

Industrielle Ökologie. **Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung**

„Global Change“ VDW-Jahrestagung, Berlin, 28.-29. Oktober 1999
erscheint in: Simonis, Udo Ernst (Hg), Global Change, Baden-Baden: Nomos, 2000

Joseph Huber

Der folgende Beitrag ergänzt den Ansatz der *Öko-Effizienz* um den bisher vernachlässigten Aspekt einer notwendigen ökologischen *Konsistenz* des industriellen Metabolismus. Beide Aspekte gehören zum vollständigeren Konzept einer industriellen Ökologie, die sich nicht durch bloße Mengenreduktion an ihre Umwelt anpassen muss, sondern sich entfalten kann aufgrund ihrer qualitativen Eigenschaft der metabolischen Naturintegration.

1. Erdpolitische Strategien im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte

Der Rioprozess vor und nach 1992 hat zur weltweiten Adoption von so genannten Nachhaltigkeitsregeln geführt (Umweltraum-angepasstes Bevölkerungswachstum, ausgeglichene Bewirtschaftung regenerativer Ressourcen, unterkritische Emissionslasten, Schonung nicht-erneuerbarer Ressourcen, u.ä.). Aber wir sind immer noch auf der Suche nach denjenigen Transformation-Strategien, mittels derer diese Orientierungen praktisch realisiert werden können. Die aktuell diskutierten Strategien lassen sich mithilfe der IPAT-Formel nach Paul und Anne Ehrlich (zuletzt 1990). Umweltwirkungen ergeben sich demzufolge aus dem Zusammenspiel von Bevölkerungsentwicklung, konsumtivem Anspruchsniveau und technologischer Entwicklung:

$$\begin{aligned} \text{Ecological Impact} &= \text{Population} \times \text{Affluence} \times \text{Technology} \\ &\text{oder} \\ \text{Umweltwirkung} &= f(\text{Bevölkerung, Anspruchsniveau, Technologie}) \end{aligned}$$

Insbesondere von Seiten der Entwicklungsländer, in denen die Bevölkerungsexplosion ihren Schwerpunkt gehabt hat (China, Indien, Südostasien, Afrika) wird der Bevölkerungsfaktor gebührend beachtet, weniger dagegen im altindustriellen Norden, wo eine kuriose Koalition aus Katholizismus, Feminismus, Antirassismus u.ä. eine *öffentliche*, politisch betriebene Bevölkerungsplanung inopportun erscheinen lässt. Die Nicht-Regierungsorganisationen des Nordens haben stattdessen vor allem darauf gesetzt, den Faktor Konsumanspruchsniveau beeinflussen zu wollen. Die in Entwicklungsländern aktuelle Politik der Bevölkerungskontrolle und die von kritischen Kräften in den Triadeländern kommende Politik der Konsumanspruchskontrolle verbanden sich zum strategischen Konzept der Suffizienz, das heißt, der Genügsamkeit und des Verzichts, sehr frei in die Sprache politischer Slogans übersetzbar als „Es reicht!“, „Genug jetzt!“ – für die bisherigen Entwicklungsländer bezüglich des Bevölkerungswachstums, für die bisherigen Industrieländer bezüglich des Konsumwachstums.

Der Entstehungszusammenhang lässt erkennen, dass die scheinbar Verbündeten in Wirklichkeit gegeneinander arbeiten. Die Idealisten des Nordens wollen keine planmäßige Bevölkerungskontrolle, die Neumaterialisten des Südens wollen keine

