozialen Wohlfahrt

Ein sozialer Planer sieht sich folgendem Optimierungsproblem gegenüber:

Maximierung des Konsums

$$\max \int_0^\infty \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1 - \sigma} e^{-\rho t} dt \tag{A.2.11}$$

Unter den Nebenbedingungen:

$$\dot{K} = \eta^{\alpha+\beta-1} A^{\alpha+\beta} H_Y^\alpha L^\beta K^{1-\alpha-\beta} - C \tag{A.2.12}$$

$$\dot{A} = \delta H_A A \tag{A.2.13}$$

$$H_Y + H_A \leq H \tag{A.2.14}$$

Mit Hilfe einer Hamilton Optimierungsfunktion berechnet Romer die wohlstandsoptimale Wachstumsrate g^* als:

$$g^* = \frac{\delta H - \theta \rho}{\theta \sigma + (1 - \theta)} \tag{A.2.15}$$

Wobei die Konstante $\theta = \alpha/(\alpha + \beta)$ entspricht. Romer schreibt, die Beziehung von Λ und Θ als:

$$\Lambda = \theta * \frac{1}{\alpha - \beta}$$

Der Term $1/(\alpha - \beta)$ entspricht dabei genau dem Aufschlag auf die Grenzkosten im Monopolsektor.

(Romer, 1990, S. 97)

A3 Drei Sektoren-Modell nach Prskawetz et al.

Es wird von drei nichtlinearen Differentialgleichungen

$$\dot{R} = \frac{dR}{dt} = g(R) - H(A, L_1, R) \quad (\text{A.3.1})$$

$$\dot{A} = \frac{dA}{dt} = E(Z, L_3, P, A) - \delta A \quad (\text{A.3.2})$$

$$\dot{P} = \frac{dP}{dt} = n(y, A, P)P \quad (\text{A.3.3})$$

und den folgenden sechs impliziten Gleichungen

$$p = \tilde{p}(1 + t_1) = w(1 + t_1) \quad (\text{A.3.4})$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L_2} = \frac{Y}{L_2} \beta_2 = w \quad (\text{A.3.5})$$

$$\frac{\partial Y}{\partial H} = \frac{Y}{H} \beta_1 = p \quad (\text{A.3.6})$$

$$Z = (1 - c)s(T_1 H + T_2 L) \quad (\text{A.3.7})$$

$$wL_3 = (1 - c)(1 - s)(T_1 H + T_2 L) \quad (\text{A.3.8})$$

$$L = \frac{w(1 - t_2)}{w_0 + w(1 - t_2)} P \quad (\text{A.3.9})$$

ausgegangen, wobei L die Summe aus L_1 , L_2 und L_3 ist. Durch Substitution von p und w in (A.3.10) kann L_2 als Funktion nach L_1 ausgedrückt werden:

$$L_2 = L_1 \frac{\beta_2(1 + t_1)}{\beta_1 \alpha_2} \quad (\text{A.3.10})$$

Mit Gleichung (A.3.5) und (A.3.6) können das Einkommen w und der Preis p als Funktionen der Variablen R, A, P und L_1 ausgedrückt werden. Um L_3 als Funktion von R, A, P und L_1 auszudrücken nutzen wir den genannten Zusammenhang zwischen L, L_1 , L_2 und L_3 . Wir substituieren L durch (A.3.9) und L_2 durch (A.3.10) und erhalten für L_3 den Ausdruck

$$L_3 = L - L_1 - L_2 \quad (\text{A.3.11})$$

$$= \frac{w(1 - t_2)}{w_0 + w(1 - t_2)} P - L_1 \left(1 + \frac{\beta_2(1 + t_1)}{\beta_1 \alpha_2} \right)$$

Um Z als Funktion von R, A, P und L_1 auszudrücken, wird in (A.3.7) L durch $L_1 + L_2 + L_3$ substituiert und wiederum die Ausdrücke (A.3.10) und (A.3.11) eingesetzt. Nun haben wir ein System mit drei Differentialgleichungen und den vier Variablen R, A, P und L_1 . Um dieses zu lösen nutzen wir (A.3.8) und substituieren w durch (A.3.5) und L_3 durch (A.3.11). Damit erhalten wir für R, A, P und L_1 die implizierte Bedingung

$$h_1(R, A, P, L_1) = (1 - c)(1 - s)(T_1 H + T_2 L) - \frac{Y}{L_2} \beta_2 L_3 = 0 \quad (\text{A.3.12})$$

Was uns ein System mit vier algebraischen Gleichungen für die vier Variablen für R, A, P und L_1 liefert

$$\dot{R} = f_1(R, A, P, L_1) \quad (\text{A.3.13})$$

$$\dot{A} = f_2(R, A, P, L_1) \quad (\text{A.3.14})$$

$$\dot{P} = f_3(R, A, P, L_1) \quad (\text{A.3.15})$$

$$0 = h_1(R, A, P, L_1) \quad (\text{A.3.16})$$

(Prskawetz et al., 1999, S. 326f.)

