

Die Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik für die Umweltökonomie

Diplomarbeit

eingereicht bei

Prof. Dr. Werner Meißner

Professur für wirtschaftliche Staatswissenschaften

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

vorgelegt von

cand. rer. pol. Rainer H. Rauschenberg

Dörnigheimerstr. 17

6000 Frankfurt/Main 1

Tel. 069/ 43 53 02

Studienrichtung: Volkswirtschaftslehre, 11. Fachsemester

August 1990

Inhalt

1	Einleitung.....	3
1.1	Themenstellung.....	3
1.2	Aufbau der Arbeit	5
2	Die naturwissenschaftlichen Begriffe	7
2.1	Gleichgewichts-Thermodynamik.....	7
2.1.1	Der Energieerhaltungssatz (der erste Hauptsatz der Thermodynamik)	7
2.1.2	Das Entropiegesetz (der zweite Hauptsatz der Thermodynamik)	9
2.2	Nichtgleichgewichts-Thermodynamik.....	16
2.2.1	Dissipative Strukturen	16
2.2.2	Deterministisches Chaos	21
2.3	Die verschiedenen Charaktere der Zeit	25
2.3.1	Reversible, symmetrische Zeit	25
2.3.2	Irreversibilität bzw. zeitliche Asymmetrie	27
2.3.3	Die zwei Pfeile der Zeit.....	28
3	Ökonomische Ansätze zur Berücksichtigung dieser physikalischen Grundlagen.....	31
3.1	Entropie als Grenze der wirtschaftlichen Aktivität.....	31
3.1.1	Geschichtlicher Überblick	31
3.1.2	Nullwachstum wegen Energiemangels?.....	37
3.1.3	Es gibt kein 100%iges Recycling: Nullwachstum wegen Mangels an nichterneuerbaren Rohstoffen (Materialien)?	48
3.1.4	Wenn dem so wäre: Konsequenzen.....	54
3.1.5	Kritik: Warum dem nicht so ist	73
3.2	Entropie und dissipative Strukturen: Entwicklung trotz Grenzen	84
3.2.1	Die beiden Pfeile der Zeit in der Ökonomie: Überblick.....	84
3.2.2	Ansätze zur Berücksichtigung der beiden Pfeile der Zeit in der Umweltökonomie	94
3.2.3	Kritik: was kann dieser Ansatz leisten	104
4	Schlußbetrachtung.....	108
4.1	Was bleibt?	108
4.2	„Prinzip Vorsicht“?.....	113
	Literaturverzeichnis	118

1 Einleitung

1.1 Themenstellung

Gegenstand dieser Arbeit ist das Entropiegesetz und seine Bedeutung für die Umweltökonomie. Das „Grundgesetz vom Niedergang“, wie Schütze¹ es genannt hat, trifft in seiner ursprünglichen Bedeutung Aussagen über die Umwandlung von verschiedenen Formen von Energie bzw. über ihre „Nutzbarkeit“ u.a. für menschliche Belange. So ist zu erklären, daß die stärkste Beschäftigung der Ökonomen mit dem Entropiegesetz in der Folge² der sog. „Ölkrise“ und der Studie „Grenzen des Wachstums“³ stattfand, da zu dieser Zeit der Gedanke einer plötzlichen Erschöpfbarkeit der Energiequellen um so stärker in den Vordergrund drang, wie es in der Zeit davor normal erschien, daß sich der Energieverbrauch regelmäßig verdoppelte.

Das Thema „physikalische Grenzen des wirtschaftlichen Wachstums“ ist in der öffentlichen wie auch in der (wirtschafts-) wissenschaftlichen Diskussion durch aktuellere und akutere Probleme in den Hintergrund gedrängt worden und mit ihm auch der Begriff Entropie. Diese akuterer Probleme sind vor allem im Zusammenhang mit Stoffen zu sehen, die den Bereich des menschlichen Wirtschaftens verlassen. Die zunehmende Umweltverschmutzung stellt sich in den letzten Jahren als das vordringliche Problemfeld für die Umweltökonomie dar. Zu erinnern wäre hier beispielhaft einerseits an die Unfälle bei Sandoz in Basel und des Kernkraftwerks in Tschernobyl sowie die Havarie des Tankers Exxon Valdez in Alaska. Andererseits ist aber auch der „Normalbetrieb“ mit Problematiken wie der u.a. durch FCKWs zunehmenden Zerstörung der Ozonschicht oder auch dem übermäßigen Auftreten von Ozon in Bodennähe im Zusammenhang mit dem photochemischen Smog verbunden. Als weiteres Beispiel, das das komplexe Zusammenspiel verschiedener Effekte aufzeigt, läßt sich hier noch das im letzten

¹ Schütze, Christian: das Grundgesetz vom Niedergang, München, Wien 1989.

² Vgl. z.B. Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: Wachstumstheorie, München, Wien 1985, S.1-2.

³ Vgl. Meadows, D. H. u. a.: The Limits to Growth, New York 1972

Sommer dramatisch angestiegene Algenwachstum vor allem im Mittelmeer anführen.⁴ Das relativ geringe Interesse am Problem der Ressourcennutzung wird von Georgescu-Roegen aber auch damit begründet, daß Umweltverschmutzung direkt erfahren wird, während der Abbau von Ressourcen unter der Erde, den Blicken der Öffentlichkeit entzogen, vor sich geht.⁵

Durch diesen „Verdrängungsprozeß“ sind aber auch die neu entwickelten Ansätze zur Beschreibung des Wirtschaftens, die naturwissenschaftliche Gegebenheiten explizit zu berücksichtigen versuchen, aus dem Blickfeld verschwunden.

Einige Ansätze, die man der ökologisch orientierten Umweltökonomie⁶ zurechnen kann, versuchen beide Aspekte zu verknüpfen. Hierbei wird, zumindest von einigen, wieder bzw. noch mit dem Entropiekonzept gearbeitet. Es bieten sich dabei Möglichkeiten, auch die Interdependenzen zwischen beiden Bereichen zu erfassen. Diese laufen Gefahr, durch die analytische Trennung der Probleme Umweltverschmutzung auf der einen und Knappheit an nichterneuerbaren und erschöpfbaren Ressourcen auf der anderen Seite übersehen zu werden. Daly erläutert, daß in der ökonomischen Diskussion in der Regel die beiden „Enden“ des Wirtschaftens ausgeklammert werden. Auf der einen Seite ist das die letztendliche Herkunft der Güter, die den Wohlstand bzw. das Wohlergehen der Menschen ermöglichen. Vor allem diese „Seite“ wird in dieser Arbeit behandelt. Auf der anderen Seite werden aber auch Fragen der Herkunft der Präferenzen der Konsumenten aus der ökonomischen Diskussion in der Regel ausgeklammert. Auch in dieser Arbeit wird dieser Bereich am Rande immer wieder angesprochen werden. Dies begründet sich aus der Tatsache, daß die meisten Ökonomen, die sich mit

⁴ Nach Aussage der Autoren einer Studie der UN stellt nicht etwa die Erschöpfung der Energie- und Rohstoffquellen, sondern die andauernde Nutzung neuentdeckter Quellen das Problem dar. Durch diese Entwicklung rücke nämlich die Umweltkatastrophe unaufhaltsam näher. vgl. Simonitsch, Pierre: Alle zehn Jahre wächst noch ein China heran, Frankfurter Rundschau Nr.112 vom 15.05.90, S.24.

⁵ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, in: Southern Economic Journal, Vol. 41 (1975), Nr. 3, S.347-381, hier S.364.

⁶ Binswanger spricht von einer „ökologisch orientierten Wirtschaftswissenschaft“: Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, in: Jan Jarre (hrsg.): Die Zukunft der Ökonomie, Rehburg- Loccum 1985, S.141-160, hier S.141, bzw. Binswanger, Hans Christoph: Nichts wird aus nichts, in: Wirtschaftswoche Nr. 33 vom 10.8.1984, S. 80-83, hier S.80.

den Konsequenzen des Entropiegesetzes für die Ökonomie befaßt haben, Wert auf die Feststellung legen, die Präferenzen der Konsumenten müßten sich ändern, damit Konsequenzen aus ihren Ergebnissen auch (demokratisch) durchsetzbar sind. Vor allem äußern sie auch wiederholt implizit die Vermutung, das beobachtbare Nachfragerverhalten sei unter bestimmten übergeordneten Gesichtspunkten nicht rational.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im folgenden (Gliederungspunkt 2.) werden zuerst die physikalischen Grundlagen dieser Arbeit kurz vorgestellt. Es handelt sich auf der einen Seite vor allem um den ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, auf der anderen Seite um einige neuere Ergebnisse aus dem Bereich der Nichtgleichgewichts- Thermodynamik.

Bei den ersten beiden Hauptsätzen der Thermodynamik handelt es sich um den Energieerhaltungssatz und das Entropiegesetz.⁷ Aus dem Bereich der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik sind für diese Arbeit vor allem die unter dem Stichwort „dissipative Strukturen“ bekannten Erkenntnisse von Prigogine von Bedeutung, sowie einige damit in Verbindung stehende Ergebnisse der sogenannten „Chaos- Forschung“.

Den naturwissenschaftlich orientierten Teil schließt eine Darstellung der Bedeutung der vorgestellten Erkenntnisse für die Behandlung des Phänomens „Zeit“ ab.

Obwohl es berechtigt erscheint, die Darstellung der naturwissenschaftlichen Grundlagen, wie oben geschehen, als „kurz“ einzustufen, nimmt sie doch einen für den Rahmen einer wirtschaftswissenschaftlichen Arbeit erheblichen Raum ein. Dies ist aber m.E. dadurch gerechtfertigt, daß sich viele Ökonomische Schlußfolgerungen aus diesen naturwissenschaftlichen Gegebenheiten letztlich widersprechen, weil bei der kurzen und knappen Darstellung naturwissenschaftlicher Tatsachen ein Teil der Differenziertheit der Aussagen verlorengegangen ist.

⁷ Die Hauptsätze der Thermodynamik werden unter dem Stichwort „Gleichgewichts-Thermodynamik“ vorgestellt, da sie das Verhalten thermodynamischer Systeme in der Nähe des thermodynamischen Gleichgewichts beschreiben.

Insbesondere ist häufig eine eher geringe Beachtung der Grenzen der Aussagekraft naturwissenschaftlicher Gesetze zu beobachten. Beispielhaft sei hier nur die weiter unten vorgestellte Erweiterung des Entropiegesetzes auf Aussagen über Materialien erwähnt.

Im zentralen Teil dieser Arbeit, unter Gliederungspunkt 3, werden ökonomische Ansätze vorgestellt, bei denen versucht wird, diese physikalischen Grundlagen zu berücksichtigen. Dabei wird von einem kurzen Überblick über frühe Standpunkte, die zumindest im Sinne des Entropiegesetzes argumentieren, wenn sie sich z.T. auch nicht darauf berufen, ausgegangen. Im Anschluß daran werden die bekannten Arbeiten von Georgescu-Roegen und ähnliche Ansätze vorgestellt, sowie neuere Versuche, die sich dadurch auszeichnen, daß auch Erkenntnisse der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik mit in die Analyse einbezogen werden.

Hierbei korrespondieren die älteren Arbeiten eher mit den in den ersten beiden Hauptsätze der Thermodynamik, dem Energieerhaltungssatz und dem Entropiegesetz zum Ausdruck kommenden Grenzen, während die neueren Ansätze eher an dem Gedanken orientiert sind, daß das wirtschaftliche Handeln nicht die einzige Quelle der Entropiezunahme darstellt.

Im Rahmen der Schlußbetrachtung wird dann, neben einer Beurteilung der betrachteten Ansätze, auch hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz, der m.E. vorhandene „gemeinsame Nenner“ nochmals zusammenfassend dargestellt.

2 Die naturwissenschaftlichen Begriffe

2.1 Gleichgewichts-Thermodynamik

2.1.1 Der Energieerhaltungssatz (der erste Hauptsatz der Thermodynamik)

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist der Satz von der Erhaltung der Energie. Er geht auf Julius Robert Mayer⁸ zurück. Der Energieerhaltungssatz besagt, daß Energie niemals erzeugt oder vernichtet werden kann, sie kann nur von einer Erscheinungsform in eine andere umgewandelt, konzentriert und verstreut werden.⁹

Die gesamte Thermodynamik ist das Teilgebiet der Physik, das sich ursprünglich ausschließlich mit dem Phänomen Wärme beschäftigte. Sie wird daher auch als „Wärmelehre“ bezeichnet.¹⁰ Ausgehend von dem Phänomen Wärme dehnte sich die Betrachtung aber auch auf andere Formen von Energie aus. Die Wärme¹¹ nimmt hierbei weiterhin eine Sonderstellung ein, da sie die Energieform darstellt, die stets am Ende einer Kette von Energieumwandlungen steht.

Begründet wurde die Thermodynamik von Sadi Carnot, der in seiner 1824 veröffentlichten Arbeit „Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance“¹² die Wärme- bzw. Energie-Verhältnisse beim Betrieb von Dampfmaschinen untersuchte.¹³ Sie ist somit eine relativ „junge“ Disziplin der Physik. Carnot ging dabei von der bereits damals in der

⁸ Vgl. Brockhaus' Konversations-Lexikon, Leipzig, Berlin, Wien 1893, Bd.11 S.702.

⁹ Vgl. auch: Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung; Strategien für eine neue Wirtschaftspolitik, überarbeitete Fassung, Frankfurt am Main 1988, S.74, sowie rororo Lexikon – Duden Lexikon Taschenbuchausgabe, Mannheim 1966, Bd. 9 S.2301.

¹⁰ Vgl. z.B. rororo Lexikon, a. a. O., Bd. 9 S.2301.

¹¹ Strenggenommen (d.h. physikalisch richtig) müßte, wenn Wärme als Energieform gemeint ist, von der „Wärmemenge“ gesprochen werden. Da diese Unterscheidung m.E. für die Zielsetzung dieser Arbeit nicht von Bedeutung ist, wird auf diese Unterscheidung aber im weiteren verzichtet.

¹² In etwa: „Überlegungen zur Bewegungskraft des Feuers und zu den Maschinen, die geeignet sind, diese Kraft zu entwickeln“.

¹³ Vgl. Hermann, Armin: Lexikon der Geschichte der Physik A-Z – Biographien, Sachwörter, Originalschriften und Sekundärliteratur, 3. ergänzte Auflage, Köln 1987, S.372-373.

Wissenschaft allgemein anerkannten Tatsache der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile aus.

Dies war schon im antiken Griechenland und im antiken Rom aufgrund des damaligen Weltbildes selbstverständlich,¹⁴ so selbstverständlich, daß aus der damaligen Zeit keine Versuche bekannt sind, ein solches zu konstruieren.¹⁵ Etwa um das Jahr 1200 kam die aus dem indischen Kulturkreis stammende Idee des Perpetuum mobile nach Europa, wo sie auf einen recht fruchtbaren Boden fiel, auch bei damaligen Wissenschaftlern. Bei Technikern und Erfindern ist der Gedanke selbst heute noch nicht ganz ausgestorben¹⁶ und noch 1878 wurde ein deutsches Reichspatent auf eine solche Konstruktion erteilt.¹⁷

Man unterscheidet Perpetua mobilia erster und zweiter Ordnung. Diese Unterscheidung erfolgt abhängig davon, ob ein Perpetuum mobile „nur“ ewig ohne Energiezufuhr laufen und zusätzlich dazu noch Arbeit verrichten oder „nur“ ewig ohne Energiezufuhr laufen soll.

Der Energieerhaltungssatz postuliert die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile erster Ordnung, einer Vorrichtung also, die sich nach einem einmaligen „Anstoß“ ewig bewegt und dabei noch Arbeit leistet.

Georgescu-Roegen weist in diesem Zusammenhang darauf hin, daß auch der schnelle Brüter, auch wenn man davon spricht, daß er nuklearen Brennstoff „erbrütet“, nicht mehr Energie abgeben kann, als er aufnimmt. Dies würde dem Energieerhaltungssatz widersprechen. Der Vorgang des „Erbrütens“ macht den nuklearen Brennstoff nur der Verwendung in anderen Reaktoren zugänglich.¹⁸

¹⁴ Vgl. ebenda, S.449

¹⁵ Vgl. Klemm, Friedrich: Perpetuum mobile – Ein „unmöglicher“ Menschheitstraum, (Die bibliophilen Taschenbücher Nr. 369), Dortmund 1983, S.8.

¹⁶ Vgl. o.V.: Ja, gibt's denn so was: ein Perpetuum mobile? in: Auto-Bild Nr. 17 vom 23.4.1990, S.44.

¹⁷ Vgl. Klemm, Friedrich: a. a. O., S.133.

¹⁸ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.359.

2.1.2 Das Entropiegesetz (der zweite Hauptsatz der Thermodynamik)

Carnot konnte zeigen, daß zum Betrieb einer Wärmekraftmaschine immer die Notwendigkeit besteht, zwei Wärmereservoirs unterschiedlicher Temperatur zur Verfügung zu haben. Darauf basiert auch eine der Formulierungen des Entropiegesetzes: „Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die nichts weiter bewirkt als Abkühlung eines Wärmebehälters und Leistung mechanischer Arbeit.“¹⁹ Man kann sich diese Tatsache am Beispiel eines Wasserrades verdeutlichen, das, wenn es in die Mitte eines Stausees gehalten wird, nicht in der Lage sein wird, Energie zu erzeugen, da es sich in dem stillstehenden See nicht bewegt. Obwohl in dem Stausee eine große Menge potentieller (und thermischer) Energie gespeichert ist, ist diese nicht verwertbar, wenn eine Verbindung zu einem tieferliegenden Abfluß, einer „Senke“²⁰ fehlt. So lange die Energie in einer gleich gut verwertbaren Form bleibt, kann sie nicht genutzt werden. Oder, anders formuliert, wenn die Energie genutzt wird, ist das notwendigerweise mit einer „Entwertung“ der Energie, d.h. einer Abnahme der Nutzbarkeit verbunden.

Diese Abnahme der Nutzbarkeit wird als Zunahme der Entropie bezeichnet. Die Entropie ist also ein Maß für die Nicht-mehr- Nutzbarkeit von Energie.

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, das Entropiegesetz, besagt nun, daß die Entropie in einem abgeschlossenen System²¹ niemals abnehmen wird, da selbst im nur theoretisch erreichbaren Idealfall einer vollkommenen Energienutzung die Entropie konstant bleibt, in jedem real zu beobachtenden Fall jedoch „Verluste“ zu beobachten sind. Diese Verluste verursachen eine Zunahme der Entropie.

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik wird in sehr verschiedenen Formulierungen vorgestellt, von denen im folgenden einige aufgeführt sind:

¹⁹ Ebert, Hermann (Hrsg.): Physikalisches Taschenbuch, überarbeitete und ergänzte 4. Aufl., Braunschweig 1967, S. 331.

²⁰ Kafka, Peter: Das Grundgesetz vom Aufstieg – Vielfalt, Gemächlichkeit, Selbstorganisation: Wege zum wirklichen Fortschritt, München, Wien 1989, z.B. S.46)

²¹ An dieser Stelle ist anzumerken, daß ein abgeschlossenes System strenggenommen eine theoretische Idealisierung darstellt. In der Realität läßt sich nur das Universum als abgeschlossenes System ansehen (s.u.).

„Wärme kann nicht ohne weiteres vom kalten auf warme Körper übergehen“²²

„Heat flows by itself only from the hotter to the colder body, never in reverse.“²³

„In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie niemals ab“²⁴

„In abgeschlossenen physikalischen Systemen nimmt die Entropie zu oder bleibt unverändert“²⁵

„...the entropy of a closed system continuously ... increases toward a maximum...“²⁶

„But for our immediate purpose we may be satisfied with the simple definition of entropy as an index of the amount of unavailable energy in a thermodynamic system at a given moment of its evolution.“²⁷

„Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu konstruieren, die weiter nichts bewirkt, als Arbeit zu leisten und ein Wärmereservoir abzukühlen.“²⁸

„Die Zeit entwertet die Welt“²⁹

„Es geht bergab.“³⁰

Auch inhaltlich wird das Entropiegesetz verschieden interpretiert. Insbesondere die (unten vorgestellte) statistisch-mechanische Erklärung des Entropiegesetzes von Boltzmann war und ist Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. In der vorliegenden Arbeit wird versucht, so weit wie möglich auf der allgemein anerkannten bzw. den verschiedenen physikalischen Schulen gemeinsamen Grundlage des Begriffs zu arbeiten.

²² Davies, Paul: Prinzip Chaos – Die neue Ordnung des Kosmos. (Cosmic Blueprint, deutsch). Deutsche Übersetzung von Friedrich Griese, München 1988, S.27.

²³ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.351).

²⁴ Davies, Paul: a. a. O., S.28.

²⁵ Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.74.

²⁶ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.351.

²⁷ Ebenda; Hervorhebung im Original.

²⁸ Falk, Gottfried / Ruppel, Wolfgang: Energie und Entropie – Eine Einführung in die Thermodynamik, Berlin, Heidelberg, New York 1976, S.367.

²⁹ Ovid, zitiert nach: Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, a. a. O., S.145; Schütze, Christian: Entropie, in: Natur, Erstausgabe, 1980, S.123-131, hier S.123 schreibt dieses Zitat allerdings Horaz zu.

³⁰ Cramer, Friedrich: Chaos und Ordnung – Die komplexe Struktur des Lebendigen, Stuttgart 1988, S.31.

Aus diesem Grund wird auch versucht, weitgehend die verbreitete Gleichsetzung von niedriger Entropie mit Ordnung bzw. hoher Entropie mit Unordnung zu vermeiden.

Erstmals formuliert wurde das Entropiegesetz von Rudolf Clausius und William Thomson (Lord Kelvin).³¹ In dieser Formulierung besagt es, daß Energie in einem abgeschlossenen System von selbst immer der gleichmäßigsten Verteilung zustrebt, so daß die oben erwähnten Potential- bzw. Niveauunterschiede, wenn sie in Verbindung gebracht werden, durch Angleichungen der Niveaus bzw. Potentiale verschwinden. Dies gilt auch, wenn eine Wärmekraftmaschine in den ausgleichenden „Strom“ oder „Fluß“ der Energie eingefügt wird.

Bei der oben in Verbindung mit dem Energieerhaltungssatz erwähnten Umwandlung von verschiedenen Erscheinungsformen der Energie ist zu beachten, daß unter nicht idealen bzw. nicht idealisierten Bedingungen immer eine Entropiezunahme, d.h. das Entstehen von „Abwärme“ zu beobachten ist.

So wird bei einem Gegenstand, der eine schiefe Ebene hinunterrutscht, ein Teil seiner potentiellen Energie durch Reibung in Wärme umgewandelt und nur ein Teil in kinetische (Bewegungs-) Energie. Auch diese kinetische Energie wird sich, wenn der Gegenstand am Ende der schiefen Ebene ankommt, entweder durch den Aufprall auf einen anderen Körper oder durch Ausgleiten in Wärme verwandeln. Auch wenn der Gegenstand beim Rutschen Geräusche erzeugt, werden die Schallwellen „ausklingen“, d.h. sich in Wärme wandeln. Diese Verluste begrenzen den Anteil der nutzbaren (Bewegungs-) Energie. Wenn es das Ziel der oben beschriebenen Anordnung ist, den Körper möglichst weit in die Ebene zu bewegen, so können nun zur Verringerung der Verluste Räder oder Rollen unter dem Gegenstand montiert werden. Dadurch wird sich zwar in der Regel das Ausmaß der Verluste verringern, aber für einen Vergleich der beiden Verfahren ist der Umfang der zusätzlichen Verluste bzw. die Entwertung der Energie, die Zunahme der Entropie, durch den Herstellungsprozeß und die Montage der Räder oder Rollen in Rechnung zu ziehen.

³¹ Vgl. Hermann, Armin: a. a. O., S.92.

In jedem abgeschlossenen System strebt die Entropie einem Maximum zu. Das bedeutet aber auch, daß jede Nutzung von Energie unweigerlich die Entropie erhöht, wenn man das die gesamte Aktivität einschließende (abgeschlossene) System betrachtet. Letztlich läßt sich das gesamte Universum als abgeschlossenes System ansehen (strenggenommen als einziges reales abgeschlossenes System). Also muß die Entropie, der Grad der Tendenz zur Gleichförmigkeit der Energieverteilung des Universums, ständig zunehmen, bis sie ihr Maximum (die völlige Gleichverteilung) erreicht hat: „All kinds of energy are gradually transformed into heat and heat becomes so dissipated in the end that man can no longer use it.“³² Da in diesem Stadium keine Arbeit mehr geleistet, keine Energie mehr genutzt werden kann, da alle Energie in Form von „Abwärme“ vorliegt, wird dieser Zustand auch als der Wärmetod des Universums bezeichnet.³³

Diese Erkenntnis wurde erstmals im Jahre 1854 von dem deutschen Physiker Hermann von Helmholtz veröffentlicht³⁴ und löste insbesondere in der Philosophie doch recht vehemente Reaktionen aus, wie an folgendem Zitat zu sehen ist:

„...daß all die Anstrengungen der Generationen, all die Hingabe, all die Inspiration, all der helle Glanz des menschlichen Genies im umfassenden Tod des Sonnensystems dem Untergang geweiht sind, daß der ganze Tempel der Errungenschaften des Menschen unausweichlich unter den Trümmern eines verfallenden Universums begraben werden wird – all diese Dinge sind, wenn nicht gänzlich unzweifelhaft, doch nahezu so gewiß, daß keine Philosophie, die sie verwirft, weiterhin auf Geltung hoffen kann. Nur im Gerüst dieser Wahrheiten, nur auf der festen Grundlage unnachgiebiger Verzweiflung kann von nun an die Wohnung der Seele sicher errichtet werden.“³⁵

Die von vielen als „gräßliche Aussicht“³⁶ eingestufte Gewißheit des Wärmetods des Universums brachte nicht nur Philosophen wie Friedrich Engels zu der Ansicht, daß sich das Entropiegesetz letztlich als falsch herausstellen müsse, daß die Wissenschaft in Zukunft die Begrenzung des zweiten Hauptsatzes zu überwinden

³² Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.352.

³³ Vgl. Hermann, Armin: a. a. O., S.92.

³⁴ Vgl. Davies, Paul: a. a. O., S.33.

³⁵ Russel, Bertrand: Why I am not a Christian, New York 1957, S.107; zitiert nach Davies, Paul: a. a. O., S.34.

³⁶ Davies, Paul: a. a. O., S.34.

habe,³⁷ es gibt auch immer wieder Wissenschaftler, wenn auch nicht gerade Naturwissenschaftler, die Ideen verbreiten, die darauf hinauslaufen, die Entropie zu „überlisten“, oder, wie Georgescu-Roegen es ausdrückt, „bootlegging entropy“ nicht für unmöglich halten.³⁸

Boltzmann unternahm mit seiner statistischen Interpretation der Entropie einen Versuch den Entropiebegriff auf die Basis des zur damaligen Zeit vorherrschenden Paradigmas in der Physik zu stellen, auf die Basis der Mechanik. Diese Sichtweise des Entropiegesetzes wurde am Beispiel des Temperatenausgleichs zwischen Gasen entwickelt. Hierbei wird Entropie mit einem in bestimmter Weise definierten Begriff von Ordnung bzw. Unordnung identifiziert. Man betrachtet einen Zustand der maximalen Entropie (das thermodynamische Gleichgewicht) als den Zustand maximaler Unordnung und entsprechend einen Zustand minimaler Entropie als den Zustand maximaler Ordnung. Dieser Ansatz ist unter der Bezeichnung kinetische Gastheorie bekannt, da er die Temperatur eines Gases als Ausmaß der „Unruhe“³⁹ der Moleküle eines Gases ansieht. Das Gas wird hierbei als gewaltige Ansammlung von Molekülen betrachtet, die sich in ununterbrochener regelloser Bewegung befinden und ständig gegeneinander und an die Wände des umschließenden Behälters prallen. Der Temperatenausgleich wird nun dadurch erklärt, daß die Moleküle im wärmeren Teil des Gases durch die Zusammenstöße mit „kälteren“ Molekülen an diese einen Teil ihrer Energie abgeben. Das Phänomen der Irreversibilität wird nun nicht streng aufgefaßt, sondern als statistisches Phänomen, da meßbar ungleichmäßige Temperaturverteilungen aus den zufälligen Molekülbewegungen und -Zusammenstößen seltener (wesentlich seltener) entstehen als gleichmäßige Verteilungen.⁴⁰ Hierbei ergibt sich eine plausible und auf den mechanischen Gesetzen fußende Erklärung des zweiten Hauptsatzes, die jedoch die in der ursprünglichen Fassung desselben formulierte strenge Irreversibilität nicht erklären kann. Des weiteren birgt die Verwendung der Kategorien „Ordnung“ und „Unordnung“, wie oben schon erwähnt, das Risiko

³⁷ Vgl. ebenda, S.34.

³⁸ Ebenda.

³⁹ Davies, Paul: a. a. O., S.29.

⁴⁰ Vgl. Davies, Paul: a. a. O., S.29-31.

von Mißverständnissen, worauf weiter unten noch eingegangen wird. Auch weisen Prigogine und Stengers⁴¹ darauf hin, daß die Boltzmannsche Erklärung der Entropie für die nichtgleichgewichtigen Prozesse, die dissipative Strukturen⁴² kennzeichnen, keinen Erklärungswert mehr besitzen, da dissipative Strukturen im Sinne Boltzmanns extrem unwahrscheinliche Zustände sind, die nicht auf Dauer (nicht auf die Dauer, die in der Realität beobachtbar ist) existieren können.

So wie der Energieerhaltungssatz die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile erster Ordnung zeigt, einer Vorrichtung also, die sich (wie oben schon erläutert) ohne Energiezufuhr ewig bewegt und dabei

noch Arbeit leistet, so ist aufgrund des Entropiegesetzes auch ein Perpetuum mobile zweiter Ordnung unmöglich, also eine Vorrichtung, die ohne entsprechende Energiezufuhr „nur“ sich selbst ewig am Laufen hält.

Georgescu-Roegen bezeichnet als klassische Illustration von dissipierter Energie die immense Energie, die in Form von Wärme in den Weltmeeren gespeichert ist. Durch die „niedrige Konzentration“, in der diese Energie vorliegt, kann kein Schiff sie nutzen.⁴³

Ein weiteres Beispiel zur Illustration der ersten beiden Hauptsätze der Thermodynamik findet sich bei Faber:⁴⁴ Stellen wir uns einen perfekt isolierten Raum vor, in dem ein Ofen steht, in dem Kohle verbrannt wird. Die chemische Bindungsenergie der Kohle wird in Wärme verwandelt. Die Energie in dem System „Ofen“ nimmt im selben Maße ab, wie die Energie im „restlichen“ Raum zunimmt. In dem Gesamtsystem „Raum“ (inkl. Ofen) bleibt die Energie konstant. Die Form des Vorliegens der Energie hat sich allerdings geändert. chemische Energie hat sich in thermische umgewandelt, verbunden mit einer Zunahme der Entropie (der

⁴¹ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: Dialog mit der Natur – Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. Deutsche Übersetzung von Friedrich Griesse, München, Zürich 1981, S.136.

⁴² Vgl. Gliederungspunkt 2.2.1.

⁴³ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.352.

⁴⁴ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy. Entropy, Environment and Resources. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 88), Heidelberg 1984, S.6.

Vorgang ist ohne zusätzliche Energie „von außen“ nicht mehr rückgängig zu machen).

Koopmans, der sowohl in der Physik wie auch im Bereich der Ökonomie gearbeitet hat, schätzt Entropie als ein schwierigeres Konzept ein, als „anything economics has to offer“⁴⁵. Auch andere Physiker heben die Bedeutung des Entropiegesetzes hervor, wie auch am folgenden Zitat abzulesen ist:

„Ich glaube, daß dem Gesetz von dem ständigen Wachsen der Entropie – dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik – die erste Stelle unter den Naturgesetzen gebührt. Wenn jemand Sie darauf hinweist, daß die von Ihnen bevorzugte Theorie des Universums den Maxwellschen Gleichungen widerspricht – nun, können Sie sagen, um so schlimmer für die Maxwellschen Gleichungen. Wenn es sich herausstellt, daß sie mit der Beobachtung unvereinbar ist – gut, auch Experimentalphysiker pfuschen manchmal. Aber wenn Ihre Theorie gegen den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik verstößt, dann ist alle Hoffnung vergebens. Dann bleibt ihr nichts mehr übrig, als in tiefster Demut in der Versenkung zu verschwinden.“⁴⁶

Georgescu-Roegen hebt hervor, daß das Entropiegesetz das einzige naturwissenschaftliche Gesetz ist, das aufzeigt, daß das gesamte Universum einer irreversiblen qualitativen Veränderung, einer evolutionären Veränderung, unterworfen ist.⁴⁷

Die universelle Gültigkeit des Entropiegesetzes ist nichtsdestotrotz in der Physik noch umstritten. Prigogine und Stengers⁴⁸ weisen darauf hin, daß die theoretische Verbindung des zweiten Hauptsatzes im Maßstab des gesamten Universums (und vor allem auf die Lebensdauer des Universums bezogen) mit der Gravitation noch problembehaftet ist, so daß seine allgemeine Gültigkeit noch nicht bewiesen werden kann. Allerdings betreffen diese möglichen Einschränkungen nicht die praktische Relevanz des Entropiegesetzes für die Menschheit.

Ergänzend muß an dieser Stelle noch darauf hingewiesen werden, daß auch Wärmepumpen, bei denen oft von Wirkungsgraden von über 100% gesprochen wird, selbstverständlich nicht gegen das Entropiegesetz verstoßen können. Mit dieser

⁴⁵ Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy, a. a. O., S.5.

⁴⁶ Eddington, Arthur S.: Das Weltbild der Physik und ein Versuch seiner philosophischen Deutung, Braunschweig 1931; zitiert nach: Davies, Paul: a. a. O., S.35.

⁴⁷ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.352.

⁴⁸ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.210.

Ausdrucksweise ist nur gemeint, daß die Wärmepumpe, die z.B. dazu benutzt wird Erdwärme zu nutzen, mehr als die zum Pumpen benötigte Energie als Wärme abgeben kann. Dies entspricht überspitzt ausgedrückt etwa der Vorgehensweise, den Energieverbrauch eines Autos am Stromverbrauch der Benzinpumpe zu messen. Diese Sprachregelung hat sich nur eingebürgert, da man Erdwärme (soweit dies absehbar ist) für menschliche Größenordnungen als nahezu unerschöpflich ansehen kann (wobei ihrer Nutzung vor allem das geringe Entropiegefälle zur Umgebung entgegensteht, wodurch sie primär für Heizzwecke geeignet ist).

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß der dritte Hauptsatz der Thermodynamik von Nernst⁴⁹ (unter anderem) besagt, daß der absolute Nullpunkt nicht zu erreichen ist.

2.2 Nichtgleichgewichts-Thermodynamik

2.2.1 Dissipative Strukturen

Dissipation bedeutet Zerstreung, Verschwendung.⁵⁰ Mit dem Begriff Dissipation kann jener Prozeß charakterisiert werden, der auftritt, wenn Energie in der Realität genutzt wird (und im übrigen auch, wenn sie nicht genutzt wird). Somit erweist sich Dissipation als ein genauere Begriff für das, was umgangssprachlich als „Energieverbrauch“ bezeichnet wird. Wie oben ausgeführt, kann Energie nicht im Sinne von „Vernichtung“ verbraucht werden, sie kann aber (und wird ständig) „entwertet“ werden.⁵¹ Diese Entwertung wird als Dissipation bezeichnet. Sie drückt sich in einer Zunahme der Entropie aus, die als „Zerstreung“ der Energie vorstellbar ist.

Nicht nur alle wirtschaftlichen, auch alle Lebensprozesse, im Endeffekt jeder, absolut jeder Prozeß, jede Veränderung im gesamten Universum ist mit einer Dissipation von Energie und damit mit einer Zunahme der Entropie verbunden.

⁴⁹ Vgl. rororo Lexikon, a. a. O., S.2301.

⁵⁰ Keyzers Fremdwörterlexikon, Berlin, Darmstadt o.J., S.94.

⁵¹ Vgl. auch Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.74.

Allerdings stellt sich die Frage, wie angesichts des durch das Entropiegesetz beschriebenen ständigen „Niedergangs“ zu erklären ist, daß z.B. im Laufe der Erdgeschichte eine Zunahme an Organisation bzw. Komplexität zu beobachten ist. Insbesondere die Entwicklung des Lebens ist – wird die Aufmerksamkeit ausschließlich auf das Entropiegesetz gerichtet – nicht erklärbar, da Lebewesen typischerweise eine niedrigere Entropie haben als ihre Umgebung. Aber auch die Zunahme an Struktur im Universum seit dem Urknall weist darauf hin, daß es noch ein anderes „Weltgesetz“⁵² geben muß, als das von der ständigen Zunahme der Entropie. Auch Georgescu-Roegen weist auf die Verbindung von Auswählen, „Sortieren“, und dem Entstehen von Leben und in letzter Konsequenz auch Bewußtsein hin. Er zitiert Eddington mit den Worten „Sorting is the prerogative of mind or instinct“.⁵³ „Sorting“, also Sortieren ist hierbei vor allem als Gegensatz zu „shuffling“ zu verstehen, also Mischen, dem ungeordneten Pendant. Das Entropiegesetz beschreibt in diesem Sinne das „Mischen“, da eine stärkere Vermischung, zumindest im Rahmen der kinetischen Gastheorie, mit einer Zunahme der Entropie gleichzusetzen ist.

Dieser scheinbare Widerspruch bzw. diese Erklärungslücke brachte insbesondere Prigogine zu einer Suche nach den Prinzipien der Organisation⁵⁴ bzw. vor allem *Selbstorganisation*.⁵⁵ Es wird versucht, eine Erklärung für die beobachtbare Vielfalt der Veränderungen in der Natur zu finden. Prigogine und Stengers⁵⁶ weisen darauf hin, daß die physikalische Teildisziplin Dynamik diese Vielfalt letztlich ausschließlich auf die Ortsveränderung materieller Körper zurückführt, was sie als unbefriedigend empfinden.

⁵² Schütze, Christian: das Grundgesetz vom Niedergang, a. a. O., S.1.

⁵³ Eddington, A. S.: The Nature of the Physical World, New York 1943, S.93; zitiert nach Georgescu-Roegen, Nicholas: The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge/Mass., London 1971, S.190.

⁵⁴ Der Begriff „Organisation“ wird hier in einer ähnlichen Bedeutung wie „Ordnung“ verwendet; der Begriff Ordnung wird hier wegen der Verwechslungsgefahr mit dem Ordnungsbegriff der kinetischen Gastheorie vermieden.

⁵⁵ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.18-19; sowie Prigogine, Ilya: Vom Sein zum Werden – Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. (From being to becoming – Time and Complexity in Physical Sciences, deutsch). Deutsche Übersetzung von Friedrich Griese, München, Zürich 1979, zitiert nach der erweiterten und überarbeiteten 5. Auflage 1988, S.117.

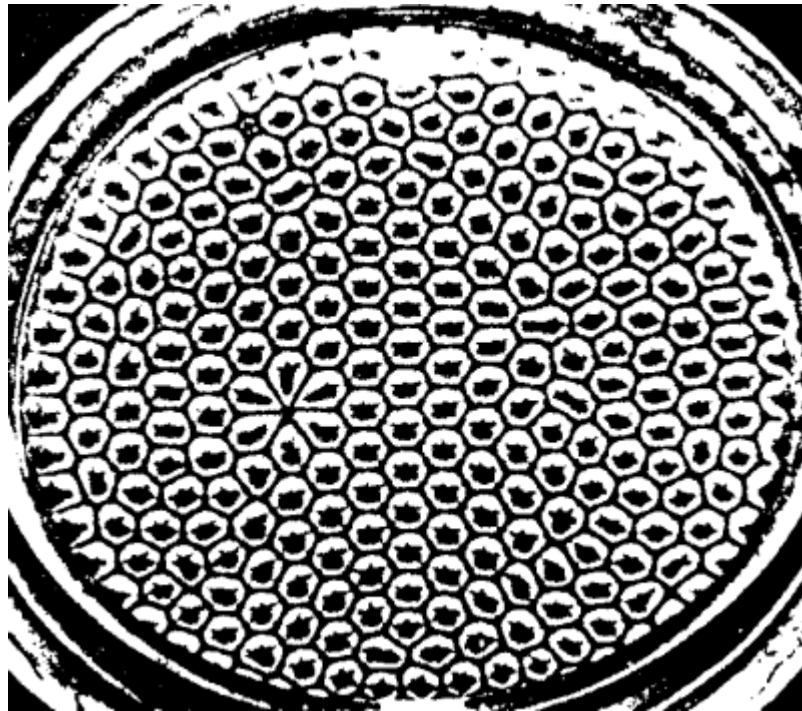
Die Forschung auf diesem Gebiet ist noch in vollem Gange, bisher zeichnet sich folgendes Bild ab: Wenn ein System (wie z.B. eine Schale voll Wasser) daran gehindert wird, das thermodynamische Gleichgewicht (also eine Gleichverteilung der Temperatur) zu erreichen, sondern im Gegenteil durch ständige Zufuhr von niedriger Entropie (indem die Unterseite auf einer Kochplatte steht, die Oberseite aber Wärme an den umliegenden Raum abgeben kann) in weite Ferne vom Gleichgewicht gebracht wird, so können sich spontan makroskopische Strukturen herausbilden (Bénard- Zellen, vgl. Abb. 1). Dieses Prinzip wird allgemein für die Entstehung komplexer Strukturen verantwortlich gemacht, auch für die Entstehung des Lebens an sich.

Nach Prigogine und Nicolis⁵⁷ ist Stabilität im herkömmlichen bzw. einfachen Sinne ein Zustand, der sich durch das Anwachsen der Entropie ergibt. Stabilität wird als Gleichgewichtszustand verstanden. Im selben Sinne wird Stabilität auch bei statischen ökonomischen Modellen verstanden, in denen z.B. das Marktgleichgewicht den stabilen Punkt darstellt. Dissipative Strukturen weisen aber eine andere Form von Stabilität auf, die Prigogine als „Strukturstabilität“ bezeichnet. Strukturstabilität bildet sich fern vom thermodynamischen Gleichgewicht, wenn das System durch ständigen „Nachschub“ an konzentrierter Energie daran gehindert wird, das Gleichgewicht zu erreichen.

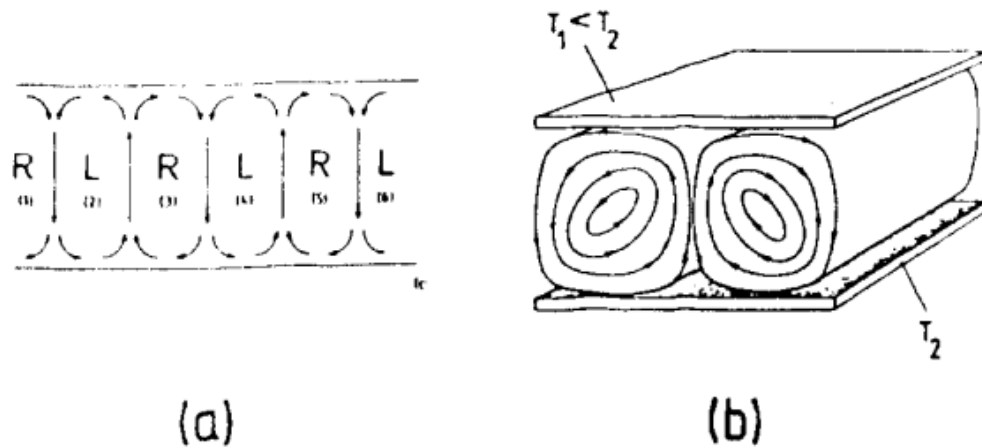
In diesem Zusammenhang ist zwischen lokaler und globaler Stabilität zu unterscheiden. Globale Stabilität ist als Gleichgewichtszustand, lokale Stabilität als Strukturstabilität fern vom Gleichgewicht zu verstehen. „Global“ bezieht sich hierbei auf isolierte (abgeschlossene) thermodynamische Systeme. Allerdings ist mit dieser Unterscheidung nicht gemeint, daß nicht innerhalb eines abgeschlossenen Systems viele lokale Gleichgewichte über lange Zeiträume existieren können.

⁵⁶ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.68.

⁵⁷ Vgl. Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya: Die Erforschung des Komplexen – Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften. Deutsche Übersetzung von Rainer Feistel und Eckhard Rebhan, München, Zürich 1987, S.99- 100.

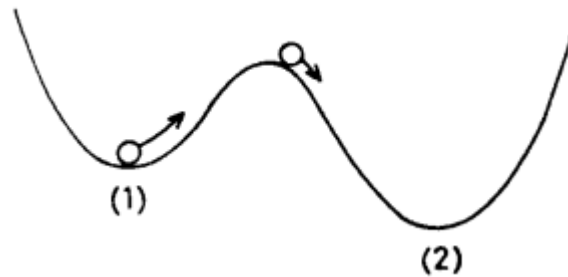


Räumliches Muster von Konvektionszellen in einer von unten erhitzten Flüssigkeit (von oben gesehen).



Zwei verschiedene Ansichten von Konvektionszellen (Bénard-Zellen). Man beachte den unterschiedlichen Rotationssinn benachbarter Zellen.

Abb. 1: Bénard-Zellen (Quellen: Photographie aus Prigogine, Ilya: a. a. O., S.103; Zeichnung aus Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya: a. a. O. S.24)



Globale und lokale Stabilität. Ein Massenpunkt, der sich im Tal (1) bewegt, wird je nach dem, ob seine kinetische Energie zu klein ist oder einen gewissen Schwellenwert übersteigt, entweder in Tal (1) bleiben oder aber in Tal (2) hinüberwechseln.

*Abb. 2: Globale und lokale Stabilität.
(Quelle: Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya: a. a. O. S.106)*

In der Strukturstabilität, die z.B. in Verbindung mit dem Eigenschen Hyperzyklus zu beobachten ist, erkennt Prigogine⁵⁸ die Idee der Innovation, des Auftretens von Neuem. Für Prigogine bedeutet Innovation das Auftreten eines neuen Mechanismus, einer neuen Art,⁵⁹ die ursprünglich in dem System nicht vorhanden war. Strukturstabilität bedeutet, daß Fehler korrigiert werden bzw. das System robust auf Fehler reagiert. Der Eigensche Hyperzyklus ist ein Prozeß der zyklischen Katalyse, bei der Nukleotide Proteine produzieren und die Proteine wiederum Nukleotide. In der Strukturstabilität wird zwar gerade das Gegenteil von Innovation wirksam, aber Innovation ist eben nicht dauernd chaotisch Neues, sondern eine Weiterentwicklung. Das bedeutet, daß die Zustände von denen und zu denen sich Entwicklung zeigt, in irgendeiner Weise stabil sein müssen.⁶⁰

Das Bild der Welt, das durch die Erforschung dissipativer Strukturen vermittelt wird, steht in einem Gegensatz zu dem früheren physikalischen Weltbild. Prigogine und Stengers⁶¹ bezeichnen den Laplaceschen Dämon als Symbol für die Art der Beschreibung in der physikalischen Teildisziplin Dynamik. Der Laplacesche Dämon ist ein gedachter Dämon, der modern ausgedrückt mit vollkommener Information und unbegrenzter Informationsverarbeitungskapazität ausgestattet ist. In

⁵⁸ Vgl. Prigogine, Ilya: a. a. O., S.122.

⁵⁹ „Art“ im biologischen Sinne.

⁶⁰ Vgl. dazu auch: Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.188.

⁶¹ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.81.

der ursprünglichen Formulierung war gefordert, daß er in einem bestimmten Augenblick die Lage und Geschwindigkeit aller Massen im Universum beobachten kann. In der Welt der Dynamik bzw. der Newtonschen Mechanik hat dieser Dämon damit Kenntnis von allem, was jemals geschah, was im Moment geschieht und insbesondere auch von allem, was jemals geschehen wird, da in dieser Welt kein Zufall existiert. Die Welt der Dynamik bzw. der Newtonschen Mechanik ist eine vollkommen deterministische Welt. Die Konsequenzen hieraus formulieren Prigogine und Stengers⁶² folgendermaßen:

„Wenn die Welt wirklich derart beschaffen ist, daß ein Dämon – also letzten Endes ein Wesen wie wir, mit derselben Wissenschaft, aber mit schärferen Sinnen und größeren Rechenfähigkeiten – aufgrund der Beobachtung eines augenblicklichen Zustands ihre Zukunft und ihre Vergangenheit berechnen kann; wenn die Dynamik tatsächlich die Wahrheit der Natur enthält und wenn qualitativ nichts die einfachen Systeme, die wir zu beschreiben vermögen, von den komplexeren unterscheidet, für die es eines Dämons bedarf – dann ist die Welt nichts als eine ungeheure Tautologie, ewig und willkürlich, ebenso notwendig und absurd in jedem ihrer Details wie in ihrer Totalität.“

Die Betrachtung der dissipativen Strukturen zeigt, daß im Laufe des dauernden Niedergangs, wie er vom Entropiesatz beschrieben wird, Neues aufgebaut, Neues geschaffen wird, Neues im Sinne von Innovation. Geschaffen durch den Fluß der Entropie, fern vom thermodynamischen Gleichgewicht.

2.2.2 Deterministisches Chaos

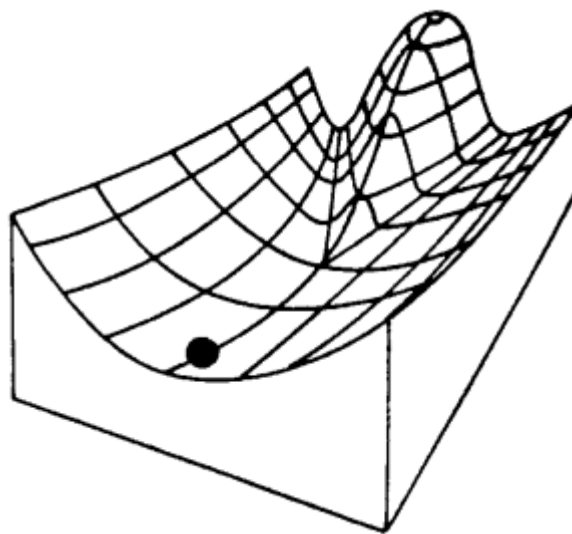
Die Forschung im Bereich der dissipativen Strukturen steht in enger Verbindung mit der sogenannten „Chaos-Forschung“, die sich mit Phänomenen beschäftigt, welche durch das Prinzip „kleine Ursache, große Wirkung“ gekennzeichnet sind. Auch mathematisch an sich einfach zu beschreibende Systeme können, wenn (wie z.B. bei der Entwicklung von Räuber-Beute Systemen in der Biologie⁶³) die Ergebnisse der „ersten Runde“ (des ersten Jahres) wiederum Ausgangspunkt der „nächsten Runde“ (des folgenden Jahres) sind, abhängig vom Wert der Parameter (wie z.B. Fortpflanzungsrate der Beute oder des Räubers) eindeutige, mehrdeutige

⁶² Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.84.

⁶³ Vgl. z.B. Bachmann, Klaus: Wenn Räuber Opfer ihrer Beute werden, in: GEO-Wissen Nr.2 (1990): Chaos und Kreativität vom 7.5.90 Hamburg 1990, S.88-96.

(oszillierende) oder scheinbar zufällige (chaotische) Grenzwerte (bzw. Grenzzyklen) aufweisen.

Im Laufe einer z.B. biologischen Entwicklung reagiert das System immer wieder sehr empfindlich auf geringfügige äußere Einflüsse, die im Rahmen der Newtonschen Mechanik vernachlässigbar wären. An solchen Stellen gabelt sich die mögliche Entwicklung des Systems in zwei Zweige. Wenn das System einen der Wege „gewählt“ hat, ist der andere nicht mehr erreichbar. Einen solchen Punkt in der Entwicklung bezeichnet man als Bifurkationspunkt.



Mechanische Veranschaulichung des Phänomens der Bifurkation.

Abb. 3: Bifurkation (Quelle: Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya: Die Erforschung des Komplexen, a. a. O., S.111)

Vergegenwärtigen kann man sich diesen Effekt z.B. durch eine Variation des bekannten Urnenmodells der Statistik,⁶⁴ (n Kugeln, $n/2$ rote, $n/2$ weiße). Werden aus der Menge von n Kugeln bei jeder Ziehung drei Kugeln gezogen, beim Zurücklegen aber drei Kugeln in der Farbe zurückgegeben, die bei den zuletzt gezogenen dominiert hat, so wird sich bei wiederholtem Ziehen ein Zustand einstellen, bei dem zuletzt nur noch Kugeln einer Farbe vorhanden sind, es kann aber jede der beiden Farben sein. Hierbei werden die Rahmenbedingungen, auf die das System

⁶⁴ In Anlehnung an: Faber, Malte / Proops, John L. R.: Time Irreversibilities in Economics: Some Lessons from the Natural Sciences. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 106) Heidelberg 1986, S.16.

empfindlich reagiert durch die zufällige Auswahl der ersten gezogenen Kugeln simuliert.

Prigogine und Stengers⁶⁵ weisen darauf hin, daß schon Maxwell die Bedeutung von singulären (Bifurkations-) Punkten erkannt und betont hat. Maxwell sieht ein Beispiel in dem Felsblock, den der Frost gelockert hat und der dadurch auf einem „singulären“ Punkt des Berghangs in der Schwebelage hängt oder auch in dem kleinen Funken, der den Waldbrand auslöst. Er sagt auch, daß alle großen Resultate, die von Menschen bewirkt wurden, darauf zurückzuführen seien, daß singuläre Punkte ausgenutzt wurden.⁶⁶

„Leider sind nichtchaotische Systeme äußerst selten, ungeachtet der Tatsache, daß unser physikalisches Weltbild weitgehend auf ihrer Erforschung aufbaut... Die Zufälligkeit galt jahrhundertlang als ein nützlicher, aber untergeordneter Bürger in einem deterministischen Universum. Die algorithmische Komplexitätstheorie und die nichtlineare Dynamik liefern zusammengenommen den Beweis, daß der Determinismus tatsächlich nur in einem ganz begrenzten Bereich Gültigkeit hat; außerhalb dieses kleinen sicheren Hafens der Ordnung erstreckt sich eine weitgehend unerforschte, riesige Ödnis des Chaos, in der der Determinismus zu einer flüchtigen Reminiszenz an Existenztheoreme verblaßt ist und nur die Zufälligkeit überlebt.“⁶⁷

Die Beschäftigung mit dissipativen Strukturen ist in den Naturwissenschaften vor allem von der Biologie aufgenommen worden, da sich ein neuartiger Ansatz zur Erklärung nicht nur von biochemischen Vorgängen, sondern auch der Wechselwirkungen z.B. in Biotopen, Ökosystemen kleineren und größeren Ausmaßes und sonstigen Systemen, die sich durch eine sichtbare Stabilität, die auf Antriebe nicht erklärbar scheint auszeichnen, abzeichnet.⁶⁸ Ansätze z.B. das Wetter bzw. das Klimageschehen besser zu verstehen sind weiterhin notwendig, wobei sich aus prinzipiellen Überlegungen bzw. Erfahrungen mit Modellen dissipativer Strukturen in etwa folgendes vermuten läßt: Ein System wie das Wetter bzw. das globale Klima ist in einem bestimmten Bereich relativ robust gegen Schwankungen, robu-

⁶⁵ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.80.

⁶⁶ Ebenda.

⁶⁷ Ford, Joseph: How random is a coin toss? in: Physics Today, April 1983, S.4; zitiert nach Davies, Paul: a. a. O., S.82.

⁶⁸ Vgl. hierzu Davies, Paul: a. a. O., S.56-64 sowie Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S. 186-187.

ster als auf Grund „zu einfacher“ Modelle zu vermuten wäre. Ab einem bestimmten Ausmaß der Variation der Parameter zeigen aber chaotische Systeme (und um ein solches handelt es sich hier) plötzliche sprunghafte Veränderungen der Ergebnisse, die insbesondere häufig irreversibel sind und sich dann einem neuen stabilen Punkt, einer Oszillation zwischen mehreren solcher Punkte nähern oder in völlig regelloses Verhalten abgleiten.

Die Stabilität des Klimas ist aber nach der sogenannten Gaia- Hypothese von Lovelock mit der gesamten Biosphäre und darüber hinausgehend auch mit z.B. der Gestalt der Erdoberfläche, also auch der Lithosphäre verwoben. So erklärt Lovelocks Hypothese zum Beispiel die Tatsache, daß die Temperatur auf der Erde seit sehr langer Zeit relativ konstant geblieben ist, gemessen an der Tatsache, daß die Leuchtkraft der Sonne im Laufe der Erdgeschichte um mehr als 30% zugenommen hat.⁶⁹ Das ist u.a. durch denselben Treibhauseffekt bedingt, dessen rapide Zunahme im Moment immer mehr Klimaforscher von einer drohenden Klimakatastrophe sprechen läßt. Durch den Treibhauseffekt gibt es eine Rückkopplung zwischen dem Wachstum von Sauerstoffatmern, Kohlendioxidatmern und der Temperatur, die (als ein Mechanismus unter mehreren) anscheinend bisher stabilisierend gewirkt hat.⁷⁰

Andererseits existieren auch umgekehrte Effekte im Bereich des Klimas, die eine Verstärkung von kleineren Störungen darstellen. So werden die drei hauptsächlichsten Abweichungen des Umlaufs der Erde um die Sonne, die von den einfachen „Lehrbuch“-Grundmodellen abweichen, für das periodische Auftreten der Eiszeiten verantwortlich gemacht. Es handelt sich hierbei um die Rotation der Erdatmosphäre, den Winkel der Erdatmosphäre zur Umlaufbahn um die Sonne sowie die Exzentrizität der Erdbahn. Diese Effekte variieren periodisch, wobei aber der direkte Effekt auf die Sonneneinstrahlung zu gering ist, den Umfang der Klimaänderungen während der Eiszeiten erklären zu können. Es findet vielmehr eine Verstärkung statt, die sich durch die komplexe Dynamik des „Klimasystems“ Erde ergibt. Ein mögliches Beispiel für diesen Verstärkungsmechanismus wird von

⁶⁹ Vgl. Davies, Paul: a. a. O., S.188.

Prigogine und Nicolis⁷¹ in der Wechselwirkung von Sonneneinstrahlung und den Eiskappen an den Polen gesehen. Da das Eis der Polkappen das Sonnenlicht sehr stark reflektiert, wird eine Ausbreitung der Eisfläche eine Verringerung der von der Erde aufgenommenen Wärmemenge bewirken. Das wiederum führt zu einer Abkühlung, die ein weiteres Anwachsen der Polkappen bewirkt: eine positive Rückkopplung. Dieses Phänomen ist selbstverständlich nur eines von vielen, die ineinander verzahnt gleichgerichtet und gegenläufig das gesamte Klimageschehen bilden.⁷²

2.3 Die verschiedenen Charaktere der Zeit

2.3.1 Reversible, symmetrische Zeit

Wie unter Punkt 2.1.2. schon erwähnt, wird mit dem Entropiegesetz eine Veränderung der Behandlung der Zeit in der Physik in Verbindung gebracht. Durch das Entropiegesetz wird das Phänomen der Irreversibilität in die naturwissenschaftliche Theorie eingeführt. Daher wird in den folgenden Abschnitten auf dieses Thema, nämlich die verschiedenen „Charaktere“ der Zeit, näher eingegangen.

Prigogine und Stengers⁷³ weisen darauf hin, daß bei allen Begründern der Dynamik, so z.B. Galilei und Huyghens die Reversibilität der Trajektorien⁷⁴ unterstellt wurde. Zur Demonstration der Äquivalenzbeziehung zwischen Ursache und Wirkung beschworen sie einen imaginären Vorgang herauf, den man sich am besten als einen vollkommen elastischen Ball vorstellt, der vom Boden zurückspringt. Vollkommen elastisch bedeutet hierbei, daß keinerlei Energie dissipiert wird, d.h. man den Ball wieder auf exakt der gleichen Höhe auffangen kann, nachdem man ihn (ohne Schwung) fallengelassen hat, ein Vorgang, der in der Realität unmög-

⁷⁰ Vgl. hierzu auch Haaf, Günther: Auf den Spuren von Gaia, in: GEO-Wissen Nr.2: Klima, Wetter, Mensch vom 30.11.87 Hamburg 1987, S.56-61.

⁷¹ Vgl. Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya: Die Erforschung des Komplexen, a. a. O., S.64.

⁷² Ebenda, S.63-65.

⁷³ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.67.

⁷⁴ Eine Trajektorie ist im Rahmen der Newtonschen Mechanik die Bahn eines Punktes, dessen Bewegung bestimmt ist, wie z.B. die Bahn eines geworfenen Körpers. vgl. Brockhaus' Konversations-Lexikon, a. a. O., Bd.15 S.943.

lich ist. Sie dachten sich die Geschwindigkeit des sich bewegenden Körpers als augenblicklich umkehrbar und beschrieben seine Rückkehr in seine Ausgangsposition. Ebenso sind alle Vorgänge in der Welt der Newtonschen Mechanik zeitlich vollständig umkehrbar, d.h. reversibel. Dies gilt sogar noch für quantenmechanische Beschreibungen subatomarer Vorgänge.

Wenn die Physik diese Modelle auch erfolgreich einsetzen konnte, so unterschlagen sie doch eine der einfachen Alltagserfahrung zugängliche Eigenschaft der realen Welt, nämlich die Tatsache, daß diese eben praktisch niemals reversibel erscheint. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß eine reversible Bewegung im Rahmen der Thermodynamik bedeutet, so Georgescu-Roegen, daß nicht nur die Bewegung, sondern auch alles in ihrer Umgebung wieder rückgängig gemacht werden kann.⁷⁵

Reversible Vorgänge sind zeitlich symmetrisch, d.h. sie sind quasi „an der Zeitachse spiegelbar“, ohne daß die Beschreibung, die sich ergibt, irgendwelche Bedingungen verletzen, ungültig werden würde. Vergangenheit und Zukunft sind austauschbar. Fällt „Newtons Apfel“ vom Baum, so ist es im Rahmen der Newtonschen Mechanik möglich, daß sich am Boden ein „perfektes Trampolin“ befindet, das den Apfel wieder auf exakt die gleiche Höhe zurückwirft. Filmt man diesen Vorgang und betrachtet den Film, so ist nicht zu entscheiden, ob der Film normal vorgeführt oder rückwärts abgespult wird.

Die Gleichungen der Newtonschen Mechanik behalten ihre Gültigkeit, wenn das „Vorzeichen der Zeit“, also das Vorzeichen der die Zeit beschreibenden Variablen umgekehrt wird. D.h. sie haben wiederum gültige (d.h. mögliche) Lösungen.⁷⁶

Rifkin⁷⁷ betont, daß die Newtonsche Physik und somit auch der Gedanke, alles sei „eigentlich“ reversibel, unser Weltbild in sehr starkem Maße geprägt hat und immer noch prägt. Dies führt zu Problemen, wenn intuitiv, „aus dem Bauch heraus“,

⁷⁵ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, in: Southern Economic Journal, Vol. 45 (1978-79), Nr. 3,4, S.1023-1058, hier S.1032.

⁷⁶ Vgl. z.B. Prigogine, Ilya: a. a. O., S.11.

⁷⁷ Vgl. Rifkin, Jeremy: Entropie – Ein neues Weltbild. (Entropy. A New World View, deutsch.) Deutsche Übersetzung von Christa Falk und Walter Fliss, Hamburg 1982, S.15.

Entscheidungen getroffen werden. Diese Entscheidungen haben dadurch eine Tendenz, in ihrer Tragweite unterschätzt zu werden. Auf diesen Punkt wird am Ende dieser Arbeit nochmals zurückzukommen sein.

2.3.2 Irreversibilität bzw. zeitliche Asymmetrie

Das Entropiegesetz bedeutet in der Entwicklung der Physik einen wichtigen Schritt, weil durch das Entropiegesetz zum ersten Mal in einem physikalischen Konzept eine sinnvolle zeitliche Ausrichtung auftritt. Das Entropiegesetz zeigt eine Richtung, in der Prozesse ablaufen können, insbesondere im Gegensatz zu der direkten zeitlichen Umkehrung, in der eben derselbe Prozeß nicht laufen kann. Für Systeme, wie sie durch die Newtonsche Mechanik beschrieben werden, gibt es solch eine eindeutige Richtung nicht.⁷⁸ Prigogine hat die Zeit als „die vergessene Dimension“⁷⁹ bezeichnet, wegen der Bedeutungslosigkeit, zu der das newtonsche Weltbild sie verurteilt hat. Davies⁸⁰ weist darauf hin, daß die Beobachtung das subjektive Gefühl einer eindeutigen Richtung der Zeit unterstützt. Er erwähnt hierzu das Beispiel eines rückwärts abgespulten Films, an dem man erkennen kann, daß alltägliche physikalische Vorgänge zeitlich asymmetrisch sind. Diese Asymmetrie wird durch den Begriff des „Pfeils der Zeit“ symbolisiert.⁸¹ Davies führt weiter aus, daß die Irreversibilität nahezu sämtlicher Naturerscheinungen eine grundlegende Erfahrungstatsache ist, wie man schon an der Vorstellung ablesen kann, z.B. die Milch aus einem Kaffee wieder „herauszurühren“ oder ein zerbrochenes Ei wieder zu „reparieren“⁸² (insbesondere ohne dem Küken zu schaden).

Prigogine und Stengers erwähnen weitere ähnlich gelagerte Beispiele,⁸³ die zeigen, wie absurd Reversibilität erscheint, wenn man versucht, sie sich bildlich vor-

⁷⁸ Vgl. zum Stichwort „Irreversibilität“ u.a. Prigogine, Ilya: a. a. O., S.240; zum Stichwort „zeitliche Asymmetrie“ u.a. Davies, Paul: a. a. O., S.26-27; zu den Stichworten „Entropie, Symmetriebruch und Ökonomie“ auch Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.193.

⁷⁹ Prigogine, Ilya: a. a. O., S.11.

⁸⁰ Vgl. Davies, Paul: a. a. O., S.26.

⁸¹ Davies, Paul: a. a. O., S.27.

⁸² Vgl. Davies, Paul: a. a. O., S.27.

⁸³ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.68.

zustellen: Das sich Zurückbilden eines Streichholzes aus einer „rückwärts“ brennenden Flamme. Das Sich-wieder-Zusammenfügen z.B. eines heruntergefallenen und deswegen zerbrochenen Tintenfassens, nachdem die Tinte wieder in es zurückgeflossen ist, wie auch das Bild von Zweigen, die sich verjüngen und wieder zu Schößlingen werden.

Aus diesen Beispielen, die an sich jedem unmittelbar einleuchten, deren Absurdität jedem unmittelbar bewußt ist, folgert Georgescu- Roegen: „Actual phenomena move in a definite direction and involve qualitative change.“⁸⁴

Analog zum oben (Gliederungspunkt 2.3.1.) erläuterten Begriff der zeitlichen Symmetrie von reversiblen Vorgängen kann man irreversible Vorgänge als zeitlich asymmetrisch charakterisieren. Durch das Auftreten einer irreversiblen Veränderung wird die zeitliche Symmetrie gebrochen. In der Newtonschen Mechanik existiert, wie oben schon ausgeführt, eine zeitliche Symmetrie. Im Rahmen des Entropiegesetzes hingegen ist die Zeit nicht symmetrisch, da von vielen Ausgangskonstellationen aus derselbe Gleichgewichtszustand erreicht wird. Das System „vergißt“ seine Ausgangsbedingungen.

2.3.3 Die zwei Pfeile der Zeit

Systeme, für deren Beschreibung die Newtonschen Mechanik benutzt werden kann (Stichwort: reversible Zeit), beinhalten zu einem Zeitpunkt ihre gesamte Vergangenheit und ihre gesamte Zukunft; d.h. beides läßt sich aus dem momentanen Zustand bestimmen. Dazu genügt es, den Zustand des Systems mit einer ausreichenden Genauigkeit zu kennen, Randbedingungen können vernachlässigt werden, da „kleine Ursachen“ nur „kleine Wirkungen“ hervorrufen.

(Isolierte) Systeme, die durch das Entropiegesetz beschrieben werden (erster Pfeil der Zeit), haben in jedem Zeitpunkt eine feststehende Zukunft, nämlich das Erreichen der maximalen Entropie. Ihre Vergangenheit läßt sich aus dem momentanen Zustand aber nicht mehr rekonstruieren, das System vergißt seine Vergangenheit. Zur Zeit ist eine Beschreibung solcher Systeme vor allem auf statistischer Basis

⁸⁴ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.351.

möglich. Auch hierbei genügt es die relevanten Parameter mit ausreichender Genauigkeit zu kennen, Randbedingungen können vernachlässigt werden.

Offene oder geschlossene Systeme (also solche, die Energie mit ihrer Umgebung austauschen können), die einem ständigen „Nachschub“ von Materie und/oder Energie ausgesetzt sind und somit jenseits eines Gleichgewichtszustands, „fern vom Gleichgewicht“, gehalten werden, können, müssen aber nicht, ein plötzliches Auftauchen von Strukturen, von Organisation aufweisen. Diese „dissipativen Strukturen“ haben außerhalb von Labors eine vom Menschen nicht vorausbestimmbare Zukunft, denn für eine Beschreibung der Entwicklung ist die genaue Kenntnis der Parameter, und das heißt in diesem Fall auch der Randbedingungen, notwendig.

Faber und Proops⁸⁵ erinnern daran, daß das Entropiegesetz als Quelle der Irreversibilität betrachtet wird. Allerdings zeigt die Erfahrung, daß es um uns herum nicht nur Abstieg und Niedergang, sondern auch Aufbau von Organisation und das Auftauchen von Neuem gibt. Es gibt also zwei „Pfeile der Zeit“, den „abwärts“ zeigenden des Entropiegesetzes und den „aufwärts“ zeigenden, der mit dem Begriff „dissipative Strukturen“ verbunden werden kann.

Das Entropiegesetz, das die Irreversibilität der Dissipation der Energie ausdrückt, vermittelt, wird es in den Vordergrund der Betrachtung des Naturgeschehens gestellt, eine pessimistische Sichtweise. Ausdruck dieser Sicht ist der in der Einleitung erwähnte Begriff des „Grundgesetz vom Niedergang“. Diese Sichtweise wird durch den Ansatz, der unter dem Stichwort „dissipative Strukturen“ bekannt geworden ist, mit einem positiveren, optimistischeren Gegenstück versehen. Es wird ein optimistischer „Pfeil der Zeit“⁸⁶ vorgestellt, der ein „Fortschreiten“⁸⁷ zu mehr Struktur, Organisation und Komplexität repräsentiert⁸⁸ – oder, wie Davies es ausdrückt:

⁸⁵ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: Time Irreversibilities in Economics: Some Lessons from the Natural Sciences, a. a. O., S.12.

⁸⁶ Vgl. Davies, Paul: a. a. O., S.35.

⁸⁷ Ebenda.

⁸⁸ Ebenda.

„Der optimistische und der pessimistische Pfeil der Zeit können nebeneinander existieren: Auch angesichts des zweiten Hauptsatzes [und im Lichte der Erkenntnisse Prigogines möchte man hinzufügen: gerade wegen!] vermag das Universum schöpferischen Fortschritt in einer Richtung zu entfalten.“⁸⁹

⁸⁹ Davies, Paul: a. a. O., S.123.

3 Ökonomische Ansätze zur Berücksichtigung dieser physikalischen Grundlagen

3.1 Entropie als Grenze der wirtschaftlichen Aktivität

3.1.1 Geschichtlicher Überblick

Die Themen Rohstoffknappheit und Grenzen des Wachstums sind in der ökonomischen Theorie nicht neu.⁹⁰ Aufgrund der nicht allzu verlockend klingenden, von ihr verkündeten Prognosen wurde die Ökonomie schon früh als „dismal science“, als „Wissenschaft der Trübseligkeit“⁹¹ bezeichnet. Unter diesem Aspekt wäre hier z.B. Malthus mit seiner Feststellung zu erwähnen, daß es zwangsweise zu Hungersnöten kommen müsse, da der Zuwachs bei der Nahrungsmittelproduktion linear, bei der Bevölkerung aber exponentiell sei. Weiter kann man Ricardo anführen, der betonte, daß die guten Böden selbstverständlich als erste bearbeitet würden, woraus man schließen müsse, daß der Ertrag der später in Bearbeitung genommenen Böden niedriger sein werde, wodurch mehr Menschen schwerer für ihre Versorgung mit dem Notwendigsten arbeiten müßten. Auch Jevons soll hier noch genannt werden, der in seinem Buch „The Coal Question“ das Ende des wirtschaftlichen Wachstums auf die abzusehende Erschöpfung der Energiebasis des damaligen Englands, der Kohle, zurückführt.⁹²

Nebenbei sei bemerkt, daß Daly die These vertritt: „Malthus hatte recht“. Er erläutert, daß sich zwar die Malthusschen Prognosen in den Industrienationen nicht bewahrheitet haben, weil das Bevölkerungswachstum aus anderen Gründen zu-

⁹⁰ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, Tübingen 1978, S.143.

⁹¹ Ebenda.