Literaturverzeichnis

- Angeles, L. (2010). Demographic transitions: analyzing the effects of mortality on fertility. *Journal of Population Economics* 23: S. 99-120.
- Becker, G. S. (1960). An Economic Analysis of Fertility. In G. B. Roberts, *Demographic and Economic Change in Developed Countries* (S. 209-240). Columbia University Press.
- Bloom, D. E. (2011). Population Dynamics in India and Implications for Economic Growth. *PROGRAM ON THE GLOBAL DEMOGRAPHY OF AGING - Working Paper* 65 .
- Boserup, E. (1988). Environment, Population, and Technology in Primitive Societies. In D. Worster, *The Ends of the Earth: Perspectives on Modern Environmental History*. Cambridge.
- Boserup, E. (1981). *Population and Technology*. Oxford: Basil Blackwell.
- Boserup, E. (1965). *THE CONDITIONS OF AGRICULTURAL GROWTH - The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*. London: GEORGE ALLEN & UNWIN LTD.
- Brandner, J. A., & Taylor, S. M. (1998). The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use. *The American Economic Review* 88: S. 119-138.
- Bundervoet, T. (2014). What Explains Rwanda's Drop in Fertility between 2005 and 2010? *Policy research working paper* 6741 .
- Ehrlich, I., & Lui, F. (1997). The problem of population and growth: A review of the literature from Malthus to contemporary models of endogenous population and endogenous growth. *Journal of Economic Dynamics and Control* 21: S. 205-242.
- Ezeh, A. C., U. Mberu, B., & O. Emina, J. (2009). Stall in fertility decline in Eastern African countries: regional analysis of patterns, determinants and implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 364: S. 2991–3007.
- Galor, O. (2005). THE DEMOGRAPHIC TRANSITION AND THE EMERGENCE OF SUSTAINED ECONOMIC GROWTH. *Journal of the European Economic Association* 3: S. 494-504.
- Gerland, P. et al. (2014). World population stabilization unlikely this century. *Science*, S. 234-237.

Hansen, C. W., Jensen, P. S., & Lonstrup, L. (2014). The Fertility Transition in the US: Schooling or Income. *Economic Working Papers* .

Jamison, E. A., Jamison, D. T., & Hanushek, E. A. (2007). The effects of education quality on income growth and mortality decline. *Economics of Education Review*, S. 772-780.

Krausmann, F. et al. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics* 68: S. 2696-2705.

Lee, D. (2011). The Outlook for Population Growth. *Science*, S. 569-573.

Malthus, T. R. (1992). *An Essay on the Principle of Population*. Cambridge: Cambridge University Press.

Münz, R. (Oktober 2007; aktualisiert März 2013). *Fertilität und Geburtenentwicklung*. Abgerufen am 4. Oktober 2014 von <http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/bevoelkerungsdynamik/faktoren/fertilitaet.html>

Prskawetz, A. et al. (1999). Endogenous Growth of Population and Income Depending on Resource and Knowledge. *European Journal of Population* 14: S. 305-331.

Romer, P. (1990). Capital, Labor, and Productivity. *Brookings Papers on Economic Activity*, S. 337-367.

Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. *The Journal of Political Economy* 98: S. 71-102.

Shapiro, D., & Gebreselassie, T. (2008). Fertility Transition in Sub-Saharan Africa: Falling and Stalling. *African Population Studies* 23 .