⁹² Vgl. hierzu auch: Siebert, Horst: Ökonomische Theorie natürlicher Ressourcen, Tübingen 1983, S.58; Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.144; Faber, Malte / Proops, John L. R.: Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists: Retrospect and Prospect. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 97), Heidelberg 1985, S.4.; Herrera, Amílcar O. u. a.: Grenzen des Elends; das Bariloche-Modell: So kann die Menschheit überleben. (Catastrophe o Nuevo Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano, deutsch). Deutsche Übersetzung von Otto Janic, Frankfurt am Main 1977, S.36,65.

rückging, in der dritten Welt allerdings sei eben genau das Zutreffen von Malthus Thesen zu beobachten.⁹³

Auch bei Keynes finden sich Aussagen über die irreversible Natur der Ressourcennutzung:

„... – if a ton of copper is used up to-day it cannot be used to-morrow, and the value which the copper would have for the purposes of to-morrow must clearly be reckoned as a part of marginal cost.“⁹⁴

Diefenbacher vertritt die These, Ökologie sei eigentlich in Wirklichkeit Langzeit-Ökonomie.⁹⁵ Die Begründung für diese These sieht er in der Tatsache, daß es ökonomisch nicht sinnvoll sein kann, die Grundlagen des Lebens und damit auch des Wirtschaftens zu zerstören. Er zeigt auf, wo der Ökonomie seiner Ansicht nach ihr Instrumentarium zur Darstellung dieses Zusammenhangs abhanden gekommen ist. Er erinnert daran, daß Quesnay und Turgot der Natur einen zentralen Stellenwert im Produktionsprozeß eingeräumt haben. Für sie war die einzige Quelle wirklicher Produktion das, was die Natur dem Menschen schenkt, der Ertrag des Bodens. In ihrem Gedankengebäude produzierte also letztendlich nur die Natur.⁹⁶ Zu diesem doch recht extremen Standpunkt entstand bei den Merkantilisten eine Gegenposition, bei der die Quelle des Reichtums in der Arbeit der Bevölkerung gesehen wurde; und daraus wurde im weiteren auch gefolgert, daß der Reichtum des Landes also durch eine Vermehrung der Bevölkerung zu mehren sei.⁹⁷

Durch die im weiteren Verlauf der Entwicklung der ökonomischen Theorie erfolgte Einführung der Idee des Kapitals wurde es möglich den Faktor Boden als einen Bestandteil des Kapitals anzusehen. Dadurch findet, wie Binswanger⁹⁸ es

⁹³ Vgl. Daly, Herman E.: *Steady-state economics*, San Francisco 1977; vgl. dazu auch Herrera, Amílcar O. u. a.: a. a. O., S.36.

⁹⁴ Keynes, John Maynard: *The General Theory of Employment Interest and Money*, New York 1935, S.73.

⁹⁵ Vgl. Diefenbacher, Hans: *Natur und ökonomische Theorie – Anmerkungen zu einem gestörten Verhältnis*, in: *Universitas* Nr.11 1986, S.1101-1109, hier S.1101.

⁹⁶ Vgl. Diefenbacher, Hans: a. a. O., S.1104.

⁹⁷ Ebenda, S.1105.

⁹⁸ Zitiert nach: Diefenbacher, Hans: a. a. O., S.1107.

ausdrückt, ein „alchimistischer Verwandlungsprozeß von Natur in Geld“ statt, der das theoretische Bild der Ökonomie, da das Kapital über alle Grenzen wachsen kann, einer Widerspiegelung aller natürlichen Grenzen beraubt.

Binswanger führt weiter aus:

„Diese [auf die Faktoren Arbeit und Kapital] reduzierte Produktionsfunktion hat Keynes von Clark übernommen, direkt oder indirekt, und von Keynes hat es die moderne Wachstumstheorie übernommen (gleichgültig ob es sich um die postkeynesianische oder die neoklassische Version handelt).“⁹⁹

Prigogine und Stengers¹⁰⁰ bezeichnen es als „amüsante Tatsache“, daß zur selben Zeit, als Adam Smith an seinem Werk „An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations“ arbeitete, James Watt an der gleichen Universität dabei war, letzte Hand an seine Dampfmaschine zu legen. Diese gilt bekanntermaßen als einer der Grundpfeiler der industriellen Revolution und eröffnete insbesondere nicht nur fossilen Brennstoffen einen neuen Anwendungsbereich, sondern ermöglichte auch erst die verstärkte Nutzung der Kohle als ersten nennenswerten fossilen Brennstoff. Für Adam Smith war der Nutzen der Kohle noch auf Heizwärme für die Arbeiter beschränkt. Auch die Grundlagen der Thermodynamik wurden, wie weiter oben schon erwähnt, am Beispiel der Dampfmaschine entwickelt. Dies wird von Prigogine und Stengers¹⁰¹ mit dem natürlicherweise aufkeimenden Interesse an diesem neuen Antriebsmittel in Verbindung gebracht. Sie¹⁰² sehen den fundamentalen Unterschied zwischen der Dampfmaschine als Wärmekraftmaschine und den vorher bekannten mechanischen Apparaten darin, daß die Wärmekraftmaschine Bewegung erzeugt und nicht nur umsetzt.

Georgescu-Roegen vertritt die Ansicht, die Ökonomen hielten seit hundert Jahren an der Mechanik als Vorbild für die Betrachtungsweise und das Werkzeug der Neoklassik fest.¹⁰³ Er sieht im Hinterkopf fast jedes Ökonomen den Erfolg von Leverrier und Adams, der ein Erfolg der Newtonschen Mechanik war, die den

⁹⁹ Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, a. a. O., S.150.

¹⁰⁰ Vgl. Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.111.

¹⁰¹ Ebenda, S.112.

¹⁰² Ebenda, S.114.

¹⁰³ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.347.

Planeten Neptun „auf dem Papier“ entdeckten, durch eine „paper-and-pencil operation“,¹⁰⁴ indem sie Unregelmäßigkeiten der Umlaufbahnen der anderen Planeten zu erklären versuchten.¹⁰⁵ Welch wunderbarer Gedanke für den Ökonomen, so Georgescu-Roegen, den Preis einer Aktie morgen oder noch besser in einem Jahr nur auf dem Papier vorausbestimmen zu können.

Dadurch fasziniert, wurde versucht, den Wirtschaftsprozeß nach demselben Muster zu erklären, nach dem Newton die Planetenbahnen erklärt hat: mechanistisch. Das führte dazu, daß die neoklassische Beschreibung des Wirtschaftsgeschehens, des Marktgleichgewichts, an ein Pendel erinnert, das, angestoßen, immer wieder in seine Ruhelage (das Marktgleichgewicht) zurückkehrt.¹⁰⁶ Ein Börsencrash, eine Inflation hat keinerlei Wirkung auf lange Sicht. Ist die Störung ausgeklungen, ist alles wie zuvor. Vollständige Reversibilität kennzeichnet, wie in der klassischen Mechanik, die Beschreibung. Selbstverständlich ist die Wirklichkeit nicht so; das Problem beginnt dort, wo die „mechanistische“ Analyse den Blick auf Wesentliches verstellt.

Georgescu-Roegen erwähnt als Beispiel für eine solche „mechanistisch“ geprägte Einschränkung der Betrachtung den Umlauf des Geldes. Selbst dieser stellt nämlich keinen Kreislauf dar, da die physischen Gegenstände, die Geld repräsentieren, z.B. Münzen und Banknoten sich abnutzen und regelmäßig ausgetauscht werden müssen. Dieser Austausch muß im Endeffekt aus der „Umwelt“ (im weitesten Sinne) des ökonomischen Systems gespeist werden.¹⁰⁷

Er zitiert Pigou mit den Worten: „In a stationary state factors of production are stocks, unchanging in amount, out of which emerges a continuous flow, also unchanging in amount, of real income.“,¹⁰⁸ um zu zeigen, daß der Gedanke eines konstanten Stromes, der von einem konstanten Bestand, d.h. einer sich nicht verändernden Struktur gespeist wird, weit verbreitet war. Georgescu-Roegen weist

¹⁰⁴ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.348.

¹⁰⁵ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.348.

¹⁰⁶ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.348.

¹⁰⁷ Ebenda.

¹⁰⁸ Ebenda.

darauf hin, daß sich ein solcher Gedanke auch bei Marx wiederfindet. Dieser Gedanke widerspricht dem Gesetz von der Erhaltung der Masse und Energie, da nach diesem Gesetz kein konstanter Strom aus einem konstanten Bestand gespeist werden kann, da das Volumen des Bestands durch die Entnahme zwangswise abnehmen muß. Das Problem der Quelle des Stromes wird letztlich ignoriert. Hierin sieht Georgescu-Roegen die Ursache eines ökonomischen „Mythos“, der auch von Ökologen und ökologisch orientierten Ökonomen übernommen wurde, nämlich einen „steady-state“ im Sinne Dalys (siehe unten) als ewig möglich, als „Beendigung des Ökologischen Konflikts der Menschheit“¹⁰⁹ anzusehen. Er zählt auch Daly zu dieser Richtung, was aber nur teilweise berechtigt ist, wie aus der weiter unten erfolgenden Darstellung von Dalys Gedanken hervorgeht.

Den ökonomischen Prozeß durch ein mechanistisches Modell erklären zu wollen, impliziert, daß es sich dabei um einen Reigen handelt, der, ewig um sich selbst kreisend, die physische Umwelt nicht berührt. In einem solchen Modell ist es selbstverständlich nicht nur vernachlässigbar, sondern auch unnötig, die Umwelt in das analytische Abbild des Prozesses aufzunehmen. Georgescu-Roegen sagt, daß unter Maßgabe dieser Sichtweise die Aussage von Sir William Petty, daß Arbeit der Vater und die Natur die Mutter des Wohlstands sei, den Status eines Museumsstücks bekommen hat.¹¹⁰

Auch Leipert¹¹¹ äußert sich sehr kritisch über die neoklassische Sicht des Wirtschaftsgeschehens. Er zielt dabei weniger auf die physikalischen Grundlagen als vielmehr auf die starke Idealisierung bei dem gedanklichen Konstrukt des „homo oeconomicus“ ab, das wichtige Aspekte des Menschen unterschlägt.¹¹² Er führt als einen dieser Aspekte vor allem auch die Willensfreiheit, sich anders, als durch die Anreize gesteuert, zu entscheiden, an. Weiterhin kritisiert er die Neutralität gegenüber Verteilungsfragen¹¹³ in der ökonomischen Theorie. Er spricht, sich auf

¹⁰⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.349.

¹¹⁰ Ebenda, S.350.

¹¹¹ Vgl. Leipert, Christian: Ist „humaner Wohlstand“ möglich? in: Universitas Nr.11 1986, S.1110-1120, hier S.1110.

¹¹² Vgl. Leipert, Christian: a. a. O., S.1111.

¹¹³ Ebenda, S.1112.

die Diskrepanz zwischen der Komplexität der realen Welt und der idealisierten ökonomischen Betrachtungsweise beziehend, von einer faktischen Erschleichung normativer Beratungskompetenz durch die Ökonomie.¹¹⁴

Zur Frage der Bewertung von Einkommensverteilungen führt Georgescu-Roegen aus,¹¹⁵ daß es drei verschiedene Sorten von menschlichen Bedürfnissen gibt: biologische Bedürfnisse mit der gleichen Hierarchie für alle Menschen, soziale Bedürfnisse mit der gleichen Hierarchie für alle Mitglieder der gleichen Gesellschaft und persönliche Bedürfnisse ohne uniforme Hierarchie. Die verschiedenen Arten von Bedürfnissen sind inkommensurabel. Leipert¹¹⁶ weist darauf hin, daß auch Keynes eine Unterscheidung zwischen sättigbaren Grundbedürfnissen und nicht sättigbaren Statusbedürfnissen trifft. Weiter verweist er auch auf Kapp,¹¹⁷ der ein Konzept menschlicher Minimal- oder Grundbedürfnisse vorschlägt, ähnliches wird weiter unten auch bei der Behandlung von Dalys Idee einer steady-state-economy vorgestellt.

Viele entropieorientierte Ökonomen verleihen ihrer Ansicht Ausdruck, die Ökonomie habe sich in ihren Werkzeugen verrannt, betreibe Mathematik um der Mathematik willen, nicht mehr um wirkliche Probleme zu lösen. Denn eine wirkliche Problemlösung würde voraussetzen, daß wichtige Rahmengengebenheiten mit in die (mathematischen) Modelle aufgenommen werden. Im Entropiegesetz sehen z.B. Daly, Georgescu-Roegen, aber auch Binswanger oder Faber solche Rahmenbedingungen. Auch Leipert¹¹⁸ erklärt: „Die naturwissenschaftlich einzig fundierte Grundlegung der Beziehungen zwischen Ökonomie und Ökologie besteht in der Erkenntnis des grundsätzlich entropischen Charakters des Wirtschaftsprozesses.“ und: „Durch den Wirtschaftsprozess steigt mithin die Entropie auf der Erde irreversibel an.“

¹¹⁴ Ebenda.

¹¹⁵ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Choice, Expectations and Measurability, in: Quarterly Journal of Economics, 68/1954, S.503-534; vgl. auch Leipert, Christian: a. a. O., S.1114.

¹¹⁶ Vgl. Leipert, Christian: a. a. O., S.1115.

¹¹⁷ Ebenda, S.1116.

¹¹⁸ Leipert, Christian: a. a. O., S.1117.

Daly bemerkt mit ironischem Unterton, die Ökonomie habe bei der Diskussion von Hyperflächen im n-dimensionalen Raum einige biophysikalische und moralische (ethische) Fakten übersehen.¹¹⁹

Auch Wiener äußert sich ähnlich:

„The succes of mathematical physics led the social scientist to be jealous of its power without quite understanding the intellectual attitudes that had contributed to this power. The use of mathematical formulae had accompanied the development of the natural sciences and become the mode in the social sciences. Just as primitive peoples adopt the western modes of denationalized clothing and of parliamentarism out of a vague feeling that these magic rites and vestments will at once put them abreast of modern culture and technique, so the economists have developed the habit of dressing up their rather imprecise ideas in the language of the infinitesimal calculus. ... To assign what purports to be precise values to such essentially vague quantities is neither useful nor honest, and any pretense of applying precise formulae to these loosely defined quantities is a sham and a waste of time.“¹²⁰

3.1.2 Nullwachstum wegen Energiemangels?

Im folgenden wird der Standpunkt skizziert, der in den ökonomischen Arbeiten zum Ausdruck kommt, die mit einem starken Augenmerk auf dem Entropiegesetz versuchen, dessen Auswirkungen auf ökonomische Fragestellungen aufzuzeigen. Eine solche Darstellung kann im Rahmen einer solchen Arbeit selbstverständlich nur relativ grob sein. Es wird aber versucht, die mit dem Entropiegesetz in Verbindung stehenden Kernaussagen herauszuarbeiten.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, sind viele dieser Versuche zeitlich in der Folge der „Ölkrise“ und der Studie „Grenzen des Wachstums“ einzuordnen. Daher und auf Grund des Charakters des Entropiegesetzes werden vor allem Aussagen über die Möglichkeit zukünftigen (wirtschaftlichen) Wachstums gemacht.

Dabei wird in etwa wie folgt argumentiert:¹²¹

¹¹⁹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.3.

¹²⁰ Wiener, Norbert: God and Golem, Cambridge/Mass. 1964, S.89; zitiert nach: Daly, Herman E.: a. a. O., S.4.

¹²¹ So z.B. bei Daly und Georgescu-Roegen.

Das eigentliche Vermögen, die eigentliche Basis alles Wirtschaftens, aller im Wirtschaftsprozeß erzeugten physischen Güter ist niedrige Entropie, als Materie oder Energie manifestiert.¹²² Materie- Energie¹²³ mit niedriger Entropie steht uns in zwei Formen zur Verfügung: als Bestand (Ressource) auf der Erde und als „Fluß“ von der Sonne. Der irdische Bestand teilt sich auf in einen „kurzfristig“, d.h. in vom Menschen überschaubaren Zeiträumen erneuerbaren Bestand, und in einen „langfristig“, d.h. in geologischen Zeiträumen erneuerbaren Bestand. Der nur langfristig erneuerbare Bestand muß für Zwecke der Nutzung durch den Menschen als nichterneuerbar behandelt werden. Auch Faber, Niemes und Stephan¹²⁴ weisen darauf hin, daß grundsätzlich alle Rohstoffe erneuerbar sind. Diese Aussage ist im übrigen nicht ganz haltbar, da das Uran zum Betrieb von Atomkraftwerken eine Ausnahme bildet. Es wird nicht durch natürliche Prozesse regeneriert.

Auf den hier angesprochenen Begriff von niedriger Entropie der Materie (bzw. des Materials) wird im folgenden Gliederungspunkt noch genauer eingegangen.

Daly betont (wie auch Georgescu-Roegen¹²⁵) die fundamentale Bedeutung der Unterscheidung zwischen physischen Bestands- und Fluß-Größen für eine am Entropiegesetz orientierte Analyse des Wirtschaftsprozesses. Er sieht vor allem die Notwendigkeit zwischen drei im Bruttosozialprodukt gemischten Größen zu unterscheiden: „throughput“, „addition to capital stock“ und „services rendered by the capital stock“.¹²⁶ Auf der „physischen“ Seite des Wirtschaftsprozesses existiert ein Bestand von Menschen und „Gerät“ (im weitesten Sinne)¹²⁷ sowie ein „Durchfluß“.¹²⁸

¹²² Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.21.

¹²³ Zu dem vor allem von Daly verwendeten Begriff „Materie-Energie“ bzw. „matter-energy“ vgl. Gliederungspunkt 3.1.3.

¹²⁴ Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: Entropie, Umweltschutz und Rohstoffverbrauch: Eine naturwissenschaftlich ökonomische Untersuchung. (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems; Vol. 214), Berlin, Heidelberg, New York 1983, S.14.

¹²⁵ Vgl. z.B. Georgescu- Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.369.

¹²⁶ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.30.

¹²⁷ Im Original: artifacts.

¹²⁸ Im Original: throughput; vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.16.

Der „stock“, der Bestand, ist das gesamte Inventar an Produktionsmitteln, Konsumgütern und menschlichen Körpern, also allen physischen Dingen, die menschliche Bedürfnisse befriedigen und die (zumindest prinzipiell) besessen werden können. Dieses begriffliche Konzept entspricht in etwa Fishers Definition von Kapital.¹²⁹ Auch die in der Erdkruste befindlichen Vorräte (Öl, Kohle, Erze usw.) bilden einen „stock“, einen Bestand. Sie sind allerdings noch nicht dem Wirtschaftsprozeß zuzurechnen. Sie bilden die eine Quelle niedriger Entropie. Die andere Quelle niedriger Entropie, die die Erde erreichende Strahlung der Sonne, ist ein „flow“, ein Fluß. Auch dieser liegt außerhalb des Wirtschaftsprozesses. Ein Bestand kann späteren Generationen hinterlassen oder vorher verbraucht werden, ein Teil eines Flusses, der erst in Zukunft auftritt, kann aber nicht im Voraus verbraucht werden.¹³⁰ Der Anteil zukünftiger Generationen am Fluß niedriger Entropie von der Sonne zur Erde kann also von den vor ihnen lebenden Generationen nicht beeinflußt werden. Der Bestand, der Vorrat an niedriger Entropie, der hinterlassen wird, ist allerdings zu beeinflussen und wird zur Zeit deutlich verringert. Weiterhin muß bei diesen Überlegungen allerdings berücksichtigt werden, daß ein Fluß sich mit geeigneten Mitteln auffangen und speichern läßt, z.B. durch einen Wald, der seine Energie aus der Sonneneinstrahlung bezieht. Die Sonneneinstrahlung ist ein Fluß, der Wald speichert einen Teil dieses Flusses ab, wodurch z.B. die Kohlevorräte entstanden. Durch diese Zusammenhänge hat auch das Verhalten heutiger Generationen bezüglich des „flow“ auf jene niedrige Entropie, die zukünftigen Generationen zur Verfügung stehen wird, einen Einfluß. Der Fluß niedriger Entropie, der von der Sonne ausgeht, läßt sich allerdings nicht verändern, insofern ist Georgescu-Roegens Argumentation zuzustimmen.

In diesem Zusammenhang weist Georgescu-Roegen darauf hin, daß der Wert von „Ricardian land“, also Boden in seiner Funktion als purer Fläche, sich dadurch ergibt, daß es, vergleichbar einem Fischernetz, durch darauf zu pflanzende (oder von selbst wachsende) Pflanzen Sonnenenergie einfängt.¹³¹

¹²⁹ Ebenda, S.35.

¹³⁰ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.369.

¹³¹ Ebenda, S.369 Fn.52.

Hierdurch zeigt sich aber ein weiterer Wirkungszusammenhang, da Umweltverschmutzung inzwischen zumindest mittelfristig die Möglichkeit des Einfangens solarer Energie zu beeinträchtigen droht, da sie sich auf den Pflanzenwuchs auswirkt. So wird z.B., wenn alle Wälder „gestorben“ sind und der Boden erodiert ist, die Ausnutzung der weiterhin auftreffenden Sonnenenergie wesentlich schlechter, größere Anstrengungen sind nötig, um sie „einfangen“ zu können.

Daly führt für eine seiner Ansicht nach adäquatere Beschreibung des Wirtschaftens die Begriffe „throughput“, „service“, „stock“, „flow“ und „flux“ ein.

Der „throughput“ ist der „entropisch physische ‘flow’“, von Materie- Energie, der, von den Quellen der Natur kommend, durch die menschliche Ökonomie in die Abfallgruben der Natur zurückfließt. Er ist notwendig für die Erhaltung bzw. Erneuerung des „stocks“.¹³²

Der throughput stellt *Kosten* dar, da er das Entropiegesetz, den physikalischen Ausdruck der Knappheit, repräsentiert.¹³³

„Service“ ist die Befriedigung, die erfahren wird, wenn Wünsche erfüllt werden. Dieser „service“ wird durch den „stock“ quasi „gespeist“. Qualität und Quantität des „stocks“ bestimmen das Ausmaß der möglichen „services“. „Service“ ist allerdings nicht meßbar, nichtsdestotrotz jedoch real und wird von jedem täglich erfahren. Daly orientiert die Abgrenzung dieses Begriffs an Fishers „psychic income“. „Service“ ist eine Stromgröße, da er über eine bestimmte Periode „auftritt“, kann aber nicht akkumuliert werden, so daß Georgescu-Roegen¹³⁴ von einem „psychic flux“ spricht.¹³⁵ Daly erläutert den Begriff des „flux“ mit den Worten: „A flux may be thought of as a flow that cannot be accumulated.“¹³⁶

¹³² Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.36; vgl. auch Georgescu-Roegen, Nicholas: The Entropy Law and the Economic Process, a. a. O., S.220-223.

¹³³ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.36.

¹³⁴ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: The Entropy Law and the Economic Process, a. a. O., S.284.

¹³⁵ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.35.

¹³⁶ Daly, Herman E.: a. a. O., Fn. S.30.

Aus dem oben gesagten folgert Daly: „Service“ ist das eigentliche Ziel der ökonomischen Aktivität, so wie der „throughput“ die eigentlichen Kosten darstellt,¹³⁷ wobei die Nutzung des „stock“ die Bedürfnisse befriedigt (aber nicht das bloße Vorhandensein des „stock“).

Die dargestellte Sichtweise tritt auch in dem Satz von Georgescu- Roegen: „Das Entropiegesetz ist seiner Natur nach das ökonomischste aller Naturgesetze.“¹³⁸ zu Tage. Er begründet diese Ansicht damit, daß das Entropiegesetz Aussagen über die Verwertbarkeit, die Nutzbarkeit von Energie (bzw. Energieträgern) und Rohstoffen macht. Es bildet seiner Ansicht nach quasi die Grundlage des Wertes der Dinge.

Allerdings stellt niedrige Entropie zwar ein notwendiges aber kein hinreichendes Kriterium für den Wert, oder, anders ausgedrückt, die Brauchbarkeit, von Dingen für den Menschen dar. So hat ein Fliegenpilz zwar niedrige Entropie, seine Brauchbarkeit (zumindest als Lebensmittel) bleibt aber doch sehr begrenzt.¹³⁹ Auf Grund dieser Tatsache lehnt er auch Versuche ab, den Wert von Gütern bzw. Ressourcen an der Höhe ihrer Entropie zu messen, Versuche Preise als Knappheitsindikator z.B. durch Energieeinheiten zu ersetzen.¹⁴⁰

Georgescu-Roegen geht auch auf die Beobachtung ein, daß Schätzungen über die verfügbaren oder noch zu findenden Vorräte an fossilen Energieträgern, wie auch seltenen Materialien, eigentlich immer im nachhinein betrachtet zu niedrig waren. Er weist darauf hin, daß die Vorräte trotz allem endlich sind.¹⁴¹ Des weiteren ist aber auch prinzipiell nutzbare Energie im Sinne von niedriger Entropie, also solche, die ein Energie- „Gefälle“ gegenüber der Umgebung aufweist, nicht immer wirklich zu nutzen. Es existiert außer der wirtschaftlichen Abbauwürdigkeit von z.B. Kohlevorkommen auch eine physikalische Grenze der Abbauwürdigkeit,

¹³⁷ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.36.

¹³⁸ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.52; eigene Übersetzung.

¹³⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1041-1042.

¹⁴⁰ Ebenda, S.1043.

¹⁴¹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.360.

nämlich dann, wenn der für den Abbau notwendige „Energieverbrauch“ größer wird als das Ausmaß der aus dem abgebauten Vorkommen nutzbaren Energie.¹⁴² Dieselbe Aufteilung ist auch unter den Begriffen: Reserven, Ressourcen und Krustenmengen bekannt. Als Reserven wird dabei die bekannte wirtschaftlich abbauwürdige Menge, als Ressourcen die entdeckte und unentdeckte technisch abbauwürdige Menge und als Krustenmenge die Menge des Stoffes in der Erdkruste bezeichnet.¹⁴³ Georgescu-Roegen benutzt den Begriff erreichbare („accessible“) Energie zur Kennzeichnung der physikalischen Abbauwürdigkeit. Im weiteren erläutert er, daß zwar evtl. wesentlich größere Vorkommen an fossilen Energieträgern noch der Entdeckung durch den Menschen harren als bisher bekannt oder auch nur abgeschätzt, daß aber ein großer Teil dieser zusätzlichen Vorräte wohl nicht- erreichbare Energie darstellen. Hierbei geht er aber nicht auf die Tatsache ein, daß die Erreichbarkeit der Vorräte prinzipiell durch technischen Fortschritt verschiebbar ist.¹⁴⁴ Auch die Effizienz der energienutzenden Maschinen ist auf der einen Seite ökonomisch zu bestimmen, auf der anderen Seite aber technischen Grenzen unterworfen, die zwar verschoben werden können,¹⁴⁵ allerdings nur bis zu einer bestimmten Grenze, dem thermodynamischen Wirkungsgrad von 100%.¹⁴⁶ Er faßt zusammen: „...the amount of accessible energetic low entropy is finite...“.¹⁴⁷

Die Nichtbeachtung naturwissenschaftlicher Grundlagen in der ökonomischen Theorie bezeichnet Georgescu-Roegen als „ökonomische Mythen“.

Als frühesten ökonomischen Mythos sieht Georgescu-Roegen den Mythos eines perpetuum mobile erster Art an, der besagt, daß man Dinge bewegen kann, ohne

¹⁴² Ebenda, S.354.

¹⁴³ Vgl. Bender, Friedrich: Metall-Rohstoffvorräte aus theoretischer und wirtschaftlicher Sicht, in: Die Versorgung der Weltwirtschaft mit Rohstoffen, Beihefte der Konjunkturpolitik, Heft 23, Berlin 1976; zitiert nach: Wachstum – warum, wozu, wodurch? Referate, Statements und Diskussionsbeiträge; 3. wissenschaftliches Forum d. Instituts der Deutschen Wirtschaft, Köln 1977, S.98-99.

¹⁴⁴ Vgl. dazu auch Herrera, Amílcar O. u. a.: a. a. O., S.65-66.

¹⁴⁵ Bei diesem Punkt berücksichtigt er in seiner Argumentation den technischen Fortschritt.

¹⁴⁶ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.355.

¹⁴⁷ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.355.

Energie zu verbrauchen. Der Mythos eines perpetuum mobile zweiter Art behauptet, es sei möglich dieselbe Energie immer wieder zu verwenden.¹⁴⁸ Diese Idee glaubt er auch heute noch ausmachen zu können.¹⁴⁹ Ein anderer Mythos, der besagt, daß es der Menschheit immer wieder gelingen werde, neue Energiequellen ausfindig zu machen und zu nutzen, wird von ihm im Endeffekt als der Gedanke der Unsterblichkeit, wenn schon nicht des einzelnen Menschen, so doch der gesamten Menschheit angesehen. Auch diesen Gedanken sieht er im Widerspruch mit naturwissenschaftlichen Tatsachen, die sich im Hergang der Evolution manifestieren.¹⁵⁰

Georgescu-Roegen wehrt sich in diesem Zusammenhang dagegen, daß Umweltverschmutzung von Ökonomen nur als „externer Effekt“ aufgefaßt wird und nicht als das, was sie ist, nämlich notwendiger Output des ökonomischen Prozesses, genauso zwingend, wie natürliche Ressourcen Input des Produktionsprozesses sind. Er faßt dies in der Aussage zusammen, Ökonomen würden behaupten, wenn der Preis „stimme“, gebe es keine Verschmutzung. Allerdings unterstellt er hierbei etwas, was nicht der Realität entspricht, da es die übliche Argumentation in der Umweltökonomie von vorneherein nicht als ihr Ziel ansieht Verschmutzungen völlig zu beseitigen, da die Kosten hierfür prohibitiv hoch wären. „Prohibitiv“ muß hierbei in letzter Konsequenz im Sinne einer Prohibition menschlicher Existenz verstanden werden.

Er unterteilt Abfälle in solche, die sich (wenn sie nicht zu massiert auftreten) in natürliche Kreisläufe wiedereingliedern ohne auf Dauer einen Schaden zu hinterlassen, solche die von Menschen ungefährlicher gemacht werden können und solche bei denen dies nicht möglich ist, die nur möglichst sicher gelagert werden können. Als herausragendes Beispiel für die letzte Gruppe führt er radioaktive Stoffe auf. Er weist darauf hin, daß auch die Stoffe der ersten Kategorie z.B. im Mittelalter wirklich große Probleme für Städte bedeuteten („...some glorious cities

¹⁴⁸ Mit dieser Formulierung zielt er auf die im Entropiegesetz formulierte Tatsache ab, daß es quasi Energie verschiedener Qualität gibt.

¹⁴⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.349.

¹⁵⁰ Ebenda.

were buried under accumulated rubbish.“)¹⁵¹ Aber auch heute ist der sogenannte Müllnotstand, den z.B. Einwohner und Entscheidungsträger der Stadt Frankfurt interessiert beobachten, auch ein Zeichen dafür, daß der letztendliche physische Output des Produktionsprozesses sogar vom schieren Platzbedarf her problematisch werden kann. Dies gilt unabhängig von der Tatsache, daß im „Wohlstandsmüll“ auch Stoffe zumindest der zweiten Kategorie, die einer weiteren Behandlung bedürfen, zu finden sind.

Zur dritten Gruppe von Abfällen gehört auch das Problem der „thermal pollution“, der ständigen Produktion von Abwärme, die bei jeder Energienutzung aufgrund des Entropiegesetzes entsteht und in die sich jede genutzte Energie letztendlich vollständig verwandelt. Diese Abwärme trägt zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei, worauf Georgescu-Roegen schon vor 15 Jahren hinwies. Im selben Zusammenhang erwähnt er auch schon das CO₂-Problem, das aus heutiger Sicht als Hauptverursacher des Treibhauseffekts als gravierender eingeschätzt wird.¹⁵² Trotz dieses stärkeren Gewichts des Problems der Treibhausgase (wie CO₂) sind doch auch heute schon Veränderungen des Kleinklimas z.B. von Ballungsräumen zu beobachten, die zu einem nicht unbeträchtlichen Teil auf Abwärme zurückzuführen sind. Das Abwärmeproblem wird weiterhin deutlich bei der Aufheizung von Flüssen, wie sie z.B. durch (Kern-)Kraftwerke verursacht wird, die in Zusammenarbeit mit anderen Faktoren für die Belastung des ökologischen Gleichgewichts in Flüssen verantwortlich ist.¹⁵³ Aufgrund des Entropiegesetzes ist eine Abkühlung der gesamten Erde praktisch unmöglich, da jede „Anstrengung“, die dafür unternommen wird, Abwärme freisetzt, die zur weiteren Erwärmung beiträgt. Daher vermutet Georgescu-Roegen, daß „thermal pollution“ ein drängenderes Problem werden könne als die Knappheit der Ressourcen. Diese Vermutung scheint sich aus heutiger Sicht tendenziell zu bestätigen.¹⁵⁴

¹⁵¹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: *Energy and Economic Myths*, a. a. O., S.357.

¹⁵² Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: *Energy and Economic Myths*, a. a. O., S.358 Fn.25.

¹⁵³ Ebenda, S.358.

¹⁵⁴ Vgl. Simonitsch, Pierre: a. a. O.; sowie Faber, Malte: *A Biophysical Approach to the Economy*, a. a. O., S.17.

Baumol¹⁵⁵ führt aus, daß nichterneuerbare Ressourcen unendlich lange genutzt werden können, wenn ihr Verbrauch im Laufe der Zeit gegen Null geht. Dies ist durch eine Verringerung der Ineffizienz der Ressourcennutzung zu erreichen. Ein, wie er es ausdrückt, ständiges Ansteigen des von diesen Ressourcen ausgehenden Nutzens ist möglich, wenn die Entwicklung der Technik bezüglich der Effizienz des Ressourceneinsatzes schneller fortschreitet als die Ressource ausgebeutet wird. Ob diese Bedingung in der Realität allerdings Aussicht auf Erfüllung hat, kann auch er nicht sagen.

Es wird also außerhalb des Bereichs der Spekulation über die Frage, was wahrscheinlicher passieren wird, von Baumol dieselbe Aussage getroffen wie von entropieorientierten Ökonomen wie Daly oder Georgescu-Roegen. Es wird auf der einen Seite formuliert, daß das Problem der Erschöpfung nichterneuerbarer Ressourcen nicht existiert, wenn die Ausnutzung der Ressourcen verbessert wird und wenn sich dadurch der physische Verbrauch verringert, was aber nicht zwangsweise so sein muß. Auf der anderen Seite wird gesagt, daß ein Ressourcenproblem existiert, wenn der physische Verbrauch sich nicht verringert.

Auch die „physikalische Irreversibilität der Produktion“, die bedeutet, daß es nicht möglich ist, alle eingesetzten Inputs aus den Outputs zurückzugewinnen, wird von Faber und Stephan¹⁵⁶ auf das Entropiegesetz zurückgeführt.

Einen ähnliche Gedanken verfolgt Binswanger, wenn er¹⁵⁷ die steigenden Grenzkosten der Beseitigung von Umweltverschmutzung auf das Entropiegesetz zurückführt. Er bedient sich dabei in etwa folgender Argumentation: Die groben Schmutzpartikel lassen sich noch sehr leicht beseitigen, die feineren schon schwerer und die feinstverteilten noch schwerer, teilweise gar nicht mehr. Anders ausgedrückt: je dissipierter die unerwünschten Kuppelprodukte der Produktion

¹⁵⁵ Vgl. Baumol, William J.: On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources, in: *Kyklos*, Vol. 39 (1986), Fasc. 2, S.167-179.

¹⁵⁶ Vgl. Faber, Malte / Stephan, Gunter: *Umweltschutz und Technologiewandel*. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 111), Heidelberg 1986, S.7.

¹⁵⁷ Vgl. z.B. Binswanger u. a.: *Arbeit ohne Umweltzerstörung*, a. a. O., S.70.

vorliegen, desto höher ist der Aufwand, sie zu beseitigen, desto mehr niedrige Entropie muß eingesetzt (und damit wiederum dissipiert) werden.

Faber und Proops¹⁵⁸ sehen auch das Koopmanssche Postulat der „Impossibility of the Land of Cockaigne“, das Postulat der Unmöglichkeit, ein Gut ohne Input zu produzieren, als Ausdruck des Entropiegesetzes an.

Der postulierte Sachverhalt ist ohne Zweifel richtig. Allerdings kann ein Gut mit einem vorher „verschwendeten“ Input hergestellt werden, also ohne einen zusätzlichen Input. Es könnte jemand z.B. nur um der sportlichen Betätigung willen zum Briefkasten joggen, wozu verschiedene „Inputs“ notwendig sind, andererseits könnte er aber auch einen Brief mitnehmen, was die Produktion einer Dienstleistung darstellt oder zumindest darstellen kann.

Auch der Gedanke einer „backstop technology“ wird von entropieorientierten Ökonomen kritisch eingeschätzt. Hierbei besteht zwar keine direkte Verbindung zum Entropiegesetz, allerdings sieht z.B. Binswanger oder auch Daly¹⁵⁹ im Gedanken der backstop technology die Idee einer „unendlichen“, „ewigen“, „unerschöpflichen“ Bereitstellung von Energie. Binswanger z.B. zählt als potentielle Kandidaten Kernenergie, Brütertechnologie, Kernfusion und Solarzellen-Plantagen auf.¹⁶⁰

Er kommt zu dem Schluß, daß es keine backstop technology gibt.¹⁶¹ Dabei geht er allerdings davon aus, daß die backstop technology als eine Ersatz-Technologie gedacht ist, die insbesondere die Erdölnutzung ablöst. Er setzt sich nicht mit dem Gedanken einer unendlichen Kette von backstop technologies auseinander, die sukzessive jeweils die vorhergehenden ablösen. Es bleibt allerdings wiederum die Frage bestehen, ob für diese „Kette“ immer wieder das nächste passende Glied gefunden werden kann. Festzuhalten bleibt schließlich, daß unter dem Gesichts-

¹⁵⁸ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists*, a. a. O., S.12.

¹⁵⁹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.117.

¹⁶⁰ Vgl. Binswanger u. a.: *Arbeit ohne Umweltzerstörung*, a. a. O., S.60.

¹⁶¹ Vgl. Binswanger, Hans Christoph: *Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft*, a. a. O., S.158-159; sowie Binswanger, Hans Christoph: *Nichts wird aus nichts*, a. a. O.

punkt der Entropie und der Endlichkeit der Welt auf lange Sicht keine backstop technology, auch nicht im Sinne einer ewigen Kette, existieren kann. Daly erläutert, daß es „unbegrenzte“ Technologien in der wirklichen Welt nicht gibt und er sieht es bei Betrachtungen, die über einen engen (zeitlichen) Horizont hinausgehen, als irreführend an, mit der Fiktion der backstop technology zu arbeiten. Als Beispiel wählt er Brüter-Reaktoren, die Solow als backstop technology ansieht. Er fragt sich, wie Brüter-Reaktoren ohne nichterneuerbare Ressourcen wie Kupfer, Eisen usw. aufgebaut werden sollen, ganz zu schweigen von den begrenzten Lagerstätten für abgebrannte Brennelemente bzw. die Abfallprodukte der Wiederaufbereitung, denn außerhalb idealisierter Modelle gibt es keine Technologie ohne Abfall.¹⁶² Andererseits handelt es sich aber bei dem, was Daly als längerfristig einstuft, um eine wirklich *sehr* langfristige Sicht.

Aufgrund der dargestellten, durch das Entropiegesetz gebildeten Grenzen für den Wirtschaftsprozess vertritt Daly den Standpunkt, daß eine wachsende Ökonomie ein biophysikalisches *Ungleichgewicht* darstellt,¹⁶³ im Gegensatz zur Verwendung des Begriffs des Gleichgewichts in der ökonomischen Wachstumstheorie. Nebenbei sei bemerkt, daß Daly wohl den Begriff „wachsende Ökonomie“ als zu schwach einschätzen würde, in seinem Sinne wäre es besser zumindest von einer Wachstums-Ökonomie zu sprechen. Er verwendet wiederholt den Begriff „growthmania“¹⁶⁴ um die seiner Meinung nach herrschende Wachstumsfixierung zu kennzeichnen.

Er führt das „rapide Wachstum der letzten 200 Jahre“ auf das „Durchbrechen der Budget-Restriktion“ des Lebens von „solarem Einkommen“ durch den Menschen zurück.¹⁶⁵ Das „geologische Kapital“ werde sich erschöpfen. Dieses durchbrechen der „Budget-Restriktion“ stellt einen einmaligen Vorgang in der Entwicklung des Lebens auf der Erde dar. Es hat den Menschen nach Dalys Ansicht aus dem

¹⁶² Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.117.

¹⁶³ Ebenda, S.69.

¹⁶⁴ Ebenda, S.99.

¹⁶⁵ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.23.

Gleichgewicht mit der Natur geworfen.¹⁶⁶ Allerdings äußert sich Daly nicht genau darüber, wie dieses Gleichgewicht eigentlich aussieht bzw. aussah. Dies ist problematisch, da man in der früheren Geschichte der Menschheit sehr wohl Vorgänge festmachen kann, die auch als Verlassen des „Gleichgewichts mit der Natur“ angesehen werden können. Beispielhaft sei hier z.B. das Abholzen der Wälder im antiken Griechenland, im antiken Rom (wobei die gesamten Wälder Italiens und Siziliens betroffen waren) und im vorindustriellen England erwähnt.

3.1.3 Es gibt kein 100%iges Recycling: Nullwachstum wegen Mangels an nichterneuerbaren Rohstoffen (Materialien)?

Ähnliche Aussagen wie beim Problem der Energieversorgung lassen sich auch auf dem Gebiet der Versorgung mit nichtnachwachsenden Rohstoffen, d.h. Materialien treffen. Diese Vergleichbarkeit ist im letzten Gliederungspunkt bereits angeklungen. Das Ausmaß der erreichbaren Materialien, die ausreichend konzentriert sind, um nutzbar zu sein, ist wie bei der Energie begrenzt.¹⁶⁷ Nach Georgescu-Roegens Ansicht müssen beide Probleme streng getrennt werden, da mit Material Energie nicht ersetzt werden kann, genauso wenig wie umgekehrt Energie Material ersetzen kann. Es existieren zwar trade-offs, z.B. beim zunehmenden Bedarf an Energie zum Recycling von Material, doch sieht er dabei recht enge Grenzen. So ist bei einem verstärkten Recycling z.B. nicht nur mehr Energie, sondern auch ein höherer Aufwand an Material nötig, da auch Recyclinganlagen nicht aus purer Energie bestehen und sich abnutzen. Georgescu-Roegen wehrt sich gegen den Eindruck, durch eine Lösung des Energieproblems seien alle „Grenzen des Wachstums“ aus der Welt. Er erklärt: „Matter matters, too“.¹⁶⁸ Auch Material ist einer ständigen Dissipation unterworfen. Keine materielle Makrostruktur (wie eine Münze oder ein Auto), deren „Material-Entropie“ niedriger ist als die ihrer Umgebung, kann in ihrer ursprünglichen Form ewig weiterbestehen. Daher müs-

¹⁶⁶ Ebenda.

¹⁶⁷ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.355.

¹⁶⁸ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1039.

sen alle die künstlichen Hilfsmittel, die der Mensch sein eigen nennt, um sein Leben angenehmer zu gestalten, ständig gewartet, repariert, erneuert werden.¹⁶⁹

Daher hat sich Georgescu-Roegen neben seiner Erläuterung der Bedeutung des Entropiegesetzes für die Ökonomie vor allem auch für eine stärkere Beachtung der Abnutzung von Material, im Gegensatz zum Problem der Dissipation von Energie, starkgemacht.¹⁷⁰ Er sah, unter anderem bedingt durch die sog. Ölkrise, die Aufmerksamkeit der Ökonomen so weit auf die Frage der Bereitstellung von Energie konzentriert, daß eine starke Strömung in der Ökonomie die Ansicht vertrat, daß, wenn nur ausreichend Energie zur Verfügung stünde, weiterem grenzenlosem Wachstum keine Schranken gesetzt seien. Dieser Gedanke gründete sich zum einen auf der Idee der Möglichkeit eines 100%igen Recyclings, beispielhaft dafür führt er den Physiker Alvin Weinberg¹⁷¹ an. Zum anderen gründete sich der Gedanke auf die eher utopische Idee, mit Hilfe entsprechender Energiemengen verschiedene Formen der Materie ineinander sowie Energie in Materie umzuwandeln.

Georgescu-Roegen erteilt diesen Ideen eine Absage.

Zu dem Gedanken der Umwandlung von Materie in Energie und von Energie in Materie führt er aus, daß solche physikalischen Umwandlungen in Bereichen stattfinden, die für den Menschen in absehbarer Zeit nicht erreichbar sind. Es handelt sich insbesondere um Bereiche der Temperatur, die, wenn überhaupt, auf der Erde bisher nur im Labormaßstab und nur für sehr kurze Zeit erreicht werden konnten, und von denen man begründeterweise annehmen kann, daß sie auch auf lange Sicht praktisch nicht erreichbar sein werden.

Zum Gedanken des 100%igen Recycling erklärt er, daß, genauso wie ein Perpetuum Mobile erster und zweiter Ordnung nicht möglich ist, keine wirklich existierende Maschine nur mit Hilfe ständiger Energiezu- und Abfuhr ewig betrieben werden kann. Er nennt diese Anordnung ein Perpetuum Mobile dritter Ordnung

¹⁶⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.356.

¹⁷⁰ Vgl. z.B. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O.

¹⁷¹ Ebenda, S.1026.

(of the third kind) und postuliert einen vierten Hauptsatz der Thermodynamik, der der Unmöglichkeit eines solchen Perpetuum Mobile dritter Ordnung Rechnung trägt.¹⁷² Um es nochmals zu betonen: Es handelt sich hierbei um ein System, das sehr wohl Energie mit seiner Umgebung austauschen kann, über das also mit Hilfe des Entropiegesetzes keine solche Aussage getroffen werden kann. Vielmehr handelt es sich um ein zum Entropiegesetz analoges Gesetz über Materie bzw. um eine Erweiterung des Entropiegesetzes. Es drückt die einfache Tatsache aus, daß jede in der Realität genutzte Maschine einer ständigen Abnutzung unterworfen ist.

Auch der teilweise in der Literatur vertretene Standpunkt, Materie (Material) könne für die Menschheit nicht knapp werden, da der ganze Planet letztendlich aus Materie besteht, geht an dem eigentlichen Kern der Fragestellung vorbei. Das eigentlich Knappe ist nicht Materie an sich, sondern Materie in einer für den Menschen verwertbaren Form, so wie Energie nicht an sich knapp ist, sondern Energie mit niedriger Entropie.¹⁷³

Dieser Parallelität trägt Daly durch die Verwendung des Begriffs „matter-energy“ Rechnung, den er verwendet, wenn er über das Entropiegesetz spricht.

Das Problem der Geringschätzung der Schwierigkeiten, die mit der Dissipation von Materialien verbunden sind, läßt sich z.B. beispielhaft bei folgender Aussage bei Müller und Ströbele¹⁷⁴ erkennen:

„Die Möglichkeit von anhaltendem Wirtschaftswachstum wird dadurch zweifelhaft, daß bestimmte produktionsnotwendige Ressourcen nur in endlichen Beständen verfügbar sind. Wenn ein Produktionsprozeß nur durch Entnahme von nichtregenerierbaren Ressourcen aus einer endlichen ‘Speisekammer’ unterhalten werden kann, droht mehr als nur eine Begrenzung für Wachstum. Über einen unendlichen Zeithorizont ist es eventuell sogar unmöglich, ein Sozialprodukt zu produzieren, das eine Deckung des Existenzminimums erlaubt. Damit rücken Fragen der Substituierbarkeit von derartigen Ressourcen und möglichen Wachstumsgrenzen in den Vordergrund.“

¹⁷² Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1029.

¹⁷³ Ebenda, S.1031-1032.

¹⁷⁴ Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.2.

Das Problem der Erschöpfbarkeit von Ressourcen wird zwar dargestellt, es wird aber auf ein Problem der rechtzeitigen Substitution von bestimmten Ressourcen durch andere reduziert. Im Sinne Georgescu-Roegens ist aber zu bedenken, daß es evtl. nicht möglich ist, z.B. Metalle durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen.¹⁷⁵

Reibung beraubt die Menschheit nicht nur der Möglichkeit der 100%igen Energienutzung im Sinne einer völligen Ausnutzung der niedrigen Entropie, d.h. eines 100%igen Wirkungsgrades, sondern sie ist auch für den ständigen, wenn auch geringfügigen, Verlust von Material verantwortlich.¹⁷⁶

Georgescu-Roegen weist darauf hin, daß das Wissen über Reibung als spärlich einzuschätzen ist und im wesentlichen auf praktischen, ingenieurmäßigen Erfahrungen ohne theoretische Grundlage basiert. Aber diese stiefmütterliche Behandlung dieser „Nicht-Perfektion“ der Natur ist kein Einzelfall. Er erinnert daran, daß es weder perfekt starre noch perfekt elastische Materialien gibt, genauso wenig wie perfekte Isolatoren oder perfekte Leiter. Das Material ist nicht „perfekt“, es dissipiert die verfügbare Energie und wird selbst dissipiert.¹⁷⁷ 100%iges Recycling erfordert unendliche Energie oder unendlich lange Zeit.¹⁷⁸

Weiterhin weist Georgescu-Roegen darauf hin, daß Planck festgestellt hat, daß kein Material, es sei denn am absoluten Nullpunkt der Temperatur, völlig von Verunreinigungen durch andere Stoffe befreit werden kann. Er sieht hierin, in Verbindung mit dem dritten Hauptsatz der Thermodynamik von Nernst, der besagt, daß der absolute Nullpunkt nicht erreichbar ist, eine weitere Unterstützung

¹⁷⁵ Vgl. auch Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.3.

¹⁷⁶ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1033.

¹⁷⁷ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1034.

¹⁷⁸ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1034,1036; vgl. auch Faber, Malte / Stephan, Gunter: Volkswirtschaftliche Betrachtungen zum Materialrecycling. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 128), Heidelberg 1988, S.8.

für seine Betonung der Endlichkeit auch von natürlichen Ressourcen an Materialien.¹⁷⁹

Einen der Gründe für das weitgehende Ignorieren der mit der Materialnutzung bzw. -dissipation verbundenen Probleme sieht Georgescu-Roegen in der Tatsache, daß Öl für die Förderung und die Verwandlung in verwendbare Treibstoffe nur relativ wenig Materie (Material) benötigt. Das liegt, wie er betont, sowohl bei der Kernenergie wie auch bei der Nutzung der Sonnenenergie anders. Beide benötigen ausgedehnte Anlagen. Die Kernenergie, weil es sich um gefährliche Stoffe handelt, die ihre Energie mit einer hohen Intensität abgeben, und die Solarenergie, weil im Gegensatz dazu die Konzentration der auf der Erde eintreffenden Sonnenenergie sehr niedrig ist.¹⁸⁰

Binswanger betont, daß auch auf Grund „natürlicher“ Prozesse die Entropie der Materie zunimmt und deswegen auch sogenannte erneuerbare Ressourcen auf die Dauer nicht erneuerbar sind.¹⁸¹ Wenn das zutrifft, muß man zwischen kurzfristig erneuerbaren und langfristig erneuerbaren Ressourcen unterscheiden, die sich aber alle dadurch auszeichnen, daß sie letzten Endes nicht erneuerbar sind.

Weiterhin weist Georgescu-Roegen, wie oben schon angesprochen, darauf hin, daß sowohl das Recycling als auch die Entsorgung von Müll neben einem notwendigen „Materialverbrauch“ mit „Energieverbrauch“, d.h. Dissipation von Energie, verbunden ist. Die Bereitstellung dieser Energie ist nun aber in irgendeiner Form wiederum mit der Erzeugung von Abfällen verbunden, so daß die Gefahr besteht, die Vermeidung der Umweltverschmutzung durch eine, evtl. auch stärkere, Umweltverschmutzung an anderen Orten zu erkaufen.¹⁸² Ein relativ deutliches Beispiel dafür stellt die sog. Politik der hohen Schornsteine dar, deren Auswirkungen mit für das Waldsterben und insbesondere für den sauren Regen verantwortlich gemacht werden.

¹⁷⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1039.

¹⁸⁰ Ebenda, S.1050.

¹⁸¹ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.77.

¹⁸² Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.358.

Diese Argumentation gilt aber wohl vor allem für „end of the pipe“ Maßnahmen, also solche Umweltschutzmaßnahmen, die auf die bestehende Technologie „aufgesetzt“ werden, ohne diese zu ändern. Durch Umweltschutzbestrebungen ausgelöste technische Weiterentwicklungen bergen die Möglichkeit in sich, durch vollständig andere Produktionsverfahren einen geringeren Schadstoffausstoß mit einem geringeren Energieverbrauch zu kombinieren. Allerdings muß dies im einzelnen untersucht werden, es kann nicht aus Preisen bzw. Kosten abgelesen werden.

Binswanger sieht in diesem Zusammenhang z.B. auch bei der großtechnologischen Nutzung der Sonnenenergie Probleme, da, wie auch Georgescu-Roegen wiederholt betont, nicht nur die Versorgung mit Energie das Problem darstellt, sondern eben auch die stoffliche Seite, die Versorgung mit Materialien. Auch eine Solar-Wasserstoff-Wirtschaft würde immense großtechnologische Anlagen benötigen, die in irgendeiner Form aus knappen Rohstoffen erbaut werden müssen.¹⁸³ Er sagt, daß die Nutzung der Sonnenenergie aber vor allem auch den inzwischen wahrscheinlich schon knappsten Faktor erfordert, nämlich Grund und Boden.

Im übrigen bleibt an dieser Stelle anzumerken, daß Georgescu-Roegen sich bezüglich der direkten Nutzung der Sonnenenergie recht optimistisch¹⁸⁴ äußert, er sieht eigentlich keine Probleme, zumindest keine, die er nicht für lösbar hält. Dies ist auf Grund der beschriebenen Zusammenhänge eher verwunderlich, da, wie oben ausgeführt, Georgescu-Roegen als der Ökonom betrachtet werden kann, der die „physische Seite“ des Wirtschaftens als zentralen Aspekt herausgestellt hat. Trotzdem trifft er sogar die Aussage, Sonnenenergie sei „pollution-free“, was die Realität doch stark verkennt.¹⁸⁵ Zum einen wird Sonnenenergie nicht entweder genutzt, um dann dissipiert zu werden oder gleich dissipiert, sondern je nach Umfang des vorhandenen Pflanzenbewuchses und in Verbindung mit weiteren Lebewesen mehr oder weniger stark auch wieder in „Biomasse“, z.B. Holz, aber auch im weiteren in Kohle, Öl oder Torf verwandelt, sie wird also in konzentrierterer

¹⁸³ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.80-81.

¹⁸⁴ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.371.

¹⁸⁵ Ebenda, S.372; „clean“ S.377.

Form gespeichert. Zweitens hat das komplexe Zusammenspiel von Gaia, also aller Systeme auf der Erde in ihrer Gesamtheit, Auswirkungen auf die Albedo, also auf die „Energiebilanz“ der Erde, und dieses komplexe Zusammenspiel wird durch eine großtechnologische Nutzung der Sonnenenergie mit Sicherheit auch beeinflusst, wenn nicht gar nachhaltig gestört. Er sieht zwar das Problem des relativ niedrigen Entropie-Gefälles der Sonneneinstrahlung zum „Wärmebad“ auf dem Planeten Erde, aber er ist in dieser Hinsicht sehr „technik-optimistisch“ und hält die Probleme für lösbar.¹⁸⁶

3.1.4 Wenn dem so wäre: Konsequenzen

Daly schlägt für eine Anpassung des Wirtschaftens an die Rahmenbedingungen, die er durch das Entropiegesetz vorgegeben sieht, eine Nullwachstums-Ökonomie vor. Er bezeichnet diesen Vorschlag als *steady-state-economy*. Wachstums versteht er dabei vor allem im Sinne des realen „Mehr“ an Gütern und, was für ihn sehr wichtig ist, auch an Menschen.

Er benutzt damit den Begriff des *steady-state* abweichend von der üblichen Verwendung in der Wachstumstheorie, die darunter einen „Zustand, in dem alle Variablen sich mit einer *konstanten*, nicht notwendigerweise auch identischen Wachstumsrate verändern“¹⁸⁷ versteht.

Bei Verwendung des Begriffs wird in der vorliegenden Arbeit, sofern nicht anders vermerkt, von Dalys Interpretation ausgegangen.

Im folgenden wird dieser Vorschlag als stellvertretend auch für andere etwas ausführlicher vorgestellt. Die allgemeine Kritik, die sich ebenfalls auf verwandte Ansätze beziehen läßt, folgt im nächsten Gliederungspunkt (3.1.5.). Einige spezifische Kritikpunkte werden aber, um sie nicht unnötig aus dem Zusammenhang zu reißen, bereits in diesem Gliederungspunkt behandelt.

Die Idee einer *steady-state-economy* fußt auf zwei tragenden Säulen. Erstens auf einer Umverteilungspolitik im Sinne einer möglichst gleichen Verteilung des ma-

¹⁸⁶ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: *Energy and Economic Myths*, a. a. O., S.372.

¹⁸⁷ Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.32; Hervorhebung im Original.

teriellen Wohlstands. Das Verteilungsproblem ist laut Daly nicht mehr „nur“ durch Umverteilung des „Mehr“ an Wohlstand zu lösen. Daly hält ein ständiges weiteres „Mehr“ aufgrund des Entropiegesetzes für unmöglich. Die zweite Säule ist eine nachhaltige globale Geburtenkontrolle, d.h. Bevölkerungspolitik: „two basic physical magnitudes are to be held constant: the population of human bodies and the population of artifacts (stock of physical wealth)“.¹⁸⁸ Die Umverteilungspolitik bezieht er nicht nur auf Umverteilung innerhalb eines Landes, sondern auf die ganze Erde. Daly betont die Notwendigkeit der Geburtenkontrolle, da ansonsten das Ergebnis der Umverteilungspolitik gleiche Armut für alle sei.¹⁸⁹

Er legt Wert auf die Feststellung, daß beides nicht primär technische Probleme seien,¹⁹⁰ sondern Probleme der moralischen bzw. ethischen Werte, die dahinter stehen, und daß diese Werte geändert werden müssen, um ein Leben in Übereinstimmung mit den naturgesetzlichen Grundlagen zu ermöglichen.¹⁹¹ Daly führt aus, daß Vorschläge, die sich auf Appelle an moralische Instanzen oder ähnliches berufen, in der wissenschaftlichen Diskussion „unpopulär“ seien, da sie als „Mogeln“ („cheating“) im Spiel, das Wissenschaft (Wirtschaftswissenschaft) heißt, angesehen würden. Nicht zu „mogeln“, so sagt er, hieße, aufwendige „technische“ Lösungen vorzuschlagen. Diesen Weg beabsichtigt er allerdings seiner eigenen Aussage nach nicht einzuschlagen. Auch ein Teil der praktischen Vorschläge Georgescu-Roegens basiert auf einer Veränderung der Präferenzen. So erklärt er insbesondere, daß das Phänomen der Mode überwunden werden müsse, was eine verstärkte Nachfrage nach dauerhafteren Gütern auszulösen imstande wäre und die Reparaturfreundlichkeit der Produkte tendenziell verbessern würde.¹⁹²

¹⁸⁸ Daly, Herman E.: a. a. O., S.16.

¹⁸⁹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.46.

¹⁹⁰ So erwähnt Georgescu-Roegen einen Vorschlag, den er bezüglich des Problems des Nord-Süd Ungleichgewichts der Verteilung des Reichtums gemacht hat, nämlich Menschen zu erlauben, sich das Land, in dem sie Leben möchten, frei auszusuchen. Dieser Vorschlag wurde trotz seiner bestechenden Einfachheit Georgescu-Roegens Aussage nach nur sehr lauwarm aufgenommen. vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.378.

¹⁹¹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.47.

¹⁹² Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.378.

Daly kritisiert die von der Ökonomie unterstellte „Unersättlichkeit“ der Bedürfnisse, die er in der Annahme eines immer positiven Grenznutzens weiterer Güter sieht.¹⁹³ Er erläutert, daß es zu Absurditäten führe, wenn man davon ausginge, daß der Grenznutzen eines einzelnen Gutes nicht abnimmt, da in diesem Falle das gesamte Einkommen für das am höchsten bewertete Gut ausgegeben würde. Aus diesem Sachverhalt schließt er, daß der Grenznutzen der gesamten Einkommensverwendung abnimmt.¹⁹⁴ Dabei ignoriert er allerdings mögliche Komplementär- und Synergieeffekte zwischen den einzelnen Gütern. Außerdem wird nicht auf die Möglichkeit eingegangen, daß es evtl. eine unendliche Zahl weiterer Güter gibt, die bei einer entsprechenden Höhe des Einkommens beginnen nachgefragt zu werden. Aus der Tatsache eines abnehmenden Grenznutzens schließt er weiter, daß dieser an irgendeinem Punkt Null und darauf folgend negativ wird. Dies ist allerdings nicht zwangsweise so, da der Grenznutzen auch bei asymptotischer Annäherung an einen beliebigen (z.B. auch positiven) Wert abnehmen kann. Er geht aber, wie gesagt, davon aus und sieht darin einen Hinweis darauf, daß an irgendeinem Punkt weiteres physisches Wachstum der Wirtschaft den Mitgliedern der Gesellschaft letztlich keinen zusätzlichen Nutzen mehr bringt. Dabei geht er allerdings implizit von einer konstanten Bevölkerungszahl aus. Gründe für die Notwendigkeit der Begrenzung oder gar Reduktion der Bevölkerungszahl leitet er an anderer Stelle vom Entropiegesetz ab.

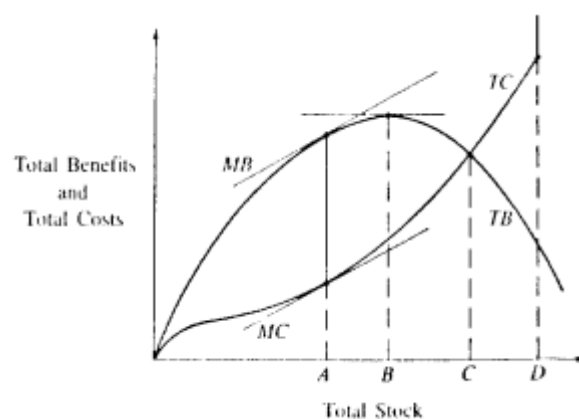


Abb. 4: Negativer Grenznutzen (Quelle: Daly, Herman E.: a. a. O., S.28)

¹⁹³ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.20.

¹⁹⁴ Ebenda, S.87.

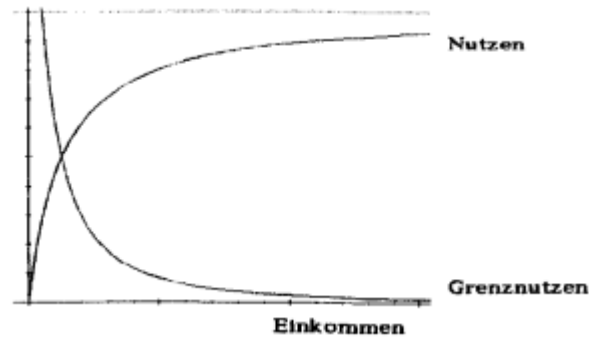


Abb. 5: Nichtnegativer Grenznutzen

Das Preissystem kann laut Daly der Menschheit nur bedingt helfen, mit absoluter Knappheit umzugehen. Daly sieht in niedriger Entropie den letztendlich einzigen knappen Faktor, und dieser Faktor ist nicht nur relativ knapp zu anderen, sondern, da er eben der einzige ist, absolut knapp. Relative Knappheiten werden, wenn die „richtigen“ Preise sich bei vollkommener Internalisierung aller externen Effekte einstellen, den Konsumenten so vermittelt, daß die Gesamtwohlfahrt aller maximiert wird, indem die Güter entsprechend ihrer Knappheit teurer oder billiger werden. So wird ein Faktor, der knapper wird auch teurer, aber wie, so fragt Daly, soll eine zunehmende Knappheit aller Faktoren über relative Preise vermittelt werden? „Richtige“ Preise erlauben es, die Last absoluter Knappheit auf die einfachste Weise zu tragen, die absolute Knappheit aber bleibt dadurch bestehen.¹⁹⁵ Diese Sichtweise Dalys unterstellt allerdings implizit, daß es keine Form der Bedürfnisbefriedigung gibt, die nicht auf dem Verbrauch von Ressourcen beruht. Außerdem ignoriert er die Fähigkeit des Menschen, innovative Techniken zu schaffen, die die Effizienz der Nutzung der letztendlich knappen Ressource, der niedrigen Entropie, verbessern, d.h. die absolute Knappheit zu lindern. Auch Georgescu-Roegen warnt davor, sich auf den Preismechanismus zu verlassen: So erklärt er, die unverantwortliche Abholzung unzähliger Berge habe stattgefunden, weil „der Preis gestimmt“ habe und sei erst durch quantitative Restriktionen beendet worden.¹⁹⁶ Auch das deutsche Waldgesetz, das die Wiederaufforstung zwingend vorschreibt, stellt eine Regelung nicht über den Preis, sondern über eine Verdünnung der Eigentumsrechte der Waldbesitzer dar.

¹⁹⁵ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.41-43.

¹⁹⁶ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.377.

Die Notwendigkeit der Zielfindung bzw. des Entwurfs eines (Fern-) Ziels für die Politik wird von Daly nachhaltig hervorgehoben. Diese Notwendigkeit sieht er nicht nur für die Vorgabe eines Oberziels, einer Vision der „anzustrebenden“ Ausgestaltung der Welt, sondern auch der Unterziele, d.h für ihn der Institutionen, die es ermöglichen, das Ziel zu verwirklichen.¹⁹⁷

Als Oberziel sieht er einen Wachstumsstopp an, verbunden mit einer Quotierung des Abbaus nichterneuerbarer natürlicher Ressourcen. Als Unterziele werden, sozusagen als „Zusatz“ zum bestehenden marktwirtschaftlichen System, drei Institutionen entwickelt. Diese sollen Verhindern, daß die Menschheit mit ihren natürlichen Grenzen in Konflikt gerät. Kontrolliert werden soll auf der einen Seite die Größe der Bevölkerung (die Gesamtzahl der Geburten). Hierbei beruft er sich auf die oben schon angeführten Ideen von Malthus.¹⁹⁸ Auf der anderen Seite fordert er eine Kontrolle des Ausmaßes der Dissipation von Energie und Materie durch das Wirtschaftssystem (aggregate throughput).¹⁹⁹ Diese Kontrolle soll, wie oben ausgeführt, auf der Basis physischer Quoten stattfinden, da das Preissystem nach Dalys Auffassung nicht imstande ist, absolute Knappheiten richtig zu vermitteln.²⁰⁰ Die Quoten werden über Märkte effizient alloziiert. Drittes Element ist eine Verteilungspolitik, die zu große Ungleichheit in der Einkommensverteilung verhindert, wobei er sich auf Marx beruft,²⁰¹ der, im Gegensatz zu der Argumentation z.B. von Malthus, den Grund für Armut in der Einkommensverteilung sah.

Die drei Institutionen, die Daly vorschlägt, sind: 1. handelbare Geburtenlizenzen, 2. Abbauquoten, die vom Staat versteigert werden und 3. Ober- und Untergrenzen für das jeder Person zukommende Einkommen und eine Obergrenze für das jeder Person zukommende Vermögen.²⁰² Im folgenden wird näher auf die Ausgestaltung dieser Institutionen eingegangen.

¹⁹⁷ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.50.

¹⁹⁸ Vgl. z.B. Daly, Herman E.: a. a. O., S.169.

¹⁹⁹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.51.

²⁰⁰ Ebenda.

²⁰¹ Vgl. z.B. Daly, Herman E.: a. a. O., S.168-169.

²⁰² Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.53.

Zu (1.):

Bei der Idee transferierbarer (d.h. auch handelbarer) „birth licenses“ beruft Daly sich auf einen Vorschlag von Boulding aus dem Jahr 1964. Dieser Vorschlag hat nach Dalys Ansicht den Vorzug eines minimalen Eingriffs in die persönliche Freiheit.²⁰³ Der Vorschlag besteht darin, jeder Person (oder jeder Frau) ein bestimmtes Kontingent an ein- zehntel-Kind („deci-child“²⁰⁴) Geburtslizenzen zuzuteilen. Ursprünglich (bei Boulding) sollte es sich um 2,1 Einheiten handeln, von denen bei jeder Geburt, unabhängig vom weiteren Schicksal des Kindes, eine Einheit „verbraucht“ würde. Daly würde allerdings eine Variante bevorzugen, bei der 2,0 Einheiten an jede Frau oder 1,0 Einheiten an jeden Menschen ausgegeben würden, die, wenn sie nicht ausgenutzt werden, weil z.B. die Frau vorher stirbt, vererbt werden können. Daly sieht hierin den Vorteil, daß klassenspezifische Unterschiede in der Kindersterblichkeit ausgeglichen werden.²⁰⁵ Allerdings wäre es konsequenter, für ein gestorbenes Kind den Eltern einfach ein neues Zertifikat auszustellen, anstatt, wie von Daly vorgeschlagen, die Lizenz des Kindes an die Eltern oder an eine andere Person fallen zu lassen.

Daly tritt zwei Einwänden gegen diesen Plan entgegen. Zum einen dem, dieses System bevorzuge „die Reichen“. Er sagt, „die Reichen“ seien als Reiche immer bevorzugt, sein System baue allerdings diese Bevorzugung dadurch ab, daß die Primärverteilung der Geburtenlizenzen kostenlos gleichmäßig über die Bevölkerung erfolgt und auch dadurch, daß die Reichen, die sich mehr Kinder „leisten“, dadurch ein niedrigeres Pro-Kopf-Einkommen (auf die gesamte Familie bezogen) erzielen.²⁰⁶ Aus der Sicht des Kindes betont Daly den Vorteil, wahrscheinlicher in einer reicheren Familie geboren zu werden.²⁰⁷ Dies stellt aber zumindest eine merkwürdige Formulierung dar, da von einer Wahrscheinlichkeit nur für ein noch nicht gezeugtes, d.h. in noch keiner Weise existentes Kind gesprochen werden kann. Dalys Feststellung kann also strenggenommen nur für ein statistisches

²⁰³ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.57.

²⁰⁴ Ebenda.

²⁰⁵ Ebenda.

²⁰⁶ Ebenda, S.57-58.

Durchschnittskind gelten, nicht für irgendein wirkliches Kind, da jedes wirkliche Kind genau die Eltern hat, die es hat. Für einen wichtigeren Einwand hält er die Frage, was mit „Gesetzesbrechern“ im Sinne einer Geburt eines unlicenzierten Kindes zu geschehen habe. Er hält eine Bestrafung, wie in jedem anderen Fall einer Übertretung eines Gesetzes für notwendig und richtig. Das Kind wäre zur Adoption freizugeben und der Staat müßte entsprechend 1,0 Kinderlizenzen vom Markt nehmen. Er betont, daß die Strafen nicht sehr drastisch sein müssen, da das Gesetz nur zufriedenstellend arbeiten würde, wenn es auf einer breiten Akzeptanz bei der Bevölkerung aufbauen könne.²⁰⁸

Daly betont, viele Menschen würden durch die Direktheit dieses Plans und das Gefühl, das Leben als Wert an sich werde profanisiert, abgeschreckt. Er hält dagegen, daß „Once we accept the fact that the price system is the most efficient mechanism for rationing the right to scarce life-sustaining and life-enhancing resources, then perhaps rather than ‘money profaning life’ we will find that ‘life sanctifies money’“. ²⁰⁹

Als weiteren Vorteil sieht Daly den größeren Ernst und die angemessene Vorbereitung auf die Verantwortung der Elternschaft.²¹⁰

Da Daly die Akzeptanz des Plans zur Geburtenkontrolle für relativ niedrig hält, auch verglichen mit seinen anderen Vorschlägen, lenkt er ein, daß dieser Plan nicht notwendig für sein Gesamtkonzept sei, notwendig sei allein irgendeine wirksame Form der Geburtenkontrolle.

Zu (2.):

Die Kontrolle des Abbaus, Abbau im weitesten Sinne, von Ressourcen begrenzt, so argumentiert Daly, auch den Ausstoß an Schadstoffen. Er führt dies in seiner Argumentation auf die Tatsache zurück, daß das, was sich beim Verlassen des Produktionsprozesses mit hoher Entropie als Verschmutzung darstellt, wegen des

²⁰⁷ Ebenda, S.58.

²⁰⁸ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.58.

²⁰⁹ Ebenda, S.60.

²¹⁰ Ebenda, S.61.

Gesetzes von der Erhaltung der „Materie- Energie“²¹¹ beim Eintritt in den Produktionsprozeß mit niedriger Entropie spiegelbildlich vorhanden sein muß. Auf dieser Basis präferiert er die Kontrolle der „Input-“ Seite, da es sich hierbei um eine wesentlich kleinere Anzahl von Stätten handelt, an denen geschürft und gefördert wird oder Rohstoffe die Grenze des Landes überschreiten.²¹²

Daly plädiert zur Kontrolle des Abbaus von Ressourcen für Quoten. Diese haben seiner Ansicht nach gegenüber Steuern folgende Vorteile: Zum einen ist das, was man kontrollieren will, eine Menge, kein Preis. Die Beziehung, die zwischen beiden über die Nachfragekurve besteht, ist unsicher. Denn Nachfragekurven können sich verschieben, und ihr Verlauf und ihre Lage sind in der Regel nicht bekannt. Zum anderen gilt für Steuern dasselbe Argument, das Daly schon in Bezug auf die Unfähigkeit der Preise, eine generelle Verknappung zu signalisieren, vorgebracht hat, da Steuern über eine Veränderung der relativen Preise wirken. In einem Ansteigen aller relativen Preise kann er nur einen Inflationsschub, aber kein Lenkungssignal sehen. Nach Dalys Ansicht schließen Ökonomen häufig aus der Tatsache, daß eine Knappheit bei einem Gut durch eine Veränderung der relativen Preise bzw. bei einem externen Effekt durch eine Pigou-Steuer gelöst werden kann, daß eine Knappheit aller Güter genauso über das Preissystem bzw. über Steuern geregelt werden könne. Er bezeichnet diesen Schluß als „fallacy of composition“.²¹³ Als letztes Argument zu diesem Punkt führt er noch an, daß es sicherer sei, unerwartete Schwankungen auf dem Rohstoffmarkt in Preisschwankungen, wie bei quotierten Mengen, sich äußern zu lassen anstatt in Mengenschwankungen, wie bei der Steuerlösung zu befürchten wäre, da das Ökosystem nicht durch Preise beeinflusst wird, sondern durch physische Vorgänge, durch Mengen.²¹⁴

Bei seinem Vorschlag zur Festlegung der Quoten orientiert er sich allerdings etwas inkonsequent an Preisen; er greift nämlich auf einen Vorschlag von Ise aus dem Jahr 1925 zurück, der dafür plädierte, den Preis für nichterneuerbaren Res-

²¹¹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.61.