The World Bank. (1960-2012). *Fertility rate, total (births per woman)*. Abgerufen am 4. Oktober 2014 von <http://data.worldbank.org/>

von Weizsäcker, E. U., Hargroves, K., & Smith, M. (2010). *Faktor Fünf - Die Formel für nachhaltiges Wachstum*. München: Droemer.

www.berlin-institut.org. (kein Datum). Abgerufen am 26. Oktober 2014 von <http://www.berlin-institut.org/onlinehandbuchdemografie/bevoelkerungsdynamik/auswirkungen/demografischeruebergang.html>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung von Ressourcen und Bevölkerung, eigene Darstellung nach Brandner&Taylor 1998: S.124	12
Abbildung 2: Dynamisches Zusammenspiel von Bevölkerung und Ressourcen, eigene Darstellung nach Brandner&Taylor S.126	13
Abbildung 3: endogene Bevölkerungsentwicklung für $c_1=0,1$, $c_2=1,1$, $c_3=0,5$, $c_4=0,01$, $y^{\text{sub}}=0,01$ und $P=A=1$, Quelle:(Prskawetz, 1999, S. 312)	24
Abbildung 4: Phasen- Diagram für Ressourcen, Bevölkerung und Technologie, Quelle: Prskawetz et al., 1997: S. 315.....	25
Abbildung 5a, b: Gleichgewichtskurven für ausgewählte Systemvariablen für ausgewählte β_1 , Quelle:(Prskawetz, 1999, S. 317)	26
Abbildung 6: Gleichgewichtskurven für ausgewählte Systemvariablen, Quelle: Prskawetz et al. S.317	27
Abbildung 7: Phasendiagramm von Bevölkerung und Technology, Quelle: (Prskawetz, 1999, S. 321)	27
Abbildung 8: Entwicklung der Geburtenrate für ausgewählte Länder von 1960-2012, eigene Darstellung Quelle: (The World Bank, 1960-2012)	37

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit dem Zusammenhang von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum im Spannungsfeld von natürlichen Ressourcen und technologischem Fortschritt. Um der Frage auf den Grund zu gehen, ob Bevölkerungswachstum Chance oder Bedrohung für wirtschaftliche Entwicklung darstellt, wird dessen Bedeutung anhand der Theorien von Thomas Robert Malthus und Ester Boserup untersucht.

Während Malthus davon ausgeht, dass sich Wirtschaft und Bevölkerung immer nur abhängig vom Ressourcenwachstum entwickeln können, sieht er in Bevölkerungswachstum eine Bedrohung für den Lebensstandard. Boserup dreht in ihrer Theorie diesen Zusammenhang um und sieht Bevölkerungswachstum als Motor für ökonomische und technologische Entwicklung.

Diese zwei theoretischen Strömungen werden anhand von drei Modellen verglichen und deren Unterschiede evaluiert. In einem empirischen Vergleich werden die Modellprognosen, Daten zur Entwicklung von Ressourcenverbrauch, Bevölkerung, Technologie und Wirtschaftswachstum gegenübergestellt.

Abstract

This master thesis investigates the relationship between population dynamics and economic growth, with a special interest in their behaviour considering natural resources and technology.

The main theories consist of the ideas of Thomas Robert Malthus and Ester Boserup. Due to the scarcity of natural resources (mainly land and food) Malthus considers population and economic growth to be dependent on natural resources, with population growth being a threat to a adequate standard of living. Ester Boserup inherits the opposite position to Malthus, postulating that population is not a dependent but rather an explaining variable. In her opinion population growth is the source of technological innovation that increases the production capacities of natural resources.

These two opposing theories are compared and analysed though three different growth Models. The model predictions are compared to empiric data for resource use, population growth, technology and economic growth to evaluate the predicions.

Lebenslauf

Berufserfahrungserfahrung

- 01/2012 – **Österreichische Volksbanken AG (ÖVAG),
Gesamtbankrisikosteuerung
Kreditrisikocontrolling**
- 02/2011 – 12/2011 **Österreichische Volksbanken AG, Gesamtbankrisikosteuerung
Basel II Competence Center**

Ausbildung

- 10/2010 – **Universität Wien, Masterstudium Studium Volkswirtschaftslehre**
- 10/2006 – 07/2010 **Wirtschaftsuniversität Wien, Bachelorstudium Studienrichtung
Volkswirtschaft und Sozioökonomie**
- Schwerpunkte Studienzweig Volkswirtschaft: Industrieökonomik,
Wirtschaftsgeografie, Internationale Wirtschaft und Entwicklung
- Schwerpunkte Studienzweig Sozioökonomie: Kommunikation und
Medien, Soziale Probleme
- Abschluss Bachelor of Science WU: 08/2010
- 10/2009 – 02/2010 **Universität Wien, Studienrichtung Soziologie (Mitbelegung)**
- Einführung in die Entwicklungssoziologie
- 08/2000 – 07/2010 **Bündner Kantonsschule, Chur**
- Allgemeine Hochschulreife (Schwerpunkt: Wirtschaft und Recht,
Chemie)