²¹² Ebenda, S.61.

²¹³ Ebenda, S.62.

²¹⁴ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.62.

sourcen an dem Preis der „ähnlichsten“ erneuerbaren Ressource zu orientieren. Daly schlägt vor, entsprechend dieser Regel die Quoten festzulegen, wobei er die von ihm wiederholt betonten Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Verlaufs der Nachfragekurven unterschlägt.²¹⁵ Der Preis jeder erneuerbaren Ressource soll sich durch die Festlegung der Quoten ergeben, die eine Erneuerung der Ressourcen gewährleisten.²¹⁶ Dies bedeutet, daß z.B. Holz, wie im deutschen Waldgesetz festgelegt, nur in dem Ausmaß eingeschlagen werden darf, wie neue Bäume nachwachsen. Weiterhin müßte hierbei noch nach Sorten differenziert werden, wie man bei dem Beispiel Holz an den Sturmschäden des Jahres 1990 und den damit verbundenen Borkenkäferproblemen ansatzweise ablesen kann. Hierbei ergeben sich allerdings Schwierigkeiten, da man aus dem komplexen Charakter des Zusammenspiels in Ökosystemen, und nicht erneuerbare Ressourcen stellen Teile solcher dar, zu lernen beginnt, daß eine gezielte Steuerung äußerst schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist. Auf diese Schwierigkeiten geht Daly leider nicht genauer ein.

Als pragmatisch schätzt er seinen Vorschlag ein, die Quoten bei Einführung des Systems am status quo zu orientieren, um sie dann peu a peu anzupassen.²¹⁷

Zu (3.):

Da in einer steady-state-economy kein ewiger Zuwachs an Wohlstand mehr möglich sein wird, ist die Begrenzung des Einkommens der einzelnen wie die Begrenzung des Vermögens notwendig, um soziale Härten abzufangen und die Akzeptabilität des Konzepts zu gewährleisten. Dalys Ansicht nach „verspricht“ die Marktwirtschaft, vor allem die amerikanische, allen die Möglichkeit, im Laufe des Wachstums vom wachsenden Kuchen auch ein immerzu wachsendes Stück abzubekommen („...because growing consumption is what buys off social conflict and

²¹⁵ Ebenda, S.64-65.

²¹⁶ Ebenda, S.67- 68.

²¹⁷ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.65.

keeps attention diverted from the divisive issue of distribution of wealth and income.“²¹⁸).

Auch Zimmermann weist darauf hin, daß Wachstum in der Vergangenheit wohl auch dazu gedient hat, das Verteilungsproblem (den „Verteilungskampf“) zu entschärfen. Er sieht in den Bemühungen des politisch-administrativen Systems eindeutig den Versuch, nur unter der Maßgabe weiteren stetigen Wachstums das Umweltproblem (als Allokationsproblem) in Angriff zu nehmen.²¹⁹ Tendenziell ähnlich äußern sich auch Müller und Ströbele²²⁰ in ihrem Lehrbuch zur Wachstumstheorie.

Diese Vorgehensweise wird in Dalys Entwurf (er vertritt die Ansicht: nicht nur in seinem Entwurf, sondern mit Sicherheit auch in der Realität) unmöglich, also muß „soziale Gerechtigkeit“ anders gewährleistet werden.²²¹ Er verweist weiterführend noch auf Gedanken, die sich durch den Begriff „soziale Verpflichtung des Eigentums“ charakterisieren lassen, die sich schon als Grenzen des persönlichen Reichtums bei Locke und den ersten amerikanischen Präsidenten finden.

Als eine Möglichkeit der praktischen Umsetzung schlägt Daly Grenzsteuersätze von 100% oberhalb der gesetzten Obergrenzen bei der progressiven Einkommens- wie Vermögenssteuer vor.²²² Weiterhin plädiert er für eine wirkungsvolle Kontrolle von multinationalen Unternehmen und Monopolen.

In diesem Zusammenhang machen Faber/Stephan darauf aufmerksam, daß, so nützlich die gedankliche Trennung von Allokations- und Verteilungsfragen für die Analyse auch sein kann, eine Synthese folgen muß, da beide Fragen letztlich nicht

²¹⁸ Daly, Herman E.: a. a. O., S.152.

²¹⁹ Zimmermann, Klaus: Umweltpolitik und Verteilung – Sozio- ökonomische Hintergründe einer „modernen“ Verteilungsfrage, in: Hamburger Jahrbuch für Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik, hrsg. von Heinz Dietrich Ortlieb / Bruno Molitor / Werner Krone, 22. Jahr (1977), S.93-111; zitiert nach dem Wiederabdruck in: Umweltökonomik – Beiträge zur Theorie und Politik, hrsg. von Hans Möller / Rigmor Osterkamp / Wolfgang Schneider, (Neue Wissenschaftliche Bibliothek, hrsg. von Gerard Gäfgen), Königstein/Ts. 1982, S.235-251, hier S.235.

²²⁰ Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.1.

²²¹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.54- 55.

²²² Ebenda, S.56.

zu trennen sind. Sie machen Verteilungsprobleme als häufigen Grund für das Ausbleiben offensichtlich notwendiger Allokationsänderungen aus.²²³ „Verteilungsprobleme liegen wie ein Netz über der Gesellschaft und verhindern Änderungen.“²²⁴ Sie gestehen aber andererseits auch zu, daß dadurch auch vorschnelle Eingriffe in das komplizierte wirtschaftliche und soziale System vermieden werden.

Daly sieht einen Teil dessen, was in der Regel als Umweltpolitik im engeren Sinne angesehen wird, nämlich die Bekämpfung übermäßiger Umweltverschmutzung, als durch die Quotierung der physischen Inputs des Wirtschaftssystems quasi nebenher lösbar an. Er geht dabei davon aus, daß die Stoffe, die sich am „Ende“ des Wirtschaftsprozesses als Verschmutzung zeigen, dadurch gekennzeichnet sind, daß sie in anderer Zusammensetzung in übermäßigem Umfang Input des Wirtschaftsprozesses waren.

Ein wichtiges Prinzip bei der Umweltpolitik im Sinne Dalys ist, genügend „Abstand“ zur effektiven Grenze der Belastbarkeit des Ökosystems zu lassen. Die effektive Grenze der Belastbarkeit ist nämlich nicht bekannt, und der Spielraum für Irrtümer wird um so kleiner, je näher man der Grenze kommt. Entsprechend rigider muß man in die marktliche Mikrokoordinierung eingreifen, um Katastrophen zu verhindern. Er sagt, die Analogie vom „Raumschiff Erde“ benutzend:

„We lack the knowledge and ability to assume detailed control of the spaceship, so therefore we must leave it on ‘automatic pilot’, as it has been for eons. But the automatic pilot only works when the actual load is small relative to the conceivable maximum.“²²⁵

Er spricht auch von „the complex evolutionary adaption of the biosphere to a fixed flow of solar energy“.²²⁶ Dies erinnert an die Betonung der Komplexität und der Interdependenzen in den Arbeiten von Prigogine oder auch Lovelock.

²²³ Vgl. Faber, Malte / Stephan, Gunter: Umweltschutz und Technologiewandel, a. a. O., S.3.

²²⁴ Faber, Malte / Stephan, Gunter: Umweltschutz und Technologiewandel, a. a. O., S.3.

²²⁵ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.51.

²²⁶ Ebenda, S.44.

Wie an der Beschreibung seiner Vorschläge abzulesen ist, plädiert Daly für eine staatliche Vorgabe der Rahmenbedingungen, die die Begrenzungen durch das Entropiegesetz widerspiegeln soll, aber eine weiterhin über den Markt koordinierte mikroökonomische Allokation. Er faßt dies unter dem Stichwort: „Makrostabilität und Mikrovariabilität“²²⁷ zusammen. Auch Georgescu-Roegen betont, daß er zwar den Marktmechanismus nicht für fähig hält, Umweltkatastrophen, auch im weiten Sinne einer Erschöpfung nichterneuerbarer Ressourcen, zu vermeiden. Er hält ihn aber für die Allokation von Ressourcen innerhalb derselben Generation für notwendig.²²⁸

Daly begründet seine Bevorzugung einer gleichmäßigeren Einkommensverteilung mit dem Argument, damit ließe sich ein Wohlfahrtsgewinn durch Umverteilung realisieren. Er kommt zu diesem Schluß, da er einen interpersonellen Nutzenvergleich für möglich hält. Er wehrt sich dagegen,²²⁹ daß eine (seiner Ansicht nach) an sich relativ klare Sache durch „Spitzfindigkeiten“ verwischt wird. So fragt er, ob eine Beinamputation Person A stärker schädigt (eine größere Nutzeneinbuße bewirkt) als ein Nadelstich Person B, und beantwortet diese Frage mit einem „selbstverständlich“.²³⁰ „At the margin, personal tastes differ, but inframarginally the similarities are overwhelming.“²³¹ Weiterhin sagt Daly, daß Schmerzen leichter zu vergleichen sind, was z.B. beim Schmerzensgeld in gewissem Umfang ja auch versucht wird, als „Glück“ bzw. Nutzen. Daraus folgert er, daß Schmerzen zu minimieren ein wesentlich sinnvollerer Ziel ist als die Gesamtwohlfahrt aller zu maximieren.²³²

Er weist darauf hin, daß es unendlich viele Pareto-Optima für eine gegebene Gesellschaft gibt; nämlich für jede Einkommensverteilung genau ein Optimum. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, daß im Rahmen des Pareto-Kriteriums kein

²²⁷ Daly, Herman E.: a. a. O., S.51.

²²⁸ Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1043 Fn.28.

²²⁹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.80-81.

²³⁰ Ebenda, S.81.

²³¹ Ebenda.

²³² Ebenda.

interpersoneller Nutzenvergleichs durchgeführt wird.²³³ Auf diesen Punkt weist auch Siebert²³⁴ hin. Er erläutert, daß es sich dabei um „partielle Rangordnungen“ handelt. Diese Pareto-Optima sind aber, so Daly, konsistent mit Massenelend und sozialer Ungerechtigkeit.

Auch auf das Argument, daß sich schon genügend Spekulanten finden würden, die den durch die zukünftige Knappheit ausgelösten zukünftigen höheren Preis der Ressource zum Anlaß nähmen, jetzt einen entsprechenden Vorrat davon anzulegen, geht Daly ein. Zum einen begegnet er dem mit einem nicht sehr überzeugenden Argument, nämlich dem, daß exponentielle Erschöpfung von vielen Ressourcenbesitzern nicht vorausgesehen werde, da sich exponentielle Entwicklungen als anti-intuitiv darstellen.²³⁵ Es gibt allerdings keinen Grund anzunehmen, daß sich kein Spekulant findet, der diesen Effekt erkennt. Zum anderen spricht er das Problem der durch das Diskontieren entstehenden Minderschätzung der Zukunft an. Er geht jedoch nicht auf die Gründe für das existieren positiver Zinssätze ein, außer durch einen Hinweis auf das Wachstum, das zukünftige Erträge garantiert.²³⁶ Eine Erklärung des Zinssatzes durch die individuelle Zeitpräferenzrate sieht er nur als pseudowissenschaftliche Weise an, auszudrücken, daß einem zukünftige Generationen nichts wert seien.²³⁷ Auf die Erklärung der Zeitpräferenz durch die Unsicherheit über das eigene Überleben wie auch über die Rahmenbedingungen geht er nicht ein.

Er wendet sich auch gegen die Vorstellung, das Bruttosozialprodukt würde der Drei-Sektoren-Hypothese folgend in immer stärkerem Ausmaß im Dienstleistungssektor erwirtschaftet und dieser brauche keine physischen Inputs. Auch der Dienstleistungssektor verbraucht Ressourcen im physischen Sinne, wenn auch tendenziell eventuell weniger als „harte“ Industrieproduktion. Alleine die Betrachtung der für ein Bankensystem, das heutigen Maßstäben genügt, nötigen Infrastruktur, die eben auch nicht nur aus abstrakten „Informationskanälen“ besteht,

²³³ Ebenda, S.85.

²³⁴ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.148-149.

²³⁵ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.113.

²³⁶ Ebenda.

sondern aus physisch existenten Leitungen, Funkstationen für Richtfunkstrecken, Gebäuden, evtl. Satelliten, Computern usw., zeigt, daß eine Dienstleistung keine von physischen Größen losgelöste wirtschaftliche Betätigung darstellt. Dabei ist weiterhin noch zu beachten, daß auch die Leitungen, Gebäude, Computer usw. wiederum in Industriebetrieben hergestellt werden müssen.²³⁸

Daly verweist darauf, daß der Preis natürlicher Ressourcen kein „normaler“ Preis sei, sondern, da er sich nur aus Extraktions- oder Sammelkosten, nicht aus Produktionskosten ergibt, eine „Subvention durch die Natur“ darstelle.²³⁹ Er gesteht zu, daß es wahr sei, daß „differential rents“ an die Eigentümer der natürlichen Ressource gezahlt werden, diese stünden aber in keiner Relation zu den Produktionskosten der Ressource in situ (im Boden).²⁴⁰ Auch auf der Nachfrageseite bildet sich ein „zu niedriger Preis“, da die Nachfrage zukünftiger Generationen, der zukünftige Bedarf, nicht in die Preisbildung eingeht.

Ein zentraler Punkt Dalys²⁴¹ ist seine Kritik am Prinzip der Maximierung bzw. Optimierung (im Sinne z.B. einer Wohlfahrtsmaximierung). Er begründet das mit der Unsicherheit über die „wirklichen“ Kosten, die nicht zu erfahren sind, da sie sehr umfassende Informationen über das gesamte Ökosystem Erde benötigen würden. Wie im Zusammenhang mit der sogenannten Chaos-Theorie schon angesprochen, setzt sich in den Naturwissenschaften immer stärker der Gedanke durch, daß solche Systeme sich einer Berechnung über längere Zeiträume entziehen. Er benutzt den Begriff des „web of ecological interdependence“,²⁴² um den komplexen Charakter dieses Systems zu kennzeichnen.

Georgescu-Roegen²⁴³ schätzt das Problem der Verteilung des Wohlstands über alle Generationen als zentrales Problem der Menschheit ein. Er sieht keine Mög-

²³⁷ Ebenda, S.142.

²³⁸ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.118- 119.

²³⁹ Ebenda, S.33.

²⁴⁰ Ebenda.

²⁴¹ Ebenda, S.35.

²⁴² Ebenda.

²⁴³ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.374.

lichkeit für die Ökonomie, dieses Problem zu lösen, er sagt sogar: „Economics cannot even dream of handling this problem“.²⁴⁴

Die Ökonomie beschäftigt sich mit der optimalen Allokation knapper Ressourcen; Daly bzw. Georgescu-Roegen artikulieren allerdings ihren Eindruck, es handele sich vielmehr um die optimale Allokation knapper Ressourcen innerhalb einer Generation. Daly verleiht seiner Überzeugung Ausdruck, der Markt sei nicht fähig, eine intertemporale Allokation über mehr als eine Generation zu leisten.²⁴⁵ Im Endeffekt handelt es sich seiner Aussage nach bei dieser Fragestellung nicht mehr um ein Allokations-, sondern um ein Verteilungsproblem („distribution“). Einen ähnlichen Standpunkt formuliert auch Siebert,²⁴⁶ wobei er beide Aspekte „gleichzeitig“ nebeneinander bestehen sieht. Im Gegensatz dazu sprechen z.B. Müller und Ströbele²⁴⁷ nur von einem Allokationsproblem.

Georgescu-Roegen erläutert, daß ein elementares Prinzip der Ökonomie besagt, daß der einzige Weg einem einmaligen Gegenstand, z.B. der Mona Lisa, einen Preis zuzumessen darin besteht, absolut jeden bieten zu lassen. Er sieht ein vergleichbares Problem bei der Nutzung natürlicher Ressourcen. Jede Generation kann so viele natürliche Ressourcen nutzen wie sie erreichen kann, da niemand gegen die gesamte Generation bieten kann, da zukünftige Generationen auf heutigen Märkten nicht präsent sein können.²⁴⁸ Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß auf der einen Seite die Nachfrager ein Interesse am Wohlergehen ihrer Kinder und Enkel haben und auf der anderen Seite die Eigentümer der natürlichen Ressourcen auf zukünftige Knappheit spekulieren könnten, was bedeutet, daß sie ihren Kindern und Enkeln einen höheren Wert der Erbschaft vermachen könnten. Denn das konkrete Mitgefühl für einen Nachfahren in 10.000 Jahren ist wohl nur

²⁴⁴ Ebenda.

²⁴⁵ Daly, Herman E.: a. a. O., S.124.

²⁴⁶ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.151.

²⁴⁷ Vgl. Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.1.

²⁴⁸ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.374; sowie Daly, Herman E.: a. a. O., S.124; und Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.150, der aus der Tatsache, daß zukünftige Generationen nicht mit am Verhandlungstisch sitzen, ableitet, daß die Diskontrate bei Berechnungen für wirtschafts- bzw. umweltpolitische Entscheidungen evtl. niedriger gewählt werden muß.

sehr schwach ausgebildet.²⁴⁹ Dies hängt auch damit zusammen, daß eine deutliche Unsicherheit darüber besteht, ob es in 10.000 Jahren noch Menschen gibt.²⁵⁰ Trotzdem plädiert Georgescu-Roegen für ein verstärktes Verantwortungsgefühl für die Nachkommen. Auch Müller und Ströbele treffen die Aussage, daß die Frage nach der Wünschbarkeit von Wachstum im Rahmen der durch die Produktionsmöglichkeiten gegebenen Restriktionen durch eine Zielfunktion, die eine Nutzenbewertung enthält, beantwortet werden muß.²⁵¹ Im Sinne Georgescu-Roegens und Dalys bleibt allerdings zu fragen, wessen Nutzenfunktion: die der heutigen oder die der zukünftigen Generationen? Und wenn man die Nutzenbewertung zukünftiger Generationen für relevant hält, so bleibt die Frage: woher kann man diese Nutzenbewertung bekommen? Weiterhin stellt sich die Frage, ob diese Nutzenbewertung zukünftiger Generationen nicht unter Umständen von heutigen Entscheidungen beeinflußt ist.

Auf weitere Probleme beim Argumentieren mit wohlfahrtsökonomischen Instrumenten in diesem Zusammenhang wird im Rahmen des nächsten Gliederungspunktes noch eingegangen.

Das von Daly und Georgescu-Roegen dargestellte Bild der Ökonomie entspricht im wesentlichen dem, was Müller und Ströbele²⁵² als „Speisekammerökonomie“ bezeichnen, also einer Ökonomie, die sich ausschließlich aus einer nichterneuerbaren Ressource speist und in gewissem Sinne nichts eigentlich „produziert“, sondern nur etwas verändert, so wie die Dinge aus einer Speisekammer evtl. noch gekocht werden, um sie verzehrbar zu machen. Diese Betrachtungsweise ergibt sich durch eine Abgrenzung zwischen dem, was sie als ökonomisches System bezeichnen und dem „Rest“. Diese Abgrenzung ist „sehr weit außen“ angesiedelt. Es wird der qualitative Unterschied zwischen den (physischen) Inputs des gesamten ökonomischen Systems, nämlich knappen wertvollen Materialien und Energieträgern, und den (physischen) Outputs, dem Müll, hervorgehoben. Das

²⁴⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.374.

²⁵⁰ Ebenda, S.376.

²⁵¹ Vgl. Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.8.

²⁵² Vgl. Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.5-6.

Paradoxon, das diese Betrachtungsweise zeigt, nämlich den gesamten ökonomischen Prozeß als eine Umwandlung von wertvollen in wertlose Dinge aufzufassen, löst sich nach Ansicht von Georgescu-Roegen dadurch auf, daß man erkennt, was der „eigentliche“ Output des Wirtschaftens ist. Er sieht diesen „eigentlichen“ Output in dem schlecht zu erfassenden („mysterious“) immateriellen Flux der Lebensfreude („enjoyment of life“).²⁵³

Das, was von Daly und Georgescu-Roegen als anzustrebender Entwurf eines dauerhaft möglichen Wirtschaftssystems angesehen wird und sich auch implizit bei Müller und Ströbele als Zukunftsperspektive wiederfindet, wird von den letztgenannten als „Indianerökonomie“ bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine Form des Wirtschaftens, die sich nur aus regenerativen natürlichen Ressourcen speist.²⁵⁴ Bei Müller und Ströbele ist mit diesem Begriff allerdings auch das Fehlen von Produktion und Kapitalbildung verbunden.

Daly betont, daß die Gesamtmenge der physischen Produktion, des Durchsatzes durch das Wirtschaftssystem nicht weiter wachsen darf, zumindest nicht über eine bestimmte Grenze hinaus. Die Zusammensetzung kann sich dabei allerdings ändern, wobei es aber ein Problem bei der Bestimmung des „gleichen“ Volumens bei unterschiedlicher Zusammensetzung gibt.²⁵⁵ Er sagt, wenn man „Wachstum“ zum Kennzeichnen von quantitativem Wachstum benutze und „Entwicklung“ zum kennzeichnen von qualitativer Veränderung (der Zusammensetzung des Bestandes), dann könne man eine steady-state-economy als sich entwickelnd bei null Wachstum charakterisieren.²⁵⁶ Auch Georgescu-Roegen geht auf die Begriffe Wachstum und Entwicklung ein. Seiner Ansicht nach ist der Begriff „Wachstum“ (growth) von einer nachhaltigen Verwirrung umgeben, die daher rührt, daß der Begriff mit verschiedenen Bedeutungen verwendet wird. Ein gravierender Unterschied, auf den vor allem Schumpeter nachhaltig hinwies, ist der zwischen

²⁵³ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: *Energy and Economic Myths*, a. a. O., S.353; sowie Georgescu-Roegen, Nicholas: *The Entropy Law and the Economic Process*, a. a. O., S.284.

²⁵⁴ Vgl. Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: a. a. O., S.6-7.

²⁵⁵ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., Fn. S.17.

²⁵⁶ Ebenda, S.17.

„Wachstum“ und „Entwicklung“ (development).²⁵⁷ Wachstum im Sinne dieser Unterscheidung, oft auch als quantitatives Wachstum bezeichnet, bedeutet eine Zunahme der produzierten Gütermenge bei gegebener Technologie. Im Unterschied dazu bedeutet Entwicklung eine Veränderung der Produktionstechnologie (technischen Fortschritt), ausgelöst durch Innovation. Der Begriff qualitatives Wachstum wird oft synonym verwendet, bezeichnet aber z.T. auch eine Kombination aus beiden Formen. Wachstum im obigen Sinne ist auf jeden Fall mit einer Zunahme des Ressourcenverbrauchs und der Umweltverschmutzung verbunden. Dies läßt sich hingegen bei Entwicklung (und bei qualitativen Wachstum im Sinne beider Verwendungen) nicht a priori sagen. Georgescu-Roegen weist darauf hin, daß in der Vergangenheit Wachstum und Entwicklung gemeinsam bzw. wechselwirkend (Innovationen induzieren Wachstum) auftraten, was er für diese Begriffsverwirrung mitverantwortlich macht.²⁵⁸ Er schlägt für die auftretende Kombination beider Effekte den Begriff „economic growth“ vor, um eine klare analytische Trennung der Phänomene zu gewährleisten. Dies ist die Größe, die mit Hilfe des Sozialprodukts gemessen wird (oder die man zumindest zu messen versucht). Dieses „ökonomische Wachstum“ ist seiner Aussage nach ein dynamischer Zustand, der nicht schlagartig abgebrochen werden kann. Georgescu-Roegen vergleicht diesen dynamischen Zustand mit einem Auto in einer Kurve. Auch in diesem Falle hätte ein plötzliches Abbremsen zur Folge, daß das Auto evtl. die Fahrbahn verläßt. Er erläutert, daß aus diesem Grunde, im Gegensatz zu der üblichen Erklärung der Ökonomen, das ökonomische Wachstum letztendlich nicht nur von der Entscheidung über Konsum heute oder morgen abhängt, sondern mit anderen Faktoren erklärt werden muß. Er sieht die Wurzeln des ökonomischen Wachstums tief in der menschlichen Natur verankert, der aus dem Drang Neues zu erfinden, aus der Lust am Experiment und am Erproben des Möglichen innovativ tätig wird.²⁵⁹

²⁵⁷ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.363.

²⁵⁸ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.363.

²⁵⁹ Eine ähnliche Sicht vertritt Rieseberg. vgl. Rieseberg, Hans-Joachim: Verbrauchte Welt – Die Geschichte der Naturzerstörung und Thesen zur Befreiung vom Fortschritt, Frankfurt am Main, Berlin 1988, S. 137-143.

Georgescu-Roegen beschreibt einen Teilaspekt bzw. eine Auswirkung dieser Gründe des ökonomischen Wachstums als „the circumdrome of the shaving machine“. Damit beschreibt er eine Situation, in der bessere Rasierer entwickelt werden, mit denen man sich schneller rasieren kann, um Zeit zu gewinnen, um neue Rasierer zu entwickeln, mit dem man sich noch schneller rasieren kann, um Zeit zu gewinnen, um neue Rasierer zu entwickeln.²⁶⁰ Die dadurch erzeugte Entwicklung treibt das (quantitative) Wachstum voran.²⁶¹

Eine strenge logische Verbindung besteht allerdings zwischen dem Auftreten beider Phänomene nicht, so daß eine Entwicklung ohne quantitatives Wachstum sehr wohl möglich ist. Dies liegt wohl auch mit am nächsten an der Idee des qualitativen Wachstums, wie sie in der Literatur vertreten wird.²⁶²

Daly betont wiederholt, daß das Konzept der steady-state-economy ein physisches Konzept ist, sich auf physische Größen bezieht. Nicht physisch Vorhandenes kann über alle Grenzen, oder, mit seinen Worten: „für immer“ wachsen; umgekehrt formuliert: *Nur* nicht physisch Vorhandenes kann ewig wachsen.²⁶³

Im Gegensatz zu dem Kapitalstock, wie er normalerweise in der Ökonomie definiert wird, wächst der „natürliche Kapitalstock“ der Bestand an natürlichen Ressourcen, in der Regel nicht, sondern schrumpft, so Binswanger.²⁶⁴ Er folgert daraus, daß es unbedingt notwendig ist, die produzierten Produktionsmittel als Gegenstand von Investitionen von den natürlichen Produktionsmitteln zu trennen, die Gegenstand von Desinvestitionen sind. Allerdings ist diese Sicht etwas vereinfacht, nur nichterneuerbare natürliche Ressourcen sind notwendigerweise Gegenstand von Desinvestitionen, nicht aber die erneuerbaren natürlichen Ressourcen. Bei diesen Desinvestitionen handelt es sich gewissermaßen um Lager-Desinvestitionen. Erneuerbare natürliche Ressourcen bilden sich „von selbst“ nach, wenn

²⁶⁰ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.378.

²⁶¹ Ebenda, S.364.

²⁶² Vgl. z.B. Meißner, Werner / Zinn, Karl Georg: Der neue Wohlstand – Qualitatives Wachstum und Vollbeschäftigung, München 1984.

²⁶³ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.17.

²⁶⁴ Vgl. Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, a. a. O., hier S.152.

man ihnen in ausreichenden Maße Gelegenheit dazu gibt. Allerdings wird dazu z.B. Platz, saubere Luft, sauberes Wasser u.ä. benötigt, so daß eine Konkurrenz zwischen dem Menschen und der „Erneuerungsmaschinerie“ der natürlichen Ressourcen entsteht. Daher führt Binswangers Aussage in der Regel auch zu Ergebnissen, die tendenziell in die richtige Richtung gehen.

Georgescu-Roegen verleiht seiner Unsicherheit darüber Ausdruck, ob die Menschheit einer Entwicklung zustimmen und sie auch tragen wird, die ihr seiner Ansicht nach primär Verzicht abverlangen wird. Er spekuliert, das Schicksal der Menschheit sei es vielleicht doch eher, eine kurze aber intensive und extravagante Zeit auf der Erde zu haben anstatt einer langen beschaulichen und langweiligen.²⁶⁵

Trotzdem plädiert er dafür, ihr „reinen Wein einzuschenken“, den Menschen einzugestehen, daß eine langsamere Ausbeutung der Erde ein Weniger an Komfort bedeutet und ein Mehr an Umweltschutz weniger für den Konsum übrig läßt.²⁶⁶

Allerdings kommt auch in diesen Aussagen eine Geringschätzung der Möglichkeiten, die technische Fortschritte bieten, zum Ausdruck. Die Chancen, die ein qualitatives Wachstum²⁶⁷ bietet, werden praktisch ignoriert.

3.1.5 Kritik: Warum dem nicht so ist

Ein relativ offen zu Tage tretendes Problem bei Dalys Ansatz ist sein Unvermögen, sich vom Gedanken der optimalen Größe eines „stabilen“ Wirtschaftssystems zu lösen. Er weist nicht nur selbst auf das Problem der Angabe²⁶⁸ der optimalen Größe hin, sondern auch darauf, daß solch ein Optimum unter anderem Annahmen über den Zeithorizont voraussetzt. Und eben diese (implizite) Festlegung des Horizonts (durch den Zinssatz) kritisiert er ja bei der Behandlung des Themas in der „herkömmlichen Ökonomie“. Wenn man anzweifelt, daß zukünftige Generationen in einem ausreichenden Maße innovativ sein werden, oder umgangssprachlich formuliert, daß „ihnen schon etwas Neues einfallen“ wird, dann kann man weder

²⁶⁵ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.379.

²⁶⁶ Ebenda, S.377.

²⁶⁷ Vgl. wiederum z.B. Meißner, Werner / Zinn, Karl Georg: a. a. O.

einen Zeithorizont noch eine positive Diskontrate zur Beurteilung der Abfälle, die die heutige Generation den zukünftigen Generationen hinterlassen, und der Tatsache, daß bestimmte Stoffe nicht mehr vorhanden sein werden, angeben.

Wie Georgescu-Roegen schon feststellt,²⁶⁹ dürfte man, wenn man zukünftigen Generationen auf Ewigkeit ein Weiterleben ermöglichen und sich nicht auf eine entsprechende Weiterentwicklung der Technik verlassen will, gar nichts mehr aus dem Bestand an nichterneuerbaren Ressourcen entnehmen. Unter dieser Maßgabe stellt eine steady-state-economy keine Lösung dar. In irgendeiner Form muß akzeptiert werden, daß man, um heute überleben zu können, zukünftigen Generationen etwas wegnehmen muß, wenn man auch andererseits ein Mehr an technischem Wissen und einen größeren Kapitalstock hinterläßt. Der Kapitalstock ist aber im Sinne Georgescu-Roegens mit dem Manko behaftet, sich abzunutzen, so daß, schlägt die Knappheit an physischen Ressourcen durch, er sich im Laufe von höchstens hundert Jahren zu einem großen Teil aufbraucht.

Auch Binswanger betont, daß durch entropie-effizientere Produktionstechnologie (qualitatives Wachstum) die natürlichen Grenzen *nicht so früh* erreicht werden, wie durch quantitatives Wachstum,²⁷⁰ was aber eben andererseits bedeutet, daß sie letzten Endes auf jeden Fall erreicht werden.

Daly weist völlig zu Recht darauf hin, daß wir das Raumschiff Erde nicht „fliegen“ können (im Sinne einer bewußten Steuerung), weil uns dazu, zumindest im Moment noch, die Fähigkeiten fehlen, so daß wir den Autopilot nutzen müssen. Aber ob der Autopilot in Verbindung mit einer steady-state-economy funktioniert, ist nicht zu bestimmen. Der Ansatz kann auf den Verbrauch von Energie bezogen werden, aber nicht auf die Dissipation von Material. Da aber mit endlichem Energieaufwand kein 100%iges Recycling möglich ist, wird den zukünftigen Generationen das, was heute „verloren“ geht, fehlen. Daly stellt selbst fest,²⁷¹ daß der Preis, den sein System den nichterneuerbaren Ressourcen beimessen wird, falls

²⁶⁸ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.52.

²⁶⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.367-368.

²⁷⁰ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.73.

²⁷¹ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.64.

keine im Sinne einer Substituierbarkeit vergleichbare erneuerbare Ressource existiert, schlicht die ethische Entscheidung repräsentiert, wie viel den nachfolgenden Generationen noch übrig gelassen werden soll.

Er²⁷² erklärt, daß die Verteilung der Kosten zwischen den Generationen nicht von vorneherein klar ist, da auf der einen Seite, wie von Ökonomen immer wieder betont wird, den nachfolgenden Generationen technischer Fortschritt (bzw. fortgeschrittene Technik) „vererbt“ wird, andererseits aber auch ein Weniger an Ressourcen und ein Mehr an immer gefährlicherem Abfall. Auf die Dauer wird aber seiner Ansicht nach der Anteil der negativen Effekte zunehmen, da der Effekt der Zunahme der Entropie stärker wird und niedrige Entropie zur Nutzung aller Technologie notwendig ist. Allerdings handelt es sich dabei mehr um einen fundierten Eindruck Dalys, als um eine nachweisbare Tatsache.

Wie im vorigen Gliederungspunkt ausgeführt, arbeitet Daly mit interpersonellen Nutzenvergleichen. Brown²⁷³ erklärt allerdings, daß das gesamte Instrumentarium der Wohlfahrtsökonomie nicht anwendbar ist, wenn es um Fragen zukünftiger Generationen bzw. grundlegende Entscheidungen über verschiedene Entwicklungspfade geht. Er führt aus, daß u.a. die Personen, die in dem einen Fall gewinnen oder verlieren, in dem anderen Fall evtl. gar nicht existieren. Dies führt dazu, daß man z.B. die Tatsache nicht geboren worden zu sein monetär oder doch zumindest in „Nutzeneinheiten“ bewerten müßte. Dieses Problem ist auch mit der von Daly propagierten Sicht des „im Großen und Ganzen“ nicht zu lösen. Im übrigen ist darauf hinzuweisen, daß Daly implizit davon ausgeht, daß die Wirtschaftssubjekte zumindest teilweise nicht wissen, was für sie „gut“ ist, er aber argumentiert, als ob er es wisse.

Daly erklärt, daß das Vertrauen in die Fortschritte der Technik, die die anstehenden Probleme schon lösen würden, nichts wert ist, da auch die Technik dem Entropiegesetz unterworfen ist. Andererseits ist, wie Baumol in dem oben zitierten

²⁷² Ebenda, S.123.

²⁷³ Vgl. Brown, Peter G.: Policy Analysis, Welfare Economics, and the Greenhouse Effect, in: Journal of Policy Analysis and Management, Vol. 7 (1988), No. 3, S.471-475, hier insbesondere S.473-474.

Aufsatz zeigt, bei entsprechenden technischen Fortschritten auch im Rahmen des Entropiegesetzes im Prinzip ein ewiges Wachstum auch der physisch basierten Größen möglich.²⁷⁴

Eine starke Verbindung zwischen den physischen Inputs des Wirtschaftssystems, den knappen Ressourcen, und den physischen Outputs, nämlich Abfällen im weitesten Sinne, wird von Daly, wie auch von Georgescu-Roegen gesehen. Daly argumentiert daher sinngemäß wie folgt: Wenn die „übermäßigen“ Inputs des Wirtschaftssystems reduziert werden, dann wird sich auch das Problem der Umweltverschmutzung quasi „von selbst“ lösen: „[...] since pollution is simply the other end of the throughput from depletion, limiting the input to the pipeline would naturally limit the output.“²⁷⁵

Diese Argumentation unterschlägt allerdings, daß die Giftigkeit bzw. Umweltrelevanz von z.B. Chlor stark davon abhängt, ob es als Chlorgas oder in einer chemischen Verbindung, wie z.B. als FCKW oder als Kochsalz vorliegt. Allgemeiner ausgedrückt: Umweltschädliche Abfälle zeichnen sich im allgemeinen weniger dadurch aus, daß sie relativ feinverteiltes Gegenstück der abgebauten Ressourcen sind, sondern vor allem dadurch, daß sie chemisch deutlich verändert, evtl. auch konzentrierter oder einfach nur am falschen Platz auftreten, wie z.B. das Ozon im photochemischen Smog.²⁷⁶ Es ist also weiterhin eine detaillierte Betrachtung der verschiedenen und zahlreichen Formen von Umweltverschmutzung notwendig. Dies zeigt z.B. auch das Beispiel des bleifreien Benzins, das bei seiner Herstellung einen höheren Rohöleinsatz erfordert als verbleites. Im Sinne der Argumentation Dalys wäre es also sehr gut möglich, daß er aufgrund der höheren Effizienz des Herstellungsprozesses des verbleiten Benzins zu dem Schluß käme, dieses sei „umweltfreundlicher“.

Das Problem der durch die von Daly propagierten Umverteilungspolitik verschwindenden Leistungsanreize (incentives) hält er selbst für nicht sehr drückend,

²⁷⁴ Vgl. Baumol, William J.: a. a. O.

²⁷⁵ Daly, Herman E.: a. a. O., S.64.

²⁷⁶ Mayer, Peter: Dicke Luft bei klarem Himmel, in: Stern, 42. Jahrgang (1989), Heft 23, S. 30-31.

da der Zwang zum Wachstum ja von der Gesellschaft genommen sei.²⁷⁷ Bei diesem Argument wird allerdings suggeriert, incentives seien nur in einer (physisch) wachsenden Gesellschaft von Bedeutung; Daly weist aber selbst mehrfach auf die Möglichkeit (und auch Notwendigkeit) weiterer Entwicklung hin. Es ist a priori nicht einzusehen, warum Leistungsanreize zur Entwicklung fortschrittlicher, weniger umweltbelastender Technik nicht von Bedeutung sein sollten.

Siebert²⁷⁸ gliedert seine Kritik der Vorschläge für einen Wachstumsstopp (eine steady-state-economy im Sinne Dalys) in zwei Teile: Zum einen geht er auf die Frage ein, welche Opportunitätskosten durch Einbußen bei der Erreichung anderer wirtschaftspolitischer Ziele zu erwarten sind, zum anderen auf die Frage, inwieweit ein Nullwachstum geeignet ist, mit den bestehenden Problemen der Umweltverschmutzung und Ressourcenübernutzung umzugehen.

Zum ersten Punkt bringt er folgende Argumente vor:²⁷⁹ Die Länder der dritten Welt haben weiterhin einen hohen Bedarf an zusätzlichen, auch lebensnotwendigen Konsumgütern und den zur Produktion derselben benötigten Investitionsgütern. Dieser Bedarf wird sich in absehbarer Zeit aufgrund des Bevölkerungswachstums noch erhöhen. Eine weitere Verschärfung dieser Problematik ist durch die Verbesserung der medizinischen Versorgung in diesen Ländern gegeben, da nach bisherigen Erfahrungen davon ausgegangen werden muß, daß eine verbesserte medizinische Versorgung zwar die Lebenserwartung vergrößert, auf die Geburtenrate aber vorerst praktisch keinen Einfluß hat. Er sagt wörtlich: „...., würde ein Wachstumsstopp die Länder der dritten Welt in ein Chaos stürzen.“²⁸⁰ Aufgrund der Außenhandelsverflechtungen würde auch ein Wachstumsstopp ausschließlich in den Industrienationen die Länder der dritten Welt sowohl in ihrer Rolle als Exporteure wie als Importeure „hart treffen“.²⁸¹ Er sieht auch zusätzliche Probleme bei der Lösung des internationalen Verteilungsproblems, die er allerdings nicht näher erklärt. Weiterhin verweist er auf die These, daß sich in einer

²⁷⁷ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.56.

²⁷⁸ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.186.

²⁷⁹ Ebenda.

²⁸⁰ Ebenda.

wachsenden Wirtschaft das Vollbeschäftigungsziel leichter verwirklichen läßt, was ihn im Falle eines Nullwachstums schwerwiegende Folgen in den Industrienationen erwarten läßt. Auch staatliche Leistungen, z.B. im Rahmen der medizinischen Versorgung oder der Altersversorgung, sind seiner Ansicht nach bei fehlendem Wachstum gefährdet.²⁸² Er sieht im Wachstum in der Vergangenheit einen Faktor, der den Verteilungskonflikt entschärft hat, da zum einen alle absolut besser gestellt werden konnten, zum anderen auch die relative Umverteilung in einer wachsenden Wirtschaft leichter fällt. Abschließend führt er noch das bekannte Argument an, der Umweltschutz benötige auf der einen Seite ein hohes BSP um „bezahlbar“ zu sein, andererseits könnten die zu erwartenden (und notwendigen) Umweltschutzinvestitionen ihrerseits aber auch wiederum das Wachstum stimulieren.

Er zweifelt an, daß ein Wachstumsstopp die existierenden Umweltprobleme mildern und das Problem der Ressourcenübernutzung beherrschen ließe, da ein Wachstumsstopp die ökonomischen Aktivitäten auf dem jetzigen Niveau beließe und durch die Akkumulation der Schadstoffe eine weitere Steigerung der Umweltbelastung zu erwarten wäre. Dabei setzt er allerdings implizit ein gleich hohes Niveau der wirtschaftlichen Aktivität mit einer unveränderlichen Struktur des Wirtschaftens gleich. Es scheint nicht sehr wahrscheinlich, daß irgendein Befürworter eines Nullwachstums dafür plädiert, die vorhandenen Wirtschaftsstruktur zu konservieren. Daly sieht ein „Innehalten“, manifestiert in der steady-state-economy, als Voraussetzung für „Entwicklung“, für Fortschritt in die „richtige“ Richtung. Siebert geht nicht direkt auf die Frage ein, ob diese Entwicklung, dieses „qualitative Wachstum“, dieser „Umbau“ auf der Basis eines irgendwie physisch begrenzten Niveaus oder ohne eine solche Grenze ablaufen sollte. Zumindest Daly plädiert nicht für einen Wachstumsstopp als hinreichende, sondern als notwendige Bedingung für ein dauerhaftes Überleben der Menschheit. Allerdings ist dies, wie oben schon ausgeführt, ohne Zweifel ein angreifbarer Standpunkt. Siebert erklärt völlig zu recht, daß es nicht Wachstum an sich, also die zuneh-

²⁸¹ Ebenda.

²⁸² Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.186.

mende Quantität des Wirtschaftens ist, das die beobachtbaren Umweltprobleme schafft, sondern die konkrete Struktur, also die „Qualität“ des Wirtschaftens.²⁸³

Binswanger äußert seinen differenzierteren Standpunkt in etwas mißverständlicher Weise, wie man z.B. an folgender Aussage erkennen kann:

„Solange der technische Fortschritt nicht in neuer Weise genutzt wird, beschert er uns immer wieder Maschinen, die aus der Sicht der Thermodynamik Rohstoffe in Abfall und hochwertige Energie in nicht mehr nutzbare Wärme verwandeln.“²⁸⁴

Der Fortschritt, insbesondere der „technische“, wird uns niemals etwas anderes bescheren können als Werkzeuge zur Dissipation niedriger Entropie. Allerdings kann der durch dieselbe Entropiezunahme „bezahlte“ Nutzen der Menschen bei verschiedenen Technologien differieren. Wie Georgescu-Roegen und Daly schon betont haben, ist das letztlich angestrebte Ziel des Wirtschaftens der „Flux“ von Wohlbefinden, von Lebensfreude. Darauf zielt wohl auch Binswanger²⁸⁵ ab. Er will darauf hinweisen, daß dasselbe Maß an Lebensfreude durch eine andere Art von technischem Fortschritt mit weniger Dissipation zu erreichen ist. Weiterhin, und das sagt er auch explizit, gibt es eine Auswahl zwischen den verschiedenen „Übeln“, da nicht alle Dissipationsprozesse unvergleichbar „schlecht“ sind. Insbesondere scheint es in gewissen Fällen gerechtfertigt, den zusätzlichen Energieverbrauch für eine Nettoverringerung von gefährlichen Verschmutzungen in Kauf zu nehmen.²⁸⁶ Weiter verweist er allerdings zu Recht darauf, daß es noch besser ist, das Übel an der Wurzel zu packen und da, wo dies möglich ist, end-of-the-pipe Technologien durch solche zu ersetzen, die dem Ideal einer „clean technology“ näher kommen. Er vermeidet dabei aber wohlweislich den Begriff „clean technology“.

Das Interesse, die Umwelt durch eine Verringerung des Raubbaus an natürlichen Ressourcen und eine Verringerung des Ausstoßes an Schadstoffen zu schützen, kann also nicht zu einer Aussage über das wünschenswerte Ausmaß des ökonomi-

²⁸³ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.188.

²⁸⁴ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.77-78.

²⁸⁵ Ebenda, S.79.

²⁸⁶ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.79.

schen Wachstums führen, es läßt sich insbesondere keine Forderung nach einem Stop des ökonomischen Wachstums begründen.²⁸⁷ Allerdings läßt sich auf Basis eines konstanten oder gar abnehmenden Verbrauchs an Ressourcen und Verschmutzung der Umwelt kein *physisches* Wachstum über alle Grenzen durchführen. Dies liegt an den von Georgescu- Roegen immer wieder erläuterten physikalischen Grenzen. Allerdings nur unter der Voraussetzung, daß eine Wohlfahrtsmehrung sich nicht, z.B. durch sich ändernde Präferenzen, ohne physische Grundlage durchführen läßt. Eine Zunahme der pro-Kopf-Wohlfahrt setzt also (wenn sie mit einer physischen Basis gekoppelt ist) auf Dauer eine Abnahme der Bevölkerung voraus. Diese Forderung läßt sich allerdings auch auf einer wesentlich pragmatischeren Ebene begründen.

Georgescu-Roegen leitet aus dem Entropiesgesetz und seinem Postulat eines vierten Hauptsatzes der Thermodynamik her, daß auch in einem steady-state, selbst wenn dieser nicht mehr als das „solare Einkommen“ an Energie verbraucht, die Dissipation der wertvollen Materialien zu wertlosem Abfall bzw. Abrieb fortschreitet.²⁸⁸ Allerdings wird seine Grenzziehung nicht genau klar. Seine Aussagen sind im Ergebnis sicherlich richtig, bezieht man sie auf die „Ewigkeit“. So weit unser physikalisches Weltbild die zukünftige Entwicklung des Universums auch nur in etwa richtig beschreibt, wird für jede Form von „Leben“, wie wir es momentan kennen, ein „jüngster Tag“ anbrechen. Dieser Zeithorizont ist aber sehr groß, verglichen mit der „Kurzfristigkeit“ der heute anstehenden Probleme.

Unbenommen der Möglichkeit eines rasch genug voranschreitenden technischen Fortschritts bleibt die von Georgescu-Roegen nicht beachtete Tatsache, daß zumindest für einen angemessenen Zeitraum dieses Prinzip nicht für Menschen im Einklang mit der Natur gilt, da die Natur, d.h. die Biosphäre, bzw. eigentlich „Gaia“, die verstreuten Materialien wieder einsammelt und im großen Kreislauf hält. Der kritische Punkt dabei ist, daß der Mensch solche Systeme bisher – die Chaos-Forschung läßt aber vermuten: auch in Zukunft – nicht für seine Zwecke steuern kann. Das heißt: komplettes Recycling gibt es nicht, aber wenn das Mate-

²⁸⁷ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.364.

rial in natürlichen Kreisläufen, im „Cycle“, verbleibt und nicht erst wieder dorthin zurückgegeben werden muß, dann kann die jeweils gerade konzentrierte Menge über lange Zeiträume hin konstant bleiben. Georgescu-Roegen leugnet diese Möglichkeit nachhaltig. Er sagt, die zunehmende Dissipation sei nur wegen der langen Zeiträume nicht bemerkbar.²⁸⁹

Dieser von ihm vertretenen Ansicht widersprechen die Überlegungen, die zum Begriff der dissipativen Strukturen geführt haben. Dabei wird das Entstehen von Ordnung und Komplexität (und das heißt vor allem auch: Leben) auf der Erde als ein Vorgang angesehen, der durch den Fluß von Energie durch das System Erde genährt wird. Das Entropiegefälle, das durch die Sonne als Quelle von Energie auf der einen und den kälteren Weltraum als Senke auf der anderen Seite entsteht, ermöglicht auch Asymmetrien der Verteilung von Materie, also das, was Georgescu-Roegen als niedrige Materie- Entropie bezeichnet.

Das eigentliche Problem bei Georgescu-Roegens viertem Hauptsatz der Thermodynamik liegt darin, daß er, wenn überhaupt, nur in der Nähe des thermodynamischen Gleichgewichts gültig ist. Auch der zweite Hauptsatz der Thermodynamik macht Aussagen über Materie, zumindest in der Boltzmannschen Variante – der kinetischen Gastheorie. Das bekannte Beispiel der Mischung zweier idealer Gase ist ein Beispiel der Mischung von Materialien. Georgescu- Roegens vierter Hauptsatz beschreibt also Sachverhalte, die zumindest von einigen Interpretationen des Entropiegesetzes mit erfaßt werden.

Dieser vierte Hauptsatz ist allerdings m.E. trotzdem bei jeder bisher vom Menschen konstruierten Maschine, im gesamten Bereich der Technik, gültig. Dies ist m.E. auch der Grund dafür, daß Georgescu-Roegen ihn postuliert hat.

Das oben angesprochene 100%ige „Cycling“ ist, um dies hier nochmals zu betonen, nur angetrieben von nennenswerten Mengen an Energie möglich. Außerdem ist es nur global, nicht innerhalb jedes (Teil-) Prozesses realisierbar.

²⁸⁸ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1034.

Durch die „(Re-)Cycling-Maschine Erde“ läuft immer wieder dieselbe Materie, wobei zusätzlich die Recyclingmaschinerie stofflich mit dem, was recycled wird, identisch ist. Dadurch ist ohne mikroskopisches 100%iges Recycling eine makroskopische Konstanz von Dissipation und Konzentration möglich, solange der „Antrieb“ nicht ausbleibt. Ein intaktes Ökosystem könnte sich evtl. dadurch auszeichnen, daß es imstande ist, zumindest annähernd, eben diese Aufgabe zu leisten. Ein Ökosystem kann keine Bodenschätze ausbeuten, es ist auf das Maß der zuströmenden Sonnenenergie begrenzt.

Schlagwortartig könnte man zusammenfassen: 100%iges Recycling? Nein.
100%iges „Cycling“? Ja!

Georgescu-Roegen unterschätzt tendenziell die Möglichkeit, daß menschliches Wirtschaften grundsätzlich auch ohne Nutzung von nichterneuerbaren Ressourcen möglich ist. Dies setzt allerdings (und darauf weist er auch hin), soweit man vom heutigen Kenntnisstand ausgehen kann, eine deutliche Veränderung der Art des Wirtschaftens und vor allem eine Abnahme der Bevölkerung voraus.

Auch Faber²⁹⁰ weist darauf hin, daß es Leute gibt, die sich mit der Bedeutung des Entropiegesetzes für wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen befassen, die eine etwas pessimistische Sicht haben. Er führt allerdings bedauerlicherweise keine konkreten Beispiele an. Nach deren Ansicht gehe es immer nur bergab, die Welt entwickle sich von Ordnung zu Unordnung.²⁹¹ Faber erläutert, daß es sich bei dieser Sicht nur um die halbe Wahrheit handelt. Er betont, daß die Industriegesellschaft es ermöglicht hat, innerhalb des sozio-ökonomischen Systems ein hohes Maß an Ordnung aufzubauen und zu erhalten. Auch er sagt, daß, wenn wir versuchen, den Verbrauch niedriger Entropie auf Null zu reduzieren, wir zum Zustand der Jäger und Sammler zurückkehren müssen. Dafür sei allerdings eine drastische Reduzierung der Weltbevölkerung nötig. Dem ist (wie oben schon angesprochen) a priori zuzustimmen, allerdings können auch Jäger und Sammler nicht

²⁸⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, a. a. O., S.1040.

²⁹⁰ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy, a. a. O., S.22.

²⁹¹ Vgl. auch Kafka, Peter: a. a. O., S.11-12.

auf niedrige Entropie als Input verzichten. Lebewesen, die diesen Verbrauch auf Null reduzieren wollen, müßten sich schon dazu entschließen (aus-) zu sterben. Im übrigen taucht auch in seiner Argumentation die im Rahmen der naturwissenschaftlichen Grundlagen (Gliederungspunkt 2.) schon angesprochene begriffliche Verwirrung zwischen Ordnung (gleichgesetzt mit niedriger Entropie) und Organisation auf. Die Organisation des menschlichen Lebensumfeldes ist nicht adäquat als Form niedriger Entropie zu kennzeichnen, sondern eher als ein Zustand fern vom thermodynamischen Gleichgewicht, der durch den Fluß von Entropie unterhalten wird, der das System durchläuft.

Abschließend bleibt zu bemerken, daß keiner der angeführten Autoren die Natur „um der Natur willen“ schützen will.²⁹² Auch Daly und Georgescu-Roegen, die doch in gewisser Weise „extreme“ Standpunkte einnehmen, führen, wenn auch teilweise nur implizit, als Begründung an, daß es den Menschen in Zukunft dauerhaft besser gehen soll. Aber auch dieser Standpunkt kann einen begrenzten Schutz der Natur um ihrer selbst willen, quasi als abgeleitetes Ziel, sinnvoll erscheinen lassen. Aus Dalys Aussagen klingt ein gehöriges Mißtrauen in die Fähigkeit des Menschen an, eine immer „künstlichere“ Umwelt, die mit immer größeren Eingriffen verbunden ist, zu „managen“. Dies kommt zum Beispiel in der zitierten Sequenz über den Autopilot des Raumschiffs Erde zum Ausdruck. Ein Wachstum der dem Menschen zuzuordnenden Bereiche, auch der Wirtschaft, bedeutet bei gegebenem Lebensraum – und die Erde ist nun unbestritten endlich und begrenzt – ein zurückdrängen dessen, was „nicht-menschlich“ ist. Aus diesem Grund lehnen radikale Advokaten der Natur Wachstum, und damit auch wirtschaftliches Wachstum, direkt ab. Ebenfalls aus diesem Grund vertritt z.B. Daly die Ansicht, daß der Einflußbereich des Menschen besser vorerst nicht weiter wachsen oder evtl. sogar schrumpfen sollte, bis der Mensch die Systeme besser verstanden hat, die sich im Moment (bzw. in der Vergangenheit) noch am besten selber regeln.

Daly vergleicht eine Menschheit, die „ungebremst“ auf die Natur losgelassen wird, mit einem kleinen Kind, das man in einem Zimmer mit wertvollen Antiqui-

²⁹² Vgl. hierzu z.B. die Aussage Richard von Weizsäckers bei seiner Rede zum 40-jährigen Bestehen der Bundesrepublik Deutschland: Weizsäcker, Richard von: Rede zum 40-jährigen Bestehen der Bundesrepublik Deutschland, Abdruck in: Frankfurter Rundschau vom 26.5.1989.

täten spielen läßt und dem man jedesmal auf die Finger haut, nachdem es etwas kaputt gemacht hat.²⁹³

3.2 Entropie und dissipative Strukturen: Entwicklung trotz Grenzen

3.2.1 Die beiden Pfeile der Zeit in der Ökonomie: Überblick

„The answer of modern science has a definite economic flavour: a living organism is a steady-going concern which maintains its highly ordered structure by sucking low entropy from the environment so as to compensate for the entropic degradation to which it is continuously subject.“²⁹⁴

Die Forschungen im Bereich der dissipativen Strukturen basieren zwar einerseits auf dem Entropiegesetz, gehen aber andererseits weit über seine ursprüngliche Bedeutung hinaus. Dies ist vor allem durch eine Beachtung der Herausbildung von Strukturen und (Selbst-) Organisation gekennzeichnet. In einem ähnlichen Verhältnis zu den in den vorhergehenden Gliederungspunkten vorgestellten ökonomischen Ansätzen lassen sich auch in der (Umwelt-) Ökonomie neuere Ansätze ausmachen, die versuchen, unter Berücksichtigung des Entropiegesetzes auf die eine oder andere Weise dem Entstehen von „Neuem“ gerecht zu werden. In Verbindung damit wird auch versucht, eine „realistischere“ Berücksichtigung vor allem des Aspekts „Zeit“ in ökonomischen Betrachtungen zu erreichen.

Es bietet sich hierbei ein sehr heterogenes Bild. Für diese Arbeit wurde insofern eine Auswahl getroffen, als versucht wurde, solche Ansätze vorzustellen, die Verbindungen zum Entropiegesetz und zur Nichtgleichgewichts-Thermodynamik aufweisen. Daher wird z.B. auf die mit dem Begriff „Innovation“ verbundenen Arbeiten Schumpeters nicht explizit eingegangen, obwohl auch er sich mit dem Auftreten von „Neuem“ beschäftigt hat.

Die oben schon angesprochenen zwei Seiten des zeitlichen Aspekts, die in einem gewissen Sinne mit den beiden Pfeilen der Zeit korrespondieren, stellen sich auf der einen Seite als der irreversible Verbrauch an Ressourcen und als Verluste

²⁹³ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.88.

²⁹⁴ Georgescu-Roegen, Nicholas: The Entropy Law and the Economic Process, a. a. O., S.191-192; Hervorhebung im Original.

durch Fehlentscheidungen dar. Auf der anderen Seite ist mit der Entwicklung, die auch das Know-how der Menschheit durchläuft, mit technischem Fortschritt und mit der Vergrößerung des Kapitalstocks ein Mehr an Gütern in der Zukunft zu erwarten.²⁹⁵

Faber und Proops²⁹⁶ unterteilen die Behandlung der Zeit in der Ökonomie in sechs Ansätze: statisch, komparativ statisch, reversible Zeit, Risiko (irreversible Zeit 1), Unsicherheit (irreversible Zeit 2) und teleologische Sequenz (irreversible Zeit 3).²⁹⁷

Den statischen Ansatz kennzeichnet die Tatsache, daß Zeit nicht als Variable auftritt. Strenggenommen kann man also nicht von einer „Behandlung“ der Zeit sprechen. Sie wird schlichtweg ignoriert. Es wird fingiert, daß Vorkommnisse zu einem Zeitpunkt oder in einem Zeitintervall, das wie ein Zeitpunkt behandelt wird, stattfinden und vollständig abgeschlossen werden.²⁹⁸

Der komparativ statische Ansatz behandelt immer noch im Rahmen der statischen Betrachtung die Zeit (die charakteristischerweise als Index auftritt) durch den Vergleich einer Situation zu zwei oder mehr diskreten Zeitpunkten.²⁹⁹

Läßt man nun die diskreten Zeitpunkte immer näher aneinanderrücken, vergrößert man also die „Auflösung“, so gelangt man bei einem Übergang zu einer kontinuierlichen Beschreibung, die die Zeit als Variable explizit enthält, zu dem durch den Begriff „reversible Zeit“ gekennzeichneten Ansatz. Hierbei sind Vergangenheit und Zukunft zwei völlig gleichwertige Phänomene, alle Vorgänge sind zeitlich umkehrbar, vergleichbar der Behandlung der Zeit in der Newtonschen Mechanik.³⁰⁰

²⁹⁵ Vgl. Faber, Malte u. a.: On Modelling Interactions between the Economy and the Environment in the Long-Run. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 119), Heidelberg 1987, 119 S.3.

²⁹⁶ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: Time Irreversibilities in Economics, a. a. O., S.3.

²⁹⁷ Ebenda, S.3-4.

²⁹⁸ Ebenda, S.3.

²⁹⁹ Ebenda.

³⁰⁰ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: Time Irreversibilities in Economics, a. a. O., S.3.

Durch die Einführung des Phänomens Risiko in die Betrachtung führt man gleichzeitig auch eine Beschreibung der Zeit als irreversibel ein. Risiko kennzeichnet die zeitliche Asymmetrie der Informationsstruktur: Es gibt viele mögliche „Zukünfte“ aber nur eine eindeutige Vergangenheit.³⁰¹

Unsicherheit kennzeichnet das Problem, daß definitiv nicht Vorauszuzuhendes in der zukünftigen Entwicklung verborgen sein kann.³⁰² Somit wird eine weitere, qualitativ verschiedene zeitliche Irreversibilität eingeführt.

Der Begriff teleologisch soll darauf hinweisen, daß ökonomische Aktivitäten auf ein bestimmtes Ziel³⁰³ hin ausgerichtet sind. Zeit vergeht, bevor das Ziel erreicht werden kann: „production takes time“,³⁰⁴ wie Menger und Böhm-Bawerk schon Ende des letzten Jahrhunderts betont haben.

Faber und Proops³⁰⁵ weisen darauf hin, daß im Rahmen der allgemeinen Gleichgewichtstheorie Erfindungen und Innovationen, also zeitlich irreversible Aspekte, nur als ad hoc eingeführte Annahmen berücksichtigt werden können.

Sie³⁰⁶ zitieren Solow³⁰⁷ mit den Worten:

„My impression is that the best and brightest in the profession proceed as if economics is the physics of society. There is a single universally valid model of the world. It only needs to be applied. You can drop a modern economist from a time machine – a helicopter, may be, like the one that drops the money – at any time, in any place, along with his or her personal computer, he or she could set up in business without even bothering to ask what time and which place.“

³⁰¹ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R. : On Aspects of Time Irreversibility in Economics. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 117), Heidelberg 1987, S.4.

³⁰² Ebenda.

³⁰³ Griechisch: telos.

³⁰⁴ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R. : On Aspects of Time Irreversibility in Economics, a. a. O., S.4.

³⁰⁵ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: Time Irreversibilities in Economics, a. a. O., S.3.

³⁰⁶ Ebenda, S.7.

³⁰⁷ Solow, L. R.: Economic History and Economics, in: American Economic Review, Vol. 75 (1985), S.328-331, hier S.330.

Leipert³⁰⁸ richtet bei der „thermodynamischen Analyse des Wirtschaftsprozesses“ das Hauptaugenmerk auf den evolutionären Charakter, der durch unidirektionale, irreversible Bewegungen in der Zeit gekennzeichnet ist. Dies steht im Gegensatz zur Sichtweise der Neoklassik, die ein vollkommen geschlossenes System, in dem nur Kreisläufe und Pendelbewegungen möglich sind, beschreibt.³⁰⁹ Seiner Aussage nach lautet der ökologische Imperativ der Entropieanalyse an den Wirtschaftsprozess „... daß der Lebensstil und die damit verbundene Produktion und Konsumtion möglichst entropieeffizient angelegt sein sollte.“³¹⁰ Das größte Einsparpotential sieht auch er in Einstellungs- und Verhaltensänderungen.

Faber und Proops illustrieren ihre Betrachtung zeitlicher Aspekte in der Ökonomie wiederum am Beispiel der Entwicklung der Dampfmaschine. Ihre Intention ist dabei, das Zusammenwirken technisch/ physikalischer und sozialer Faktoren in der Entwicklung der realen Welt aufzuzeigen.³¹¹ Der in Verbindung mit der Eisenverhüttung immer stärker spürbare Brennstoff- (und das hieß damals im wesentlichen Holz-) mangel in England schuf den Rahmen für die Entwicklung der Dampfmaschine, die es ermöglichte, in größerem Maßstab Kohle unter Tage abzubauen. Die physikalische Begrenzung für weiteres wirtschaftliches Wachstum wurde also durch die Nutzbarmachung einer neuen „Energiequelle“ aufgehoben. Die neue innovative Technik, die Dampfmaschine, erlaubte es aber weiterhin, auch neue Verkehrsmittel wie das Dampfschiff, vor allem aber die Eisenbahn zu entwickeln. Dadurch, aber auch durch die sonstige Nutzung von nicht durch Muskelkraft angetriebenen Maschinen wurden wiederum große („...on a world-wide scale.“)³¹² soziale Verschiebungen ausgelöst.

Sie sehen in dem Zusammenwirken von sozialer Veränderung, technischem Fortschritt und physikalischen Begrenzungen ein Netz rekursiver Beziehungen, in

³⁰⁸ Vgl. Leipert, Christian: a. a. O., S.1117.

³⁰⁹ Ebenda.

³¹⁰ Ebenda.

³¹¹ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists*, a. a. O., S.19.

³¹² Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists*, a. a. O., S.20.

denen der technische Fortschritt aus der Kombination von sozialer Nachfrage und den Beschränkungen des physischen Angebots entspringt.³¹³

Als Beispiel für die zahlreichen Interdependenzen im Bereich des Umweltschutzes führen sie³¹⁴ u.a. die Klärschlammproblematik auf. Die Reinigung von Abwässern in vollbiologischen Kläranlagen schützt zwar die Gewässer vor weiterer Verschmutzung, hat aber andererseits einen hohen Anfall an Klärschlamm zur Folge. Dieser wurde früher als Dünger eingesetzt. Das ist aber heute aufgrund der teilweise erhöhten Belastung mit Schwermetallen, aber auch durch die berechtigterweise schärfer gewordenen Umweltnormen nicht mehr möglich. Neben dem für die eigentliche Kläranlage notwendigen Ressourcenverbrauch ergibt sich also noch ein weiterer Bedarf an Energie zur Verbrennung bzw. an Deponieraum für den teilweise hoch belasteten Rückstand. Allerdings gelingt es auch hierbei wiederum nicht, die Schadstoffe vollständig fernzuhalten und den Menschen vor möglichen negativen Auswirkungen zu schützen. Vielmehr entstehen durch die aufgrund der knapp werdenden Deponierungsmöglichkeiten politisch favorisierte Verbrennung z.T. andere Schadstoffe (wie z.B. Dioxine). Sie fassen diese Überlegungen wie folgt zusammen:

„Gewässerschutz, d.h. die reduzierte Nutzung des Umweltmediums Wasser als Schadstoffempfänger führt zu einem Anstieg des Rohstoff- und Energieverbrauchs und darüber hinaus zu einer Verlagerung der Umweltschutzproblematik auf andere Umweltmedien, nämlich Luft und Boden.“³¹⁵

Siebert³¹⁶ gibt einen allgemeinen Überblick über längerfristige Probleme der Umweltnutzung: Auf der einen Seite (negativer Pfeil der Zeit) erwähnt er die Akkumulation von Schadstoffen, was bedeutet, daß die Abbau- oder Zerstreuungsrate der Schadstoffe in der Umwelt niedriger ist als der entsprechende Zufluß aus dem ökonomischen System. Weiterhin führt er damit verbundene zukünftige irreversible Schäden des ökologischen Gleichgewichts und, als Teilaspekt davon, die Beeinträchtigung der Regenerationsfähigkeit und Assimilationsfähigkeit der Um-

³¹³ Ebenda.

³¹⁴ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.68.

³¹⁵ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.69.

³¹⁶ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.168.

welt an. Auf der anderen Seite (positiver Pfeil der Zeit) beeinflusst die heutige Kapitalbildung im Bereich der Entsorgung die Entsorgungsmöglichkeiten von morgen, vor allem auch durch die Entwicklung von Entsorgungstechnologien. Die zukünftigen Generationen „erben“ auch unsere Wirtschaftsstruktur (aber andererseits dadurch wiederum auch unsere Fehlentscheidungen).

Siebert weist auch darauf hin, daß die Ressourcennutzung in der Regel „intertemporal asymmetrisch irreversibel“ ist, was man sich daran verdeutlichen kann, daß sich z.B. nach dem Bau einer Talsperre das Tal, auch wenn man das Wasser wieder abläßt, nicht wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückversetzen läßt.³¹⁷ Auch Arrow und Fisher erwähnen das Beispiel einer Talsperre, um das Phänomen der Irreversibilität in der Umweltökonomie zu illustrieren. Sie führen als Beispiel auch den bekannten Fall des Hell’s Canyon in den USA an.³¹⁸

Georgescu-Roegen vergleicht die (seiner Ansicht nach vor allem auch bei orthodoxen marxistischen Ökonomen) weitverbreitete Ansicht, die Möglichkeiten des technischen Fortschritts seien grenzenlos, jede knapp gewordene Ressource sei substituierbar und die Produktivität jeder Ressource und jeder Energieform ließe sich ständig weiter erhöhen, mit der Vorstellung, ein gesunder junger Mann könne nicht erkranken, altern oder gar sterben.³¹⁹ Er erinnert daran, daß die Dinosaurier vor ihrem immer noch nicht hinreichend erklärten Aussterben 150 Millionen Jahre auf der Erde hinter sich hatten, ein Zeitraum im Vergleich zu dem die Menschheitsgeschichte recht kurz erscheint. Weiter führt er aus, daß sie dabei, im Gegensatz zur Menschheit, ihre Umwelt nicht mit den Abfällen einer technischen Zivilisation belasteten.³²⁰ Er weist nochmals auf die Tatsache hin, daß Fortschritten

³¹⁷ Vgl. Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, a. a. O., S.161.

³¹⁸ Vgl. Arrow, Kenneth J. / Fisher, Anthony C.: Naturerhaltung, Unsicherheit und Irreversibilität. (Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility, deutsch). Deutsche Übersetzung von Wolfgang Schneider. auf englisch erstmals erschienen in: The Quarterly Journal of Economics, Vol. LXXXVIII (1974), S.312-319; zitiert nach dem Wiederabdruck in: Umweltökonomik – Beiträge zur Theorie und Politik, hrsg. von Hans Möller / Rigmar Osterkamp / Wolfgang Schneider, (Neue Wissenschaftliche Bibliothek, hrsg. von Gerard Gäfgen), Königstein/Ts. 1982, S.184-191, hier S.186.

³¹⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.360.

³²⁰ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.360.

durch die Technik physikalische Grenzen gesetzt sind³²¹ und daß auch durch Substitution der absoluten Knappheit nicht zu entrinnen ist.³²² So zitiert er Solow mit den Worten: „We may ... substitute ‘other factors for natural resources’.“³²³ was, so Georgescu-Roegen, auf eine etwas merkwürdige Sicht der Dinge schließen läßt, denn wodurch, wenn nicht durch natürliche Ressourcen, sollten denn die natürlichen Ressourcen ersetzt werden?

Georgescu-Roegen wehrt sich gegen Formulierungen wie „Umweltverbesserung“ oder „Vermeidung der Zerstörung der unersetzlichen natürlichen Ressourcen“. In diese Kategorie ist auch der Begriff „umweltfreundlich“ einzuordnen. Diese Begriffe verstellen den Blick darauf, daß jede ökonomische Aktivität der Umwelt „unfreundlich“ gegenübersteht, da sie die Dissipation beschleunigt, den entropischen Niedergang antreibt, wie überhaupt jede Form von (zumindest tierischem) Leben.³²⁴ Die einzige Möglichkeit, die die Menschheit hat, ist die, jede unnötige Beschleunigung der Zunahme der Entropie zu vermeiden, also sich „weniger umwelt-unfreundlich“ zu verhalten. Allerdings gesteht er zu, daß er die genaue Bedeutung von „unnötig“ in diesem Zusammenhang auch nicht kennt.

Binswanger³²⁵ formuliert zu etwa demselben Punkt, daß „Pflanze, Tier und Mensch“ ihre eigene Ordnung nur auf Kosten einer Zunahme der Unordnung der Umwelt aufrechterhalten können, jedes Lebewesen dissipiere Energie. Bei Pflanzen vertritt Georgescu-Roegen allerdings die Ansicht, daß das Tempo der Dissipation durch sie verringert werden kann. Georgescu-Roegen formuliert genauer, daß einige Organismen, wie die meisten Pflanzen, die entropische Degradation verlangsamen können, indem sie einen Teil der ansonsten sinn- und zwecklos dissipierten Energie speichern. Deshalb können wir heute die vor langer Zeit gespeicherte Energie als Kohle oder die vor kurzer Zeit gespeicherte als Holz durch Verbrennung nutzen. Alle anderen Organismen schmarotzen, überspitzt ausge-

³²¹ Ebenda, S.361.

³²² Ebenda.

³²³ Ebenda.

³²⁴ Ebenda, S.363.

³²⁵ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O., S.77.

drückt, von dieser Leistung. Der Mensch nimmt hierbei seiner Ansicht nach eine Spitzenstellung ein.³²⁶

Allerdings ist diese Sicht durch eine eher willkürliche Grenzziehung charakterisiert. Georgescu-Roegen impliziert mit seiner Argumentation, Pflanzen könnten ohne andere, in seiner Sichtweise „schmarotzende“ Lebensformen ebenso existieren. Dies gilt aber zumindest für die real beobachtbaren Ökosysteme nicht, das Funktionieren äußert sich in einem Zusammenspiel aller Elemente. Um einen äußerst gewagten Vergleich zu benutzen: Die Argumentation Georgescu-Roegens ist vielleicht vergleichbar der, die „bösen“ Kapitalisten würden die „armen“ Arbeitnehmer ausbeuten, ohne dabei selbst einen Finger zu rühren und es könne somit auf sie verzichtet werden.

Auch Tiere speichern aus dem Fluß der niedrigen Entropie, der sie durchwandert einen Teil heraus, was sich darin äußert, daß sie wachsen, dieses Wachstum macht sich der Mensch auch zunutze. Es ist anzunehmen, daß dies sogar der Wirtschaftsprozess leistet. Allerdings handelt es sich dabei immer nur um einen Teil, aber das ist bei Pflanzen ebenso der Fall. Pflanzen haben dabei nur insofern eine exponierte Stellung, als sie als einzige direkt die von der Sonne kommende Energie nutzen.

Eine Betrachtungsweise, die auch noch bei einer Beachtung physikalischer Grundlagen Gegebenheiten, die dem Bereich der Biologie zuzurechnen sind, ignoriert, kann als eingeengt bezeichnet werden. Das Problem einer solchen Sichtweise wird deutlich, wenn man sich die Konsequenzen einer verstärkten Nutzung der von vielen als „umweltfreundlich“ eingestuften Energiequellen Sonne, Wind und Wasser vor Augen führt. Alle drei, strenggenommen handelt es sich hier letztlich in allen Fällen um Sonnenenergie, führen, insbesondere bei einer zentralisierten „großtechnologischen“ Nutzung zu deutlichen Eingriffen in bestehende Ökosysteme. Die Nutzung der Windenergie erzeugt im Windschatten eines „Windenergieparks“ mit Sicherheit ähnliche Veränderungen des Mikroklimas, wie sie aus Städten durch Hochhausbauten bekannt sind. Die Nutzung der Wasserkraft

³²⁶ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.353.

durch Staudämme wird inzwischen eben aufgrund solcher Auswirkungen sehr kritisch betrachtet. Aber auch z.B. die Nutzung der Gezeiten ist mit Problemen durch Veränderungen der Strömungsverhältnisse verbunden, die für unvorhersehbare Umlagerungen von Sandbänken sorgen, wobei die Auswirkungen auf die sehr empfindlichen Ökosysteme an Küsten hier noch zusätzliche Schwierigkeiten aufwerfen. Die großmaßstäbliche Nutzung der Sonnenenergie, z.B., wie verschiedentlich vorgeschlagen, in der Sahara, scheint weniger mit solchen Problemen verbunden. Meines Wissens bisher ungeklärt sind allerdings Auswirkungen der dadurch veränderten Reflexion des Sonnenlichts auf das lokale und evtl. auch globale Klima. Weiterhin sind Probleme in Verbindung mit dem Transport der „erzeugten“ Energie zu erwarten.

Rieseberg³²⁷ weist darauf hin, daß man fossile Brennstoffe nicht nur als einen Vorrat an Energie (niedriger Entropie) betrachten darf. Seiner Ansicht nach spricht einiges dafür, daß die prähistorischen Lebewesen, aus denen diese Ressourcen entstanden, eine Art „Filterfunktion“ vor allem für die damalige Atmosphäre ausgeübt haben, die insbesondere menschliches Leben erst ermöglicht hat. Ein Freisetzen dieser Schadstoffe, dazu gehört z.B. auch das „Treibhausgas“ CO₂, stellt also tendenziell eine Atmosphäre wieder her, wie sie vor Jahrmillionen auf der Erde geherrscht hat, eine Atmosphäre, der heutige Ökosysteme nicht angepaßt sind. Dies wirkt sich auch auf den Menschen aus, da er Teil dieser Ökosysteme ist.

Wie mehrfach schon angeführt, vertritt Georgescu-Roegen den Standpunkt, daß wohl zweifellos das momentane (quantitative) Wachstum nicht nur gestoppt, sondern sogar umgekehrt werden muß. Aber er ergänzt, daß jeder, der glaubt, ein Konzept³²⁸ für die ökologische Rettung der Menschheit vorlegen zu können, die Natur der Evolution oder auch der Geschichte (Historie) nicht verstanden hat. Evolution ist durch das Auftreten von Neuem gekennzeichnet, das sich eben nicht voraussehen läßt.³²⁹

³²⁷ Vgl. Rieseberg, Hans-Joachim: a. a. O., S.20.

³²⁸ Er verwendet den Begriff „blueprint“. Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.369.

³²⁹ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.369.

Der Titel der Arbeit von Binswanger und anderen, „Arbeit ohne Umweltzerstörung“,³³⁰ ist, vom Standpunkt entropieorientierter Ökonomen wie Georgescu-Roegen aus gesehen, irreführend. Diese Sichtweise geht davon aus, daß das Fortbestehen einer Spezies auf der Erde immer auf Kosten anderer Lebensformen geht, vor allem wenn es sich so dominant äußert, wie das des Menschen. Andererseits sind die verschiedenen Lebensformen aber in einem ökologischen Netz verwoben. Die Argumentation von z.B. Daly oder auch Georgescu-Roegen geht mehr oder weniger explizit von einem qualitativen Unterschied zwischen den Einflüssen des Menschen und dem „Überlebenskampf“, den gegenseitigen Beeinträchtigungen zwischen verschiedenen Tierarten oder Tieren und Pflanzen aus. Dieser Unterschied ist allerdings nicht scharf abzugrenzen, wie sich auch in der immer wieder verwirrenden Verwendung des Begriffs „Natur“ zeigt. Der Mensch ist Teil der Natur, was aber z.B. bei der Verwendung des Begriffs „Naturschutz“ implizit ausgeklammert wird, da dieser in der Regel unterstellt, daß etwas (sozusagen der „Rest“ der Natur) vor dem Menschen geschützt werden muß.

Nutzinger³³¹ drückt es folgendermaßen aus:

„Diesem fehlerhaften Handeln geht regelmäßig ein falsches Denken voraus, das letztlich darauf beruht, daß sich der Mensch, der ja selbst Teil der Natur ist, zunächst in seinem Denken und dann in seinem Handeln über die Natur zu erheben trachtet. Er erlebt sich nicht als Teil der Natur, sondern als etwas von ihr Getrenntes, etwas Besonderes – als eine Kraft, die Natur zum Objekt menschlicher Ausbeutung macht.“

Binswanger, Bonus und Timmermann fordern, daß das quantitative Wachstum nicht durch eine „rein ökologisch orientierte Gleichgewichtswirtschaft ersetzt werden soll, die in demütiger Unterordnung unter die Natur verharret.“³³² Weiter erläutern sie, daß ein qualitatives Wachstum im Gegensatz dazu auf der Erkenntnis beruht, daß „die schöpferischen Fähigkeiten des Menschen ihn aus den ökologischen Kreisläufen insoweit herausheben, als er dadurch die natürlichen Grenzen

³³⁰ Vgl. Binswanger u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung, a. a. O.

³³¹ Nutzinger, Hans G.: Das Konzept des qualitativen Wachstums und die Schwierigkeiten seiner Umsetzung, in: Universitas Nr.11 1986, S.1136-1148, hier S.1137.

³³² Binswanger, Hans Christoph / Bonus, Holger / Timmermann, M.: Wirtschaft und Umwelt; Möglichkeiten einer ökologieverträglichen Wirtschaftspolitik, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz 1981, S.2.

erweitern, sie aber nicht total sprengen kann.³³³ Dies stellt zumindest eine etwas gewagte Verwendung des Begriffs „Grenzen“ dar, wodurch die Aussage etwas mißverständlich wird. Weiterhin³³⁴ sollten ihrer Ansicht nach bei der Nutzung der nichterneuerbaren Ressourcen die Nutzen der zukünftigen Generationen gegen den der heutigen abgewogen werden, wobei „absehbare und zumutbare“³³⁵ Innovationen berücksichtigt werden sollen. Aber dazu müßten die Nutzen zukünftiger Generationen bekannt oder zumindest abschätzbar sein. Zusätzlich stellt sich die Frage, wie man die Innovationen in 200 Jahren, ganz zu schweigen von denen in 2000 oder gar 20.000 Jahren, vorraussehen soll.

Faber und Proops³³⁶ erläutern in diesem Zusammenhang, daß Erfindungen ihrer Natur nach nicht voraussagbar sind, da eine Erfindung in ihren Einzelheiten vorauszusagen bedeutet, eben diese Erfindung zu machen.

3.2.2 Ansätze zur Berücksichtigung der beiden Pfeile der Zeit in der Umweltökonomie

Binswanger³³⁷ äußert die Ansicht, daß es eine ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft eigentlich nicht gibt. Zumindest nicht im Sinne eines „Theoriegebäudes“, es sind nur Ansätze zu finden. Diese Ansätze folgen zwei Wegen. Zum einen wird versucht, die bestehenden Theorien einer ökologischen Kritik zu unterziehen, zum anderen wird versucht, eine Theorie anhand eines eigenständigen Grundgedankens zu entwickeln. Binswanger sieht diesen Grundgedanken in den thermodynamischen Hauptsätzen, dem Energieerhaltungssatz und dem Entropiegesetz. Eine bezüglich der Rolle der ersten beiden Hauptsätze der Thermodynamik ähnliche Einschätzung geht aus Fabers Arbeiten hervor.

³³³ Ebenda.

³³⁴ Vgl. Binswanger, Hans Christoph / Bonus, Holger / Timmermann, M.: a. a. O., S.3.

³³⁵ Binswanger, Hans Christoph / Bonus, Holger / Timmermann, M.: a. a. O., S.3.

³³⁶ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R. : Evolution in Biology, Physics and Economics. A conceptual Analysis. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 131), Heidelberg 1989, S.8.

³³⁷ Vgl. Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, a. a. O., S.141.

Einen der wenigen Versuche, die Implikationen des Entropiegesetzes, aber auch der darauf basierenden Überlegungen zum Verhalten von durch niedrige Entropie gespeisten Prozessen ansatzweise in die ökonomische Modellbildung aufzunehmen, stellt die Arbeit von Faber, Niemes und Stephan: „Entropie, Umweltschutz und Rohstoffverbrauch“ dar. Daher wird diese Arbeit im folgenden näher vorgestellt. Sie versuchen zum einen zeitliche Aspekte, wie z.B. irreversible Vorgänge, und zum anderen Interdependenzen zwischen Ressourceneinsatz und Abfall- bzw. Schadstoffausstoß zu erfassen.³³⁸ Irreversibilität wird einerseits in thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten, andererseits im Abbau nichterneuerbarer Ressourcen gesehen.³³⁹ Weiterhin liegt ihr Augenmerk auf Wechselwirkungen der vorgenannten Aspekte mit Erfindungen und Innovationen.³⁴⁰

Hierzu bedienen sie sich der neo-österreichischen Kapitaltheorie, die es explizit gestattet, die Tatsache, daß die Erstellung von Investitions- wie auch Konsumgütern Zeit in Anspruch nimmt, in die Modellbildung aufzunehmen.³⁴¹

Sie gehen bei der ökonomischen Modellierung nicht von der Maximierung einer intertemporalen Wohlfahrtsfunktion aus, sondern verwenden einen Ansatz, bei dem quasi von heute auf morgen, d.h. vom jeweils aktuellen auf den nächsten Zeitpunkt die Wohlfahrt maximiert wird.³⁴² Diese Vorgehensweise wird mit der „Kurzsichtigkeit“ der Entscheider begründet, die durch das Fehlen von Märkten für zukünftige Güter gekennzeichnet ist.

In das Modell einbezogen wird die Tatsache, daß sowohl der Abbau der Rohstoffe wie auch die Extraktion, z.B. die Umwandlung von Erz zu Eisen, Produktionsfaktoren bindet.³⁴³

³³⁸ Vgl. auch Faber, Malte / Stephan, Gunter: Umweltschutz und Technologiewandel, a. a. O., S.11.

³³⁹ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.3.

³⁴⁰ Vgl. auch Faber, Malte u. a.: On Modelling Interactions between the Economy and the Environment in the Long-Run, a. a. O., S.11.

³⁴¹ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.III,2.

³⁴² Vgl. auch Faber, Malte u. a.: On Modelling Interactions between the Economy and the Environment in the Long-Run, a. a. O.

³⁴³ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.119.

„Durch die Rohstoffentnahme werden also ökologische Vorleistungen abgebaut. Diese Verluste, die wir als Zunahme der Entropie im Umweltbereich interpretiert haben, führen sofort oder später zu einem Anstieg des Faktoreinsatzes bei der Rohstoffgewinnung.“³⁴⁴

Im weiteren versuchen sie herauszuarbeiten, welche Bedingungen im Modell für die Ablösung verschiedener (vorhandener) Produktionstechniken verantwortlich sind.

Faber³⁴⁵ erläutert, daß die Umwelt nicht nur den Menschen mit Ressourcen versorgt und Abfälle aufnimmt. Sie erzeugt auch einen „Nachschub“ bestimmter Ressourcen und ist fähig, zumindest einen Teil der Abfälle wieder in natürliche Kreisläufe aufzunehmen. Zwischen diesen verschiedenen „Dienstleistungen“ der Natur existieren allerdings Interdependenzen. Wenn z.B. der tropische Regenwald zur Holzgewinnung abgeholzt wird, so verschwindet u.a. auch eine „Maschine“ zur Umwandlung von CO₂ in Sauerstoff und Kohlenstoff. D.h die Filterfunktion des Waldes verschwindet, wenn die Nutzung als Material- und Energielieferant eine bestimmte Grenze überschreitet.

Faber, Niemes und Stephan³⁴⁶ gehen davon aus (was sie in der Folge erläutern), daß man einen ökologischen Gleichgewichtszustand im Sinne eines stabilen Zustands³⁴⁷ als Zustand konstanter Entropie der Umwelt charakterisieren kann. Auf dieser Basis versuchen sie, die Umwelt als Rohstofflieferant und als Schadstoffempfänger unter einem gemeinsamen Gesichtspunkt zu beurteilen, nämlich eben der Entropie. Sie gehen dabei von der thermodynamischen Beschreibung des Diffusionsvorgangs aus, mit dem sie den Übergang von Schadstoffen aus dem ökonomischen System in die Umwelt abzubilden versuchen. Die Extraktion der Rohstoffe aus der Umwelt wird als umgekehrter Diffusionsvorgang aufgefaßt.³⁴⁸

³⁴⁴ Ebenda, S.125.

³⁴⁵ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy. Entropy, Environment and Resources, a. a. O., S.1.

³⁴⁶ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.69.

³⁴⁷ Ebenda, S.89 Fn.2.

³⁴⁸ Ebenda, S.70.

Weiterhin wird die ausgesprochen wichtige Tatsache eingeführt,³⁴⁹ daß ökologische Systeme offene Systeme sind. Dies ist im übrigen nicht notwendigerweise so, das Gesamt- Ökosystem Erde ist nur nicht-isoliert,³⁵⁰ d.h. es wird im wesentlichen nur Energie, kein Material mit der Umgebung ausgetauscht. Diese offenen Systeme halten ihre eigene Entropie konstant oder verringern sie evtl. sogar. So kann zumindest im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Ökosystems eine Verringerung der Entropie gesehen werden. Dieses Konstanthalten oder gar Verringern der Entropie ist allerdings nur möglich, indem diese offenen Systeme niedrige Entropie aus der Umgebung aufnehmen und dissipieren. Dadurch wird der Begrenzung durch das Entropiegesetz Rechnung getragen. Es handelt sich also um Fließgleichgewichte und „Fließ- Ungleichgewichte“, um dissipative Strukturen.

Sie kennzeichnen ein ökologisches Gleichgewicht als einen Zustand, bei dem sich die Entropieerzeugung des Systems und der negative Entropiefluß durch das System die Waage halten.

Verdeutlicht wird ihr Gedankengang mit folgendem Beispiel:³⁵¹ Es bestehe ursprünglich ein Ökologisches Gleichgewicht. Es werde mit der Produktion von Konsumgütern begonnen, wodurch Schadstoffe emittiert werden. Diese erzeugen im Umweltbereich zusätzliche Entropie, die nicht durch den Entropiefluß von außerhalb des Umwelt-Ökosystems kompensiert wird. Daraus schließen sie, daß das (Fließ-)Gleichgewicht nicht erhalten bleibt. Dieser Schluß ist allerdings etwas voreilig, da Erkenntnisse über das „typische“ Verhalten solcher Fließgleichgewichte bzw. dissipativer Systeme³⁵² nahelegen, daß diese in der Regel auf eine Variation der Umweltbedingungen in einem bestimmten Bereich relativ unempfindlich reagieren. Allerdings erfolgt ab einer bestimmten Grenze eine sprunghafte

³⁴⁹ Ebenda, S.90.

³⁵⁰ In diesem Zusammenhang ist nochmals auf die Bedeutung der Begriffe: isoliert (bzw. abgeschlossen), geschlossen und offen in der Thermodynamik hinzuweisen. Unter einem isolierten System versteht man ein System, das weder Energie noch Materie mit seiner Umgebung austauschen kann. Ein geschlossenes System kann zwar Energie, weiterhin aber keine Materie mit seiner Umgebung austauschen. Der Austausch von Energie und Materie ist nur bei offenen Systemen möglich.

³⁵¹ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.92.

³⁵² Vgl. z.B. Schrader, Chr.: Wenn die Gleichungen verrückt spielen, in: GEO-Wissen Nr.2 (1990): Chaos und Kreativität vom 7.5.90 Hamburg 1990, S.184-185.

Reaktion, die zu einem neuen Gleichgewicht, aber auch zu einem Oszillieren zwischen verschiedenen Gleichgewichten oder zu „chaotischem“ Verhalten führen kann. Im Gegensatz zu der bei Faber, Niemes und Stephan unterstellten Vorstellung ist also mit einer typischen „nichtlinearen“ Reaktion zu rechnen. „Zu rechnen“ trifft in diesem Fall allerdings nicht ganz den Kern des Problems, da es bisher nicht gelingt, solche Systeme in ihrem realen Verhalten zu berechnen.

Der Anstieg von Extraktionskosten im Laufe der Zeit wird auf eine durch die Nutzung knapper nichterneuerbarer Rohstoffe mit abnehmender Rohstoffkonzentration in den Lagerstätten bedingte Entropiezunahme im Umweltbereich zurückgeführt. Diese Entropiezunahme ist langfristig mit einer Erhöhung des Energie- bzw. Faktoreinsatzes bei der Extraktion verbunden. Dies läuft letztlich wiederum auf eine weitere Entropiezunahme hinaus. Daraus schließen sie: „Änderungen im ökonomischen Bereich werden damit durch naturwissenschaftliche Phänomene erklärt.“³⁵³ Daß bei fixierter Technologie die Extraktionskosten steigen, ist an sich ein Ergebnis des „ökonomischen“ Abbauverhaltens, nämlich immer mit den besten Lagerstätten anzufangen. Um diese Effekte zu erklären, ist m.E. kein Rückgriff auf den Entropiebegriff notwendig.

³⁵³ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.92.

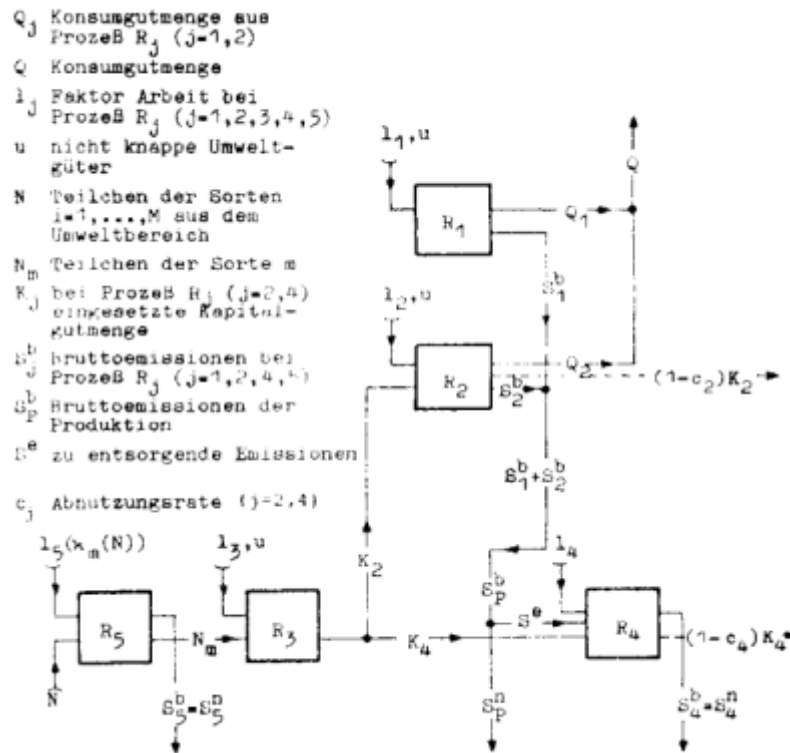


Abb. 6: Umwelt-Rohstoff-Modell mit Kapitalbindung im Entsorgungssektor
 (Quelle: Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.159)

Das Gesamtmodell ist in Abbildung 6 wiedergegeben und umfaßt die folgenden Elemente: als physischen Input nicht knappe Umweltgüter, Teilchen (Mengeinheiten) verschiedener Sorten (Stoffe) gemischt aus dem Umweltbereich sowie Arbeit. Als physischen Output Nettoemissionen der verschiedenen Produktionsprozesse sowie ein Konsumgut. Das Konsumgut steht wohl stellvertretend für das letzte Ziel des Wirtschaftens, vergleichbar dem Flux an Lebensfreude bei Georgescu-Roegen bzw. Daly. In einer Ergänzung wird dann zusätzliche noch Recycling berücksichtigt (vgl. Abb. 7), wodurch als zusätzlicher Output noch die Abfallstoffe des Recycling anfallen. Als erstes Ergebnis der Wohlfahrtsoptimierung unter Berücksichtigung des Recycling kommen sie³⁵⁴ zu dem Schluß, das Recyclingverfahren werde angewendet, wenn die Konzentration des Rohstoffs, also z.B. Eisen, im Abfall die Konzentration in der Umwelt übersteigt. Im weiteren wird dieses Ergebnis allerdings dahingehend korrigiert, daß sich unter Berücksichtigung der zeitlichen Strukturen eine parallele Nutzung der Recycling- und der

³⁵⁴ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.170.

Abbautechnologie einstellt. Dies hängt damit zusammen, daß beide Quellen für sich alleine genommen den jeweiligen mengenmäßigen Bedarf nicht decken können. Allerdings hätte man sich diesen Effekt m.E. auch ohne Rückgriff auf ein mathematisches Modell erklären können. Weiterhin weisen sie³⁵⁵ noch darauf hin, daß eine Deponierung von Abfällen als Vorrat potentiell noch verwertbarer Stoffe betrachtet werden kann. Denn wenn die Konzentration des Rohstoffs in der Umwelt entsprechend tief gesunken ist, lohnt sich ein Recycling des bis dahin deponierten Abfalls. Eine Entscheidung über Deponierung oder „Entsorgung“ in die Umwelt, im Sinne einer Verstreuung wie z.B. bei der Dünnsäureverklappung in der Nordsee, hat also auch Auswirkungen auf die künftige Verfügbarkeit des Rohstoffs, denn nur durch die Deponierung wird die Option für das Recycling auch der vorher schon anfallenden Restmengen im Abfall offen gehalten. Allerdings steht dieser Gedanke im Gegensatz zu den üblichen Gründen für eine Deponierung, denn hierbei wird in der Regel ausschließlich mit Umweltschutzgesichtspunkten argumentiert. Inwieweit der entwickelte Gedanke praktische Relevanz besitzt, vermag ich nicht abzuschätzen. Sie geben weiterhin noch zu bedenken,³⁵⁶ daß bisher der Ressourcenverbrauch für die Deponierung (Transport, Unterhaltung der Deponie usw.) nicht in Betracht gezogen wurde. Darüberhinaus müssen auch noch die von der Deponie ausgehenden Umweltgefährdungen in Rechnung gestellt werden.

³⁵⁵ Ebenda, S.173.

³⁵⁶ Ebenda, S.175.

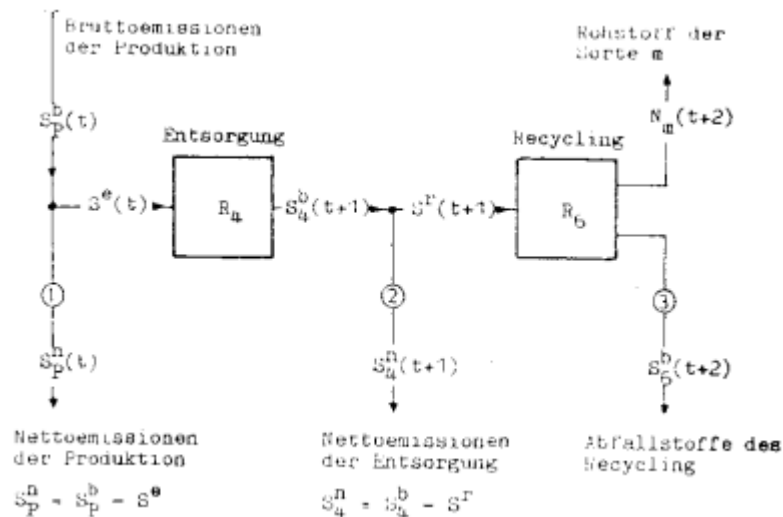


Abb. 7: Nettoemissionsströme bei zentraler Entsorgung mit Recycling (Quelle: Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.165)

Faber, Niemes und Stephan³⁵⁷ führen im Ausblick folgende Weiterentwicklungsmöglichkeiten für ihr Modell auf: Verallgemeinerung des Ansatzes unter Aufgabe der linear- limitationalen Produktionsstruktur; Vergleich mit den Ergebnissen der neoklassischen Theorie der Ressourcenallokation; Anwendung auf konkrete Probleme.

Faber und Stephan³⁵⁸ weisen auf einen wichtigen Aspekt der Umwelt- und Ressourcenproblematik hin, daß nämlich bei einer relativ „plötzlichen“ Anpassung der Preise an ihr volkswirtschaftlich „richtiges“ Niveau das Gefüge einer Volkswirtschaft „nachhaltig erschüttert“ werden kann. Sie erwähnen beispielhaft die Ölpreisschocks von 1973 und 1978/79, bei dem es sich zwar selbstverständlich nicht um einen Versuch handelte, externe Kosten zu internalisieren, der jedoch eine plötzliche Störung darstellte. Dieses Argument des Charakters der Übergänge trägt aber m.E. noch wesentlich weiter. Die Mißachtung natürlicher Gegebenheiten führt, je länger sie durchgeführt wird, zu einem um so stärkeren Anpassungsdruck, der sich in stärkeren „Reibungsverlusten“ bei der zu einem späteren Zeitpunkt zwangsweise erfolgenden Anpassung äußert. Wenn z.B. die Verringerung der Belastung des Grundwassers mit Pestiziden nur halbherzig angegangen

³⁵⁷ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.175.

³⁵⁸ Vgl. Faber, Malte / Stephan, Gunter: Volkswirtschaftliche Betrachtungen zum Materialrecycling, a. a. O., S.2.

wird und teilweise die Situation durch das Ausweichen auf verbliebene unbelastete Gebiete, die dann regelrecht „leergepumpt“ werden, noch stärker angespannt wird, so ist absehbar, daß der Preis für das knapp werdende Trinkwasser plötzlich sehr stark ansteigen wird.

Faber und Stephan³⁵⁹ sehen drei zusätzliche Preiskomponenten, die zu den heutigen Preisen dazukommen müßten. Eine Knappheitskomponente, die die zukünftigen Anpassungsschwierigkeiten durch die Rohstoffverknappung widerspiegelt. Zum zweiten eine Umweltkomponente, die die negativen externen Effekte durch Umweltverschmutzung internalisiert. Drittens eine Abfallkomponente, die den Schwierigkeiten bei der Beseitigung der verbrauchten Güter Rechnung trägt.

Bei der Knappheitskomponente handelt es sich strenggenommen um die Auswirkung eines zu hohen Kalkulationszinssatzes der Ressourcenbesitzer. Wäre dieser gesamtgesellschaftlich „richtig“, so wäre auch die Knappheitskomponente im Preis enthalten. Bei der Unterscheidung zwischen dem zweiten und dem dritten Aspekt sind allerdings starke praktische Schwierigkeiten zu erwarten. Hier droht die Gefahr von Doppelzählungen, da z.B. die Kosten der Dioxinemmission von Müllverbrennungsanlagen der einen wie der anderen Kategorie zugerechnet werden können.

Faber, Niemes und Stephan³⁶⁰ erläutern, daß z.B. eine Schadstoffabgabe ceteris paribus auch den Rohstoffverbrauch verringert, da bzw. wenn sie sich in einer Verringerung des Outputs äußert. Allerdings gilt dies nicht, wenn die Abgabe den Einbau von z.B. Filtern nach sich zieht oder gar die gesamte Produktionstechnologie geändert wird.³⁶¹

Sie³⁶² wehren sich gegen die Wahl zwischen Umweltschutz und Wachstum. Wachstum schließt Umweltqualität nicht aus. Es ist allerdings notwendig, einen

³⁵⁹ Vgl. Faber, Malte / Stephan, Gunter: Volkswirtschaftliche Betrachtungen zum Materialrecycling, a. a. O., S.3.

³⁶⁰ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.11.

³⁶¹ Vgl. z.B. Baumol, William J. / Oates, Wallace E.: The theory of environmental policy, Cambridge, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney 1975, 2. Aufl. 1988, S.80-81.

³⁶² Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.11.

Teil des Kapitalstocks zur Reduzierung von Schadstoffemissionen, zum Recycling und zur Verbesserung der Regenerations- und Dissimilationsfähigkeit der Umwelt heranzuziehen. Hierzu ist hinzuzufügen, daß sich diese Betrachtung sowohl auf end-of-the-pipe als auch auf prozeßinnovativen Umweltschutz beziehen läßt.

Über den „Umweg“ über die dissipativen Strukturen stehen auch die unter dem Stichwort „bioeconomics“ zu subsumierenden Ansätze in Verbindung mit der Themenstellung dieser Arbeit. Faber und Proops³⁶³ versuchen den Gedanken der Evolution auf die Beschreibung der wirtschaftlichen Entwicklung anzuwenden. Sie fassen den Begriff der Evolution zu diesem Zweck allgemein mit den Worten zusammen: „Evolution is the *changing* of something into something else *over time*.“³⁶⁴ Ihrer Aussage nach ist unter Evolutionsgesichtspunkten Physik „einfach“, Ökonomie „schwierig“ und Biologie „irgendwo dazwischen“.³⁶⁵ Sie verwenden den Begriff „Genotyp“ für das jeweilige Potential an Möglichkeiten. Für die Betrachtung der Ökonomie sehen sie als Genotyp die Präferenzen der Wirtschaftssubjekte, den Stand der Technik, die Rechtsordnung sowie ökonomische und soziale Institutionen. In der physikalischen Natur gibt es nichts wirklich Neues mehr, die gesamte genotypische Evolution der Physik hat sich in den ersten Sekunden des Universums abgespielt. Eine Evolution findet also im Bereich der Physik nicht mehr statt. In der Biologie ist es bekanntermaßen so, daß der durch Zufall (Mutation) und Rekombination veränderte Genotyp über den Phänotyp, in dem er sich manifestiert, der natürlichen Auslese, dem „survival of the fittest“ unterworfen ist. Der Phänotyp kann hierbei aber niemals auf den Genotyp rückwirken, er kann nur eine Auswahl aus dem Pool, den der Genotyp darstellt, ermöglichen. Neues kommt in den Pool ohne Mitwirkung des Phänotyps durch zufällige Prozesse. In der Ökonomie allerdings beeinflußt der Phänotyp auch den Genotyp, da die aktuelle Ausprägung des Wirtschaftssystems nicht nur durch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, sondern auch durch die Wechselwir-

³⁶³ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R. : Evolution in Biology, Physics and Economics, a. a. O.

³⁶⁴ Faber, Malte / Proops, John L. R. : Evolution in Biology, Physics and Economics, a. a. O., S.1; Hervorhebung im Original.

³⁶⁵ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R. : Evolution in Biology, Physics and Economics, a. a. O., S.1.

kung des geistigen Klimas mit der Kreativität des Erfinders über die Veränderung der Möglichkeiten der Zukunft rückkoppelt.³⁶⁶ Darum ist Physik einfach, Biologie schwieriger und Ökonomie am kompliziertesten.³⁶⁷

3.2.3 Kritik: was kann dieser Ansatz leisten

Eine der Hauptschwächen bei Fabers Ansatz ist schon in der Darstellung seiner Ausgangspunkte angelegt. Es wird dort formuliert, erst die Verarbeitung von Bodenschätzen erzeuge in der Regel Schadstoffe.³⁶⁸ Wie schon bei der Kritik entsprechender Gedanken Dalys ausgeführt, ist diese Annahme m.E. als „heroisch“ einzustufen. Schadstoffe entstehen auch bei der Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen. Weiterhin impliziert die obige Aussage eine Gleichsetzung von Abfall und Schadstoffen. Eine solche Gleichsetzung erlaubt aber z.B. schon keine Beschreibung von end-of-the-pipe Umweltschutzmaßnahmen mehr.

Ein Zusammenhang der oben beschriebenen Art ist als Teilaspekt des Umweltproblems wahrscheinlich nicht zu leugnen, als Voraussetzung der Analyse schränkt er allerdings m.E. die Gültigkeit der Ergebnisse von vorneherein übermäßig ein.

Des weiteren wird zur Formulierung des Ansatzes von einer Gleichsetzung von Ordnung mit niedriger Entropie ausgegangen.³⁶⁹ Faber, Niemes und Stephan³⁷⁰ sehen selbst einen Teil der Probleme, die mit dieser Gleichsetzung verbunden sind, und erklären auch einschränkend, daß solche auf Boltzmanns kinetischer Gastheorie basierende Aussagen prinzipiell nur für wechselwirkungsfreie Systeme wie ideale Gase gelten.³⁷¹ Deutlich werden diese Probleme am Beispiel einer Emulsion von Öl und Wasser, die sich von selbst, d.h ohne Zufuhr niedriger Entropie, entmischt, was zeigt, daß eine Entmischung (die man in der Regel als

³⁶⁶ Ebenda, S.34.

³⁶⁷ Ebenda, S.1.

³⁶⁸ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.1.

³⁶⁹ Ebenda, S.3.

³⁷⁰ Ebenda, S.97.

³⁷¹ Ebenda, S.88.

eine Zunahme der Ordnung ansehen würde) mit einer Zunahme der Entropie verbunden sein kann.³⁷² Leider wird in dem vorgestellten Modell dieses Problem ignoriert, was die Übertragbarkeit des Modells auf reale Zusammenhänge stark einschränkt.³⁷³

Verschmutzung ist nicht nur eine physische Konsequenz der Nutzung nichterneuerbarer Ressourcen, wie Faber³⁷⁴ es darstellt. Aus jeder Ressourcennutzung und damit auch bei Nutzung erneuerbarer Ressourcen entstehen Verschmutzungen, Abfälle. Die Auswirkungen und z.T. auch das Ausmaß dieser Verschmutzungen ist in der Regel vorher nicht absehbar, zumindest nicht in all ihren Konsequenzen.

Faber und Proops³⁷⁵ weisen darauf hin, daß die Frage, ob „Ökonomien“ als dissipative Strukturen angesehen werden können, noch nicht endgültig geklärt ist. Sie zitieren Nicolis und Prigogine,³⁷⁶ die eine Stadt als Beispiel für eine dissipative Struktur darstellen, die nur überleben kann, solange sie aus der Umgebung Nahrungsmittel, Treibstoffe und andere Güter aufnehmen kann und andererseits nützliche und unnütze Produkte (Abfall) an die Umgebung abgeben kann.

Binswanger³⁷⁷ legt Wert auf die Feststellung, daß ein Unterschied zwischen „natürlicher“ Regeneration und „künstlichem“ Recycling existiert. Regeneration erfolgt quasi „von selbst“, während für Recycling der Einsatz von Energie (niedriger Entropie) und Material (niedrige Materie- Entropie im Sinne Georgescu-Roegens bzw. Dalys) nötig ist. Auch Regeneration kann sich selbstverständlich nicht über Naturgesetze hinwegsetzen, dissipiert also auch Energie. Diese Vorgänge finden aber in einem verzahnten, weitgehend noch funktionierenden globalem System statt, das niedrige Entropie, nämlich von der Sonne kommende Energie, nutzt, die ansonsten „ungenutzt“ dissipiert. Solange die Menschheit nicht fähig ist, das

³⁷² Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.97.

³⁷³ Ebenda, S.97.

³⁷⁴ Ebenda, S.1.

³⁷⁵ Vgl. Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: a. a. O., S.1.

³⁷⁶ Vgl. Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya : Self- Organization in Non-Equilibrium Systems, New York 1977, S.4.

³⁷⁷ Vgl. Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, a. a. O., S.141.

Raumschiff Erde zu „fahren“, ist die einzige Möglichkeit die, es auf Autopilot fliegen zu lassen. Und selbst wenn die Menschheit lernen könnte das System zu steuern (was man berechtigterweise für unmöglich halten kann, da die Komplexität des Systems auch in seinen zukünftigen, nicht vorraussehbaren Entwicklungsmöglichkeiten zum Ausdruck kommt) stellt sich die Frage, ob dies überhaupt erstrebenswert wäre. Es gibt Menschen, die das, was „Natur“ ausmacht, als „counterpart“ zum Menschen für an sich notwendig oder zumindest erwünscht halten. Abgesehen davon ist es gut möglich, daß das Arbeiten mit den statt gegen die selbstregelnden Systeme ganz einfach mit niedrigeren Kosten verbunden ist, z.B. gemessen in Einheiten unangenehmer Beschäftigung. Der Nettonutzen eines Lebens, das in einem sehr weiten Sinne im „Einklang“ mit der Natur stattfindet, ist möglicherweise höher, als der in einer durch Menschen wirklich kontrollierten Welt.

Allerdings ist es, wie auch Binswanger betont, dafür notwendig, die Regenerationsfähigkeit der Natur zu erhalten. So führen auch hier wieder Überlegungen, ausgehend vom Entropiegesetz, zu Aussagen über Umweltschutz. Auch z.B. Naturschutzgebiete haben in diesem Sinne eine über den „Erholungswert“ hinausgehende Bedeutung. Dies ist eine Sichtweise, die sich erst in Ansätzen durchzusetzen beginnt. Als Beispiel wäre hier die Regenwaldproblematik zu nennen, bei der insbesondere die Funktion der Umwandlung von CO₂ in Sauerstoff (und in der Pflanze gebundenen Kohlenstoff) seit einiger Zeit stärker beachtet wird.

Binswanger formuliert (in einem gewissen Sinne Georgescu-Roegen interpretierend), daß die Wirtschaft in einen Entropiefluß eingebettet ist.³⁷⁸

Die vorliegenden Arbeiten von Faber, Niemes und Stephan weisen einen eher vorläufigen Charakter auf. Dargestellt wird im wesentlichen der Aufbau des Modells, nähere Aussagen bezüglich der Ergebnisse werden nicht getroffen. Die auf den ersten Blick naheliegende Frage, ob die Einführung physikalischer Gesetzmäßigkeiten in das Modell Abweichungen von den Ergebnissen der üblichen ökonomischen Analyse hervorruft, ist anhand der dargestellten Ergebnisse nicht zu

³⁷⁸ Vgl. Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, a. a. O., S.144.

beantworten. Ziel war wohl primär eine neuartige Form der Einführung physikalischer Rahmenbedingungen in ein ökonomisches Modell.

4 Schlußbetrachtung

4.1 Was bleibt?

Aus der Gültigkeit des Entropiegesetzes ist nicht abzuleiten, welche Mengen an Ressourcen von einer Generation verbraucht werden dürfen. Selbst eine Aussage über die Notwendigkeit einer Einschränkung des Ressourcenverbrauchs ist nicht möglich. Das Entropiegesetz weist nur darauf hin, daß eine wichtige Dimension der Realität bisher aus den meisten ökonomischen Modellen ausgeklammert wird. Allerdings ist dies nicht nur das Entropiegesetz allein, wie die Ökonomen dachten, die zuerst versuchten, das Entropiegesetz in ökonomische Betrachtungen zu integrieren. Vielmehr ist es vor allem die Tatsache, daß man das Wirtschaftssystem als dissipative Struktur³⁷⁹ ansehen kann (und eventuell sogar ansehen muß). Diese Sicht ist bisher, wenn überhaupt, nach Sommers Ansicht vor allem in der österreichischen Schule der Ökonomie³⁸⁰ in einer anderen Formulierung angelegt, nicht aber im „mainstream“³⁸¹ der Ökonomie.

Die naheliegende Konsequenz des Entropiegesetzes für die (Umwelt-) Ökonomie, das unumstößliche „es geht bergab“, gilt so einfach nur in einer leblosen Welt, einer Welt in der Nähe des thermodynamischen Gleichgewichts. In unserer belebten Welt, in der sich viele Vorgänge fern vom thermodynamischen Gleichgewicht abspielen, steht dem der optimistische Pfeil der Zeit entgegen. Zu kennzeichnen ist dieser optimistische Pfeil der Zeit durch Begriffe wie Entwicklung und Evolution.

Es bietet sich hier eventuell die Möglichkeit, formale (mathematische) Modelle zu konstruieren, die auf die Tatsache eingehen, daß auch in der Ökonomie eine

³⁷⁹ Bonus macht eine Aussage, die in eine ähnliche Richtung geht, indem er das ökonomische System als Ökosystem bezeichnet. vgl. Bonus, Holger: Ökologie und Marktwirtschaft – Ein überwindbarer Gegensatz? in: Universitas Nr.11 1986, S.1121-1135, hier S.1122.

³⁸⁰ Vgl. Sommer, John W.: Unifying Themes in Non- Mainstream Economics: A Speculation, in: Ali B. Cambel (Hrsg.): Dissipative Strukturen in integrierten Systemen. (Schriftenreihe zur gesellschaftlichen Entwicklung Bd. 2), Baden-Baden 1989, S.133-145, hier S.133.

³⁸¹ Sommer, John W.: a. a. O., S.133.

„Ordnung fern vom Gleichgewicht“³⁸² vorliegt – eine Formulierung, die stark an die Sichtweise Schumpeters erinnert. Allerdings sind mir keine ökonomischen Ansätze in dieser Richtung (dissipative Strukturen bzw. Chaos-Theorie) bekannt, die über ein punktuelles Anschneiden verschiedener Einzelprobleme hinausgehen.³⁸³ So ist z.B. auch Fabers entropieorientierter umweltökonomischer Ansatz als noch sehr rudimentär einzustufen.

Faber³⁸⁴ sieht selbst Einschränkungen bei der praktischen Beurteilung der Wirtschaft mit Hilfe des Entropiekonzepts. Er äußert sich dahingehend, daß er selbst keine Anwendung des Entropiekonzepts auf einem mikroökonomischen Niveau zur Lösung spezifischer Probleme sehe. Allerdings läßt sich zumindest bei bestimmten betriebswirtschaftlichen Überlegungen im Energiebereich mit dem Entropiekonzept arbeiten. Was Faber m.E. ausdrücken will, ist, daß bisher nicht abzusehen ist, ob man auf der Basis der vorgestellten Überlegungen spezifische Empfehlungen für praktische wirtschaftspolitische Probleme geben kann.

Die Beschäftigung mit dem Entropiegesetz zeigt, worauf man achten sollte und welche Möglichkeiten auf Grund naturgesetzlicher Gegebenheiten offenstehen und welche nicht. Auch Faber³⁸⁵ stellt zusammenfassend fest: „It [das Entropiegesetz] makes us aware of problems.“ und fügt hinzu, daß durch dieses Konzept das Augenmerk insbesondere auch auf Probleme, die mit dem Phänomen Zeit in Verbindung stehen, gelenkt wird. Für besonders wichtig halten Faber und Proops dabei die Tatsache, daß³⁸⁶ jede ökonomische Aktivität Zeit braucht. Auch wenn die Dauer der ökonomischen Aktivität beeinflußt werden kann, so existiert doch eine physikalisch bedingte untere Grenze. Sie erklären, daß „...thermodynamics forces us to regard real, irreversible time in the analysis, making one aware of the

³⁸² Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: a. a. O., S.148-152.

³⁸³ Vgl. z.B. Alefeld, G.: Entropie und Ökonomie; Marggraf, Rainer: Von nicht-linearen ökonomischen Strukturen zu nicht-linearen ökonomischen Modellen; Drepper, F.: Determinismus im Informationsproduktionsprofil eines Aktienindex; alle in: Ali B. Cambel (Hrsg.): Dissipative Strukturen in integrierten Systemen. (Schriftenreihe zur gesellschaftlichen Entwicklung Bd. 2), Baden-Baden 1989, Seiten 163-172 bzw. 223-239 bzw. 93-109.

³⁸⁴ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy, a. a. O., S.20.

³⁸⁵ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy, a. a. O., S.20.

³⁸⁶ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists, a. a. O., S.10.

irreversible nature of much economic activity.“³⁸⁷ Allerdings bleibt es auch hier primär bei dem Hinweis auf die Existenz der physikalischen Gegebenheiten.

Der irreversible Charakter der Produktion und die Unmöglichkeit einer Produktion ohne Input mag auch ohne Rückgriff auf physikalische Erklärungen für viele selbstverständlich sein. Allerdings erklären Faber und Proops,³⁸⁸ daß sie es nicht für einen Zufall halten, daß Koopmans, der diese zwei Punkte ihrer Aussage nach in die ökonomische Analyse eingeführt hat, Physik studiert und auch seine ersten Arbeiten auf diesem Feld veröffentlicht hat. Sie weisen damit nochmals darauf hin, daß die physikalische Betrachtungsweise dem Ökonomen die Augen für solche Zusammenhänge öffnen kann.

Das Ziel ökologisch orientierter Individuen sollte Fabers Meinung nach sein,³⁸⁹ niedrige Entropie nicht zu verschwenden. Der Grund für solche Verschwendung, die er zur Zeit sieht, ist die hohe Diskontrate, die dadurch entsteht (so Faber), daß zukünftige Generationen am Markt nicht mitbieten können.

Diefenbacher³⁹⁰ erklärt dazu:

„So besteht die Tendenz, den materiellen Naturreichtum der Gesellschaft [...] zu leichtfertig anzugreifen und die Beseitigung von Schäden, die durch den technischen Fortschritt und die zunehmende Naturzerstörung entstehen zukünftigen Generationen zu überlassen. [...] Die regelmäßige Existenz eines positiven Zinssatzes verführt zu der Illusion, derartige Belastungen ließen sich in Zukunft auch besser tragen als heute.“

Allerdings sieht Faber keine Lösung in einer staatlichen Abschöpfung, da eine Partei mit einem solchen Programm seiner Ansicht nach keine Chancen hat, in einem demokratischen System wiedergewählt zu werden.³⁹¹ Er hält es vielmehr für notwendig, das Bewußtsein der Bevölkerung zu ändern, ihr näherzubringen, daß eine ethische Verpflichtung gegenüber den zukünftigen Generationen besteht.

³⁸⁷ Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists*, a. a. O., S.11.

³⁸⁸ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists*, a. a. O., S.14.

³⁸⁹ Vgl. Faber, Malte: *A Biophysical Approach to the Economy*, a. a. O., S.20-21.

³⁹⁰ Diefenbacher, Hans: a. a. O., S.1101.

Faber und Proops³⁹² gestehen zu, daß es noch völlig ungewiß ist, eine wie große Rolle Chaos und Bifurkationen in der Realität für die Ökonomie spielen. Allerdings sehen sie doch Hinweise darauf, daß die Rolle eine tragende sein könnte. So gibt z.B. Prigogine³⁹³ ein Beispiel für die Modellierung der Entwicklung einer Region mit dem Entstehen von Ober- und Unterzentren an. Dabei ist auch das Phänomen der Autokatalyse berücksichtigt, das bei der Selbstorganisation im Rahmen von dissipativen Strukturen eine tragende Rolle spielt.³⁹⁴ Eine eher indirekte Konsequenz für die Umweltökonomie ergibt sich durch die Ergebnisse, die die Forschung im Bereich der dissipativen Strukturen für andere wissenschaftliche Disziplinen wie z.B. Biologie oder auch Klimaforschung erbracht hat. Diese in Gliederungspunkt 2.2.2. bereits angesprochenen Ergebnisse weisen m.E. vor allem darauf hin, daß das Problem der Interdependenzen zwischen scheinbar völlig verschiedenen und in der Politik meist auch als solche behandelten Bereichen des Gesamtkomplexes Umweltschutz praktisch nicht überzubetonen ist.

Strenggenommen handelt es sich bei allen hier vorgestellten Ansätzen um Versuche, eine neue Sichtweise für das Grundproblem der Ökonomie, die optimale Allokation knapper Ressourcen zu erreichen. Vor allem Georgescu-Roegen weist immer wieder darauf hin, daß im letzten Endes alle Ressourcen knapp sind, da ihre Nutzbarkeit von der Form ihres Auftretens abhängig ist und diese Nutzbarkeit einer ständigen Verschlechterung unterworfen ist. Aufgrund der großen Zeitspannen, die bei dieser Betrachtung unterstellt werden, handelt es sich um eine extreme Form eines intertemporalen Allokationsproblems. Das Entropiegesetz nimmt hierbei gewissermaßen einen Freiheitsgrad der Unsicherheit, indem aufgrund seiner Gültigkeit bestimmte zukünftige Zustände bzw. Entwicklungen unmöglich sind. Allerdings ist die verbleibende Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung weiterhin sehr groß.

³⁹¹ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy, a. a. O., S.22.

³⁹² Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: Time Irreversibilities in Economics, a. a. O., S.17.

³⁹³ Vgl. Prigogine, Ilya: a. a. O., S.138.

³⁹⁴ Als Autokatalyse bezeichnet man in der Chemie das Phänomen, daß ein Stoff als Katalysator seine eigene Synthese begünstigt.

Faber und Proops³⁹⁵ fassen die Bedeutung des Entropiegesetzes für die Ökonomie aus ihrer Sicht in folgenden Punkten zusammen:

- Entropie kann als neue Variable die Umwelt- und die Ressourcen-Ökonomie vereinen
- Der Thermodynamische Ansatz ist ein Weg für die Ökonomie, mit ihren biologischen und physikalischen Grundlagen wieder in Kontakt zu kommen
- Durch die Verwendung des Entropiekonzepts wird der Ökonom auf die irreversible zeitliche Struktur von Umwelt- und Ressourcen-Problemen aufmerksam

Wie in der Einleitung schon angesprochen, ist ein Teil der Abstriche, die gerade bei Aussagen Dalys, aber auch z.B. bei dem „vierten Hauptsatz“ von Georgescu-Roegen gemacht werden müssen, auf eine eher geringe Beachtung der Grenzen der Aussagekraft naturwissenschaftlicher Gesetze zurückzuführen. Der Versuch, den Wirtschaftsprozeß *ausschließlich* mit Hilfe des Entropiegesetzes zu beschreiben, führt zu einer eingengten Sicht. Aufgrund einer solchen Sicht könnte man auch für einen kollektiven Selbstmord der Menschheit plädieren, da dann „die Natur“, so man sie denn als Gegensatz zum Menschen sieht, von dieser „Bürde“ befreit wäre. Die naheliegenden Probleme der Menschheit bestehen nicht in einem drohenden Wärmetod der Erde, einer rapiden Zunahme der Entropie. Die naheliegenden Probleme sind vielmehr in einer massiven Störung der bisher, im Sinne einer Strukturstabilität, stabilen natürlichen Systeme und Kreisläufe zu sehen, in die der Mensch eingebettet ist. Richtig bleibt zwar, daß auf Dauer nicht mehr niedrige Entropie in hohe umgewandelt werden kann, als von „außen“, von der Sonne, „nachgeliefert“ werden kann. Aber: Durch das Entropiegesetz wird eine Nebenbedingung formuliert, nicht die (zu minimierende) Zielfunktion.

Alle Ressourcen, die der Mensch nutzt, sind letztlich entweder „natürliche“ Ressourcen oder basieren zumindest auf solchen. Einen Teil dieser Ressourcen, nämlich die nichterneuerbaren, behandeln Georgescu-Roegen und andere Ökonomen mit Hilfe des Entropiekonzepts. Die „nachwachsenden“ Ressourcen erscheinen

³⁹⁵ Vgl. Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists*, a. a. O., S.18.

aufgrund der Erkenntnisse der Chaos-Forschung und des Ansatzes der dissipativen Strukturen in einem neuen Licht. Es wird immer deutlicher, daß ihre Nutzung „vorsichtig“ zu erfolgen hat, will man nicht plötzliche, unvorhersehbare Reaktionen provozieren. Abschließend bleibt daran zu erinnern, daß

- das Entropiegesetz auch nur Bestandteil eines naturwissenschaftlichen Modells der Welt ist. Es ist „Menschenwerk“, keine „göttliche Offenbarung“ und somit der Gefahr unterworfen, sich irgendwann als inadäquate Beschreibung der Welt zu erweisen.
- Es ist wissenschaftlich nicht auszuschließen, daß der Mensch eine mit den Leistungen der Natur vergleichbare Nutzung der Sonnenenergie, sowie auch ein entsprechendes Materialrecycling zuwege bringt oder
- zumindest in der technischen Entwicklung mit dem „Niedergang“ Schritt hält.³⁹⁶

4.2 „Prinzip Vorsicht“?

Der im letzten Abschnitt schon angesprochene quasi unendliche Zeithorizont stellt m.E. keine handhabbare Größe mehr dar. Aussagen, die sich letztlich darauf beschränken festzustellen, die Entropie werde, da sie ständig zunehme, irgendwann ein Maximum erreichen, sind nicht nur tautologisch, sie bieten auch keine Möglichkeit verwertbare Schlüsse aus ihnen zu ziehen. Die Menschheit wird schon deswegen nicht ewig existieren, weil, wenn unsere physikalischen Modelle auch nur annähernd verlässlich sind, das gesamte Universum, zumindest für lebendige Strukturen, ein zeitliches Ende erwartet. Weiterhin ist im Moment nicht absehbar, daß die Menschheit das Ende unserer Sonne überstehen wird. Aber auch dieser Zeitpunkt liegt, auch an Maßstäben der gesamten bisherigen menschlichen Entwicklung gemessen, noch in sehr ferner Zukunft. Solange die „außerirdischen“ Gegebenheiten im wesentlichen unverändert zur Verfügung stehen, sind gewisse

³⁹⁶ Vgl. z.B. Baumol, William J.: On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources, a. a. O.

Rahmenbedingungen gegeben, innerhalb derer das Wirtschaften sich seinen Weg zu suchen hat.

Das Entropiegesetz ist in einem gewissen Sinne auch das Naturgesetz der Irreversibilität.³⁹⁷ Es ist somit auch dafür verantwortlich, daß jede Utopie, die sich auf ein „zurück“ beschränkt, zwingend Utopie bleiben muß. Aufgrund der durch das Entropiegesetz gegebenen Irreversibilität und der irreversiblen Änderungen im Rahmen der evolutionären Weiterentwicklung „unseres“ Planeten ist es unmöglich, irgendeinen früheren Zustand genau so nochmals zu erreichen.

Die Erde ist ein thermodynamisch geschlossenes, aber nicht isoliertes System, d.h. sie kann zwar Energie, nicht aber Materie (im wesentlichen) mit ihrer Umgebung austauschen. Georgescu- Roegens vierter Hauptsatz gilt, wie im vorigen Gliederungspunkt schon angesprochen, m.E. nicht unbedingt für dissipative Strukturen wie Gaia. Die Ökosphäre erstreckt sich über denselben Raum, über den auch die Materie dissipiert wird. Alleine die Geschwindigkeit der Konzentration von Materie ist absehbar vom Menschen nicht direkt zu beeinflussen, sondern nur dadurch, daß er die Ökosphäre möglichst gut am Funktionieren hält. Das bedeutet, daß man, wenn überhaupt, letztlich vor allem doch wieder eine Aussage über Umweltschutz im allgemeinen Sinne treffen kann: Wir sollten die Umwelt schützen, da sie, zumindest zur Zeit noch, wohl am „elegantesten“ niedrige Entropie in Form von Sonnenenergie einfangen und Rohstoffe, wenn auch nicht alle zur Zeit genutzten, in nicht dissipierter Form bereitstellen kann. Georgescu-Roegen, Daly usw. haben insofern recht, als „auf Dauer“ die Verwendung nichterneuerbarer Ressourcen eingeschränkt bzw. bis auf null reduziert werden muß. Nur in welchem Zeitraum bzw. mit welcher Geschwindigkeit, kann nicht ohne weiteres gesagt werden.

Allerdings deutet das Argument, daß zukünftige Generationen nicht am Markt mitbieten können, darauf hin, daß die Geschwindigkeit des Ressourcenverbrauchs aus Vorsichtsgründen evtl. doch reduziert werden sollte. Auch die Naturwissenschaften bieten (soweit ich das beurteilen kann) kein Instrument, daß definitiv

³⁹⁷ Vgl. Faber, Malte: A Biophysical Approach to the Economy, a. a. O., S.4.

sagt, ob technisches „Know-how“, das der Zukunft hinterlassen werden kann, zusätzlich des jeweils vorhandenen Ausmaßes an Investitionsgütern, des Kapitalstocks, einen Ausgleich für die Degradation der Ressourcen darstellt.

Auch Daly weist bereits auf diesen Punkt hin. Zu der Abwägung, was angesichts der sehr unsicheren Perspektiven getan werden sollte, führt er aus, daß es zwar sein mag, daß jene, die eine Lösung in einer verbesserten Technik suchen, recht behalten, daß die Technik alle Probleme lösen kann, daß wir die Kernfusion beherrschen werden, aber all das schätzt er als unwahrscheinlich ein. Aber, so fragt er, wobei hätten wir weniger zu befürchten, selbst wenn beides gleich wahrscheinlich wäre: wenn wir vorsichtiger sind und auf (physisches) Wachstum verzichten, oder wenn wir es darauf ankommen lassen.³⁹⁸

Dadurch, daß sich alle Entscheidungen als zumindest zu einem gewissen Grad irreversibel erweisen, entsteht Verantwortung für heutige (Fehl-) Entscheidungen.³⁹⁹ Die Entscheidung, staatliche Gelder für die Erforschung der Kernenergie auszugeben, beinhaltet die Entscheidung, die Gelder nicht für die Erforschung z.B. der Sonnenenergienutzung zu verwenden. Dadurch ändert sich, auch bei vergleichbarem Ressourcenverbrauch, die Technologie, die wir den zukünftigen Generationen hinterlassen.

Faber und Stephan betonen, daß man sich insbesondere im Bereich des Umweltschutz keine Experimente leisten könne.⁴⁰⁰ Trotzdem veranstaltet die Menschheit, wie der Klimatologe Roger Revelle es ausgedrückt hat⁴⁰¹ im Moment mit dem Klima der Erde ein gigantisches geophysikalisches Experiment.

Das Beschäftigen mit dem Begriff der dissipativen Strukturen und auch alleine schon seine Bestimmung schärft den Blick für das Verhalten von Systemen in Gleichgewichtsferne bzw. von Systemen, die ins Chaos abgleiten können. Das

³⁹⁸ Vgl. Daly, Herman E.: a. a. O., S.115.

³⁹⁹ Vgl. hierzu auch Jonas, Hans: Das Prinzip Verantwortung – Versuch einer Ethik für die technische Zivilisation, Frankfurt am Main 1984.

⁴⁰⁰ Vgl. Faber, Malte / Stephan, Gunter: Umweltschutz und Technologiewandel, a. a. O., S.2.

⁴⁰¹ Vgl. Lausch, Erwin: Das unheimliche Spiel mit dem Feuer, in: GEO-Wissen Nr.2: Klima, Wetter, Mensch vom 30.11.87 Hamburg 1987, S.24-38, hier S.26.

bringt für die Umweltökonomie an der Grenze zur Umweltpolitik die Möglichkeit einer gewissen „Hochachtung“ vor den Systemen, in die man handelnd eingreift, mit sich. Diese Hochachtung scheint teilweise nötig, denn sie wurde m.E. in der Vergangenheit (und wird noch heute) vielen durch das Gefühl verstellt, natürliche Systeme wie (einfache) technische Systeme steuern zu können.

Zusammenfassen lassen sich solche, mit Begriffen wie „Hochachtung“ oder „Vorsicht“ verbundene Standpunkte auch in der auch von Nutzinger⁴⁰² vertretenen, in Kreisen der Ökologiebewegung zum Schlagwort gewordenen Anschauung, daß wir die Erde nicht von unseren Vätern geerbt, sondern nur von unseren Kindern geliehen haben, und daß wir sie möglichst unversehrt zu hinterlassen haben. Ansatzweise taucht dieser Gedanke aber im Prinzip schon bei Georgescu-Roegen auf.⁴⁰³ Diese Ansicht drückt kurz und prägnant die ethische Forderung aus, die hinter den Betrachtungen aller mir bekannten entropieorientierten Ökonomen steht.

Die Entwicklung der Technik wie auch der naturwissenschaftlichen Erkenntnis ist nicht vorraussagbar. Allerdings ist auf der Basis des heutigen naturwissenschaftlichen Kenntnisstands eine Abschätzung der Grenzen möglich. Dies haben z.B. Georgescu-Roegen und Daly versucht. Sie haben dabei teilweise etwas weitgehende Extrapolationen ihrer auf dem Entropiegesetz basierenden Überlegungen vorgenommen. Dadurch – das heißt in gewisser Weise durch eine Mißachtung des „zweiten Pfeils der Zeit“ – haben ihre Ergebnisse nur eine sehr eingeschränkte Gültigkeit. Trotzdem bleibt es ihr Verdienst an naturwissenschaftliche Grenzen erinnert zu haben. Denn heutige Entscheidungen beeinflussen die zukünftige Entwicklung. Auch der positive Pfeil der Zeit ist mit menschlichen Entscheidungen und Fehlentscheidungen verwoben. Es scheint sinnvoll zu sein, sich so zu verhalten, daß der zukünftigen Menschheit möglichst viele Wege der Entwicklung offengehalten werden. Der „Raum der Möglichkeiten“⁴⁰⁴ wird aber durch ver-

⁴⁰² Vgl. Nutzinger, Hans G.: a. a. O., S.1147- 1148.

⁴⁰³ Vgl. Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, a. a. O., S.381.

⁴⁰⁴ Kafka, Peter: a. a. O., z.B. S.74.

schmutzungs-, wie auch nutzungsbedingte irreversible Veränderungen in der Umwelt und durch einen rasanten Abbau von Bodenschätzen eingeschränkt.

„Es ist wichtig, daß wir uns darüber klarwerden, wie wenig wir über diese unvorhersehbaren Folgen unserer Handlungen wissen. Die besten Mittel, die uns zur Verfügung stehen, sind noch immer Versuch und Irrtum: Versuche, die oft gefährlich sind, und die noch gefährlicheren Irrtümer – manchmal gefährlich für die Menschheit.“⁴⁰⁵

⁴⁰⁵ Popper, Karl R.: Auf der Suche nach einer besseren Welt, 4. Aufl., München 1959, S.39.

Literaturverzeichnis

Alefeld, G.: Entropie und Ökonomie, in: Ali B. Cambel (Hrsg.): Dissipative Strukturen in integrierten Systemen. (Schriftenreihe zur gesellschaftlichen Entwicklung Bd. 2), Baden-Baden 1989, S.163-172

Arrow, Kenneth J. / Fisher, Anthony C.: Naturerhaltung, Unsicherheit und Irreversibilität. (Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility, deutsch). Deutsche Übersetzung von Wolfgang Schneider. auf englisch erstmals erschienen in: The Quarterly Journal of Economics, Vol. LXXXVIII (1974), S.312-319; zitiert nach dem Wiederabdruck in: Umweltökonomik – Beiträge zur Theorie und Politik, hrsg. von Hans Möller / Rigmor Osterkamp / Wolfgang Schneider, (Neue Wissenschaftliche Bibliothek, hrsg. von Gerard Gäfgen), Königstein/Ts. 1982, S.184-191

Bachmann, Klaus: Wenn Räuber Opfer ihrer Beute werden, in: GEO- Wissen Nr.2 (1990): Chaos und Kreativität vom 7.5.90 Hamburg 1990, S.88-96

Baumol, William J.: On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources, in: Kyklos, Vol. 39 (1986), Fasc. 2, S.167-179

Baumol, William J. / Oates, Wallace E.: The theory of environmental policy, Cambridge, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney 1975, 2. Aufl. 1988

Bender, Friedrich: Metall-Rohstoffvorräte aus theoretischer und wirtschaftlicher Sicht, in: Die Versorgung der Weltwirtschaft mit Rohstoffen, Beihefte der Konjunkturpolitik, Heft 23, Berlin 1976; zitiert nach: Wachstum – warum, wozu, wodurch? Referate, Statements und Diskussionsbeiträge; 3. wissenschaftliches Forum d. Instituts der Deutschen Wirtschaft, Köln 1977, S.98-99

Binswanger, Hans Christoph: Nichts wird aus nichts, in: Wirtschaftswoche Nr. 33 vom 10.8.1984, S.80-83

Binswanger, Hans Christoph: Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft, in: Jan Jarre (hrsg.): Die Zukunft der Ökonomie, Rehburg- Loccum 1985, S.141-160

Binswanger, Hans Christoph / Bonus, Holger / Timmermann, M.: Wirtschaft und Umwelt; Möglichkeiten einer ökologieverträglichen Wirtschaftspolitik, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz 1981

Binswanger, Hans Christoph u. a.: Arbeit ohne Umweltzerstörung; Strategien für eine neue Wirtschaftspolitik, überarbeitete Fassung, Frankfurt am Main 1988

Bonus, Holger: Ökologie und Marktwirtschaft – Ein überwindbarer Gegensatz?
in: Universitas Nr.11 1986, S.1121-1135

Brockhaus' Konversations-Lexikon, Leipzig, Berlin, Wien 1893

Brown, Peter G.: Policy Analysis, Welfare Economics, and the Greenhouse Effect,
in: Journal of Policy Analysis and Management, Vol. 7 (1988), No. 3, S.471-475

Cramer, Friedrich: Chaos und Ordnung – Die komplexe Struktur des Lebendigen,
Stuttgart 1988

Daly, Herman E.: Steady-state economics, San Francisco 1977

Davies, Paul: Prinzip Chaos – Die neue Ordnung des Kosmos. (Cosmic Blueprint,
deutsch). Deutsche Übersetzung von Friedrich Griese, München 1988

Diefenbacher, Hans: Natur und ökonomische Theorie – Anmerkungen zu einem
gestörten Verhältnis, in: Universitas Nr.11 1986, S.1101-1109

Drepper, F.: Determinismus im Informationsproduktionsprofil eines Aktienindex,
in: Ali B. Cambel (Hrsg.): Dissipative Strukturen in integrierten Systemen.
(Schriftenreihe zur gesellschaftlichen Entwicklung Bd. 2), Baden-Baden 1989,
S.93-109

Ebert, Hermann (Hrsg.): Physikalisches Taschenbuch, überarbeitete und ergänzte
4. Aufl., Braunschweig 1967

Eddington, A. S.: The Nature of the Physical World, New York 1943

Eddington, Arthur S.: Das Weltbild der Physik und ein Versuch seiner philosophi-
schen Deutung, Braunschweig 1931

Faber, Malte: *A Biophysical Approach to the Economy. Entropy, Environment and Resources.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 88), Heidelberg 1984

Faber, Malte / Proops, John L. R. : *Evolution in Biology, Physics and Economics. A conceptual Analysis.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 131), Heidelberg 1989

Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists: Retrospect and Prospect.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 97), Heidelberg 1985

Faber, Malte / Proops, John L. R. : *On Aspects of Time Irreversibility in Economics.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 117), Heidelberg 1987

Faber, Malte / Proops, John L. R.: *Time Irreversibilities in Economics: Some Lessons from the Natural Sciences.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 106), Heidelberg 1986

Faber, Malte / Stephan, Gunter: *Umweltschutz und Technologiewandel.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 111), Heidelberg 1986

Faber, Malte / Stephan, Gunter: *Volkswirtschaftliche Betrachtungen zum Materialrecycling.* (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 128), Heidelberg 1988

Faber, Malte / Niemes, Horst / Stephan, Gunter: *Entropie, Umweltschutz und Rohstoffverbrauch: Eine naturwissenschaftlich ökonomische Untersuchung.* (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems; Vol. 214), Berlin, Heidelberg, New York 1983

Faber, Malte u. a.: On Modelling Interactions between the Economy and the Environment in the Long-Run. (Diskussionsschriften / Discussion Papers. Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Nr. 119), Heidelberg 1987

Falk, Gottfried / Ruppel, Wolfgang: Energie und Entropie – Eine Einführung in die Thermodynamik, Berlin, Heidelberg, New York 1976

Ford, Joseph: How random is a coin toss? in: Physics Today, April 1983

Georgescu-Roegen, Nicholas: Choice, Expectations and Measurability, in: Quarterly Journal of Economics, 68/1954, S.503-534; wiederabgedruckt in: Georgescu-Roegen, Nicholas: Analytical Economics, 1966

Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy Analysis and Economic Evaluation, in: Southern Economic Journal, Vol. 45 (1978-79), Nr. 3,4, S.1023-1058

Georgescu-Roegen, Nicholas: Energy and Economic Myths, in: Southern Economic Journal, Vol. 41 (1975), Nr. 3, S.347-381

Georgescu-Roegen, Nicholas: The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge/Mass., London 1971

Haaf, Günther: Auf den Spuren von Gaia, in: GEO-Wissen Nr.2: Klima, Wetter, Mensch vom 30.11.87, Hamburg 1987, S.56-61

Hermann, Armin: Lexikon der Geschichte der Physik A-Z – Biographien, Sachwörter, Originalschriften und Sekundärliteratur, 3. ergänzte Auflage, Köln 1987

Herrera, Amílcar O. u. a.: Grenzen des Elends; das Bariloche- Modell: So kann die Menschheit überleben. (Catastrophe o Nuevo Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano, deutsch). Deutsche Übersetzung von Otto Janic, Frankfurt am Main 1977

Jonas, Hans: Das Prinzip Verantwortung – Versuch einer Ethik für die technische Zivilisation, Frankfurt am Main 1984

Kafka, Peter: Das Grundgesetz vom Aufstieg – Vielfalt, Gemächlichkeit, Selbstorganisation: Wege zum wirklichen Fortschritt, München, Wien 1989

Keynes, John Maynard: The General Theory of Employment Interest and Money, New York 1935

Keyzers Fremdwörterlexikon, Berlin, Darmstadt o.J.

Klemm, Friedrich: Perpetuum mobile – Ein „unmöglicher“ Menschheitstraum, (Die bibliophilen Taschenbücher Nr. 369), Dortmund 1983

Lausch, Erwin: Das unheimliche Spiel mit dem Feuer, in: GEO- Wissen Nr.2 (1990): Klima, Wetter, Mensch vom 30.11.87 Hamburg 1987, S.24-38

Leipert, Christian: Ist „humaner Wohlstand“ möglich? in: Universitas Nr.11 1986, S.1110-1120

Marggraf, Rainer: Von nicht-linearen ökonomischen Strukturen zu nicht-linearen ökonomischen Modellen, in: Ali B. Cambel (Hrsg.): Dissipative Strukturen in integrierten Systemen. (Schriftenreihe zur gesellschaftlichen Entwicklung Bd. 2), Baden-Baden 1989, S.223-239

Mayer, Peter: Dicke Luft bei klarem Himmel, in: Stern, 42. Jahrgang (1989), Heft 23, S. 30-31

Meadows, D. H. u. a.: The Limits to Growth, New York 1972

Meißner, Werner / Zinn, Karl Georg: Der neue Wohlstand – Qualitatives Wachstum und Vollbeschäftigung, München 1984

Müller, Karl-Wilhelm / Ströbele, Wolfgang: Wachstumstheorie, München, Wien 1985

Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya: Die Erforschung des Komplexen – Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften. Deutsche Übersetzung von Rainer Feistel und Eckhard Rebhan, München, Zürich 1987

Nicolis, Grégoire / Prigogine, Ilya : Self-Organization in Non- Equilibrium Systems, New York 1977

Nutzinger, Hans G.: Das Konzept des qualitativen Wachstums und die Schwierigkeiten seiner Umsetzung, in: Universitas Nr.11 1986, S.1136-1148

O.V.: Ja, gibt's denn so was: ein Perpetuum mobile? in: Auto-Bild Nr. 17 vom 23.4.1990, S.44

Popper, Karl R.: Auf der Suche nach einer besseren Welt, 4. Aufl., München 1959

Prigogine, Ilya: Vom Sein zum Werden – Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. (From being to becoming – Time and Complexity in Physical Sciences, deutsch). Deutsche Übersetzung von Friedrich Griesse, München, Zürich 1979, zitiert nach der erweiterten und überarbeiteten 5. Auflage 1988

Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle: Dialog mit der Natur – Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. Deutsche Übersetzung von Friedrich Griesse, München, Zürich 1981

Rieseberg, Hans-Joachim: Verbrauchte Welt – Die Geschichte der Naturzerstörung und Thesen zur Befreiung vom Fortschritt, Frankfurt am Main, Berlin 1988

Rifkin, Jeremy: Entropie – Ein neues Weltbild. (Entropy. A New World View, deutsch.) Deutsche Übersetzung von Christa Falk und Walter Fliss, Hamburg 1982

rororo Lexikon – Duden Lexikon Taschenbuchausgabe, Mannheim 1966

Russel, Bertrand: Why I am not a Christian, New York 1957

Schrader, Chr.: Wenn die Gleichungen verrückt spielen, in: GEO- Wissen Nr.2 (1990): Chaos und Kreativität vom 7.5.90 Hamburg 1990, S.184-185

Schütze, Christian: Das Grundgesetz vom Niedergang, München, Wien 1989

Schütze, Christian: Entropie, in: Natur, Erstausgabe, 1980, S.123-131

Siebert, Horst: Ökonomische Theorie der Umwelt, Tübingen 1978

Siebert, Horst: Ökonomische Theorie natürlicher Ressourcen, Tübingen 1983

Simonitsch, Pierre: Alle zehn Jahre wächst noch ein China heran, Frankfurter Rundschau Nr.112 vom 15.05.90, S.24

Solow, L. R.: Economic History and Economics, in: American Economic Review, Vol. 75 (1985), S.328-331

Sommer, John W.: Unifying Themes in Non-Mainstream Economics: A Speculation, in: Ali B. Cambel (Hrsg.): Dissipative Strukturen in integrierten Systemen. (Schriftenreihe zur gesellschaftlichen Entwicklung Bd. 2), Baden-Baden 1989, S.93-109

Weizsäcker, Richard von: Rede zum 40-jährigen Bestehen der Bundesrepublik Deutschland, Abdruck in: Frankfurter Rundschau vom 26.5.1989

Wiener, Norbert: God and Golem, Cambridge/Mass. 1964

Zimmermann, Klaus: Umweltpolitik und Verteilung – Sozio-ökonomische Hintergründe einer „modernen“ Verteilungsfrage, in: Hamburger Jahrbuch für Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik, hrsg. von Heinz Dietrich Ortlieb / Bruno Molitor / Werner Krone, 22. Jahr (1977), S.93-111; zitiert nach dem Wiederabdruck in: Umweltökonomik – Beiträge zur Theorie und Politik, hrsg. von Hans Möller / Rigmor Osterkamp / Wolfgang Schneider, (Neue Wissenschaftliche Bibliothek, hrsg. von Gerard Gäfgen), Königstein/Ts. 1982, S.235-251