Konsumbeschränkungen. Hinzu kommt zum einen im Norden, dass die dortigen Altmaterialisten in ihrer erdrückenden Mehrheit ebenfalls keinen Konsumverzicht leisten wollen (allenfalls Umfrage-vermeintlich), zum anderen im Süden, dass Bevölkerungskontrolle – aus Gründen der Pfadabhängigkeit von Entwicklungen, wie gleich noch erläutert wird – ebenfalls nur marginal wirken kann, zumal im inzwischen erreichten Switch-Over-Stadium der Bevölkerungsentwicklung, wo alle wesentlichen Weichenstellungen längst stattgefunden haben. Es gibt wohl schon noch gewisse Freiheitsgrade, das weitere Bevölkerungswachstum zu beeinflussen, insbesondere lagespezifisch vor Ort (vgl. den Beitrag von Ulrich in diesem Band), aber für das dauerhafte Gesamtergebnis in der großen Zahl von 6, 8, 10 Mrd Menschen sind diese möglichen Modifikationen nurmehr von nachrangiger Bedeutung.

Wenn wir von solchen Populationszahlen auszugehen haben, dann würde ein bloßer Konsumverzicht selbst im unrealistischen Erfolgsfall kaum etwas helfen. Wäre es hypothetisch möglich, den Gürtel um die Hälfte enger zu schnallen, den Wohnraum, das Verkehrsaufkommen etc. um die Hälfte zu reduzieren, so würde dies *ceteris paribus* die Frist bis zum ökologischen Weltuntergang lediglich verdoppeln. Menschen verursachen Stoffumsätze, viele Menschen große Umsätze, zumal unter industrialisierten Bedingungen. Von dieser Öko-Impakt-Tatsache kann nicht abgesehen werden, von ihr haben wir auszugehen.

Solche Überlegungen haben etliche Suffizienz-Vertreter dazu gebracht, sich bezüglich der Ehrlich-Formel auch für den Faktor Technologie zu interessieren. Man hatte im Verlauf der 80er Jahre allgemein anerkannt, dass Kohlekraftwerke, Massenmotorisierung auf Ölbasis und ähnliche industrietraditionale Technologien auf dem heutigen Stand keine ökologisch tragfähige Zukunft haben können. Hinzu kamen die nach der Mitte der 80er Jahre einsetzende „grüne Welle“ in den großen Industriekorporationen, wo man nach Wegen zu suchen begann, sich der ökologischen Herausforderung zu stellen, ohne Umsätze und Kapital zu verlieren.

Der Technologie-orientierte Ansatz geriet im Rioprozess zur Effizienzstrategie, heroisch überhöht zu einer Effizienzrevolution. Ihr liegt der grundsätzlich zutreffende Sachverhalt zugrunde, dass in puncto Rationalisierung von Stoffumsätzen der Konflikt von Ökonomie und Ökologie ein Stück weit aufgehoben scheint. Eine Steigerung der Ressourcenproduktivität, der Stoffumlauf- und Energieeffizienz, ist in ökonomischer *und* ökologischer Hinsicht von Vorteil, genauer gesagt, ökonomisch kostendämpfend und ökologisch belastungsmindernd. Ob dabei am Ende ein positiver „Gewinn“ herauskommt, ist noch eine andere Frage. Jedenfalls, aufs Rationalisieren, auf die Senkung spezifischer Input-Output-Koeffizienten, versteht man sich in der Industrie schon immer, gleich ob kapitalistisch oder kommunistisch. Würde man die Logik der Effizienzsteigerung oder Kostenminimierung noch konsequenter als bisher auch auf ökologische Aspekte anwenden, dann, so die Hoffnung, wäre eventuell der erforderliche Material- und Energie-Input für Endleistungen, auf einem gleichbleibend hohen Konsumniveau, in möglichst kurzer Zeit um einen Faktor vier bis zehn zu verringern (Fussler 1994, Schmidt-Bleek 1994, Schmidheiny 1992a+b, von Weizsäcker/Lovins 1995).

2. Konsistenz: eine metabolisch naturintegrierte Industrielle Ökologie

Schon seit den 80er Jahren, ausdrücklicher werdend seit Beginn der 90er Jahre, hat es noch weitere bedeutende Technologie- und Produkt-bezogene Ansätze gegeben, zum Beispiel

- Clean Technology (Jackson 1993, Kemp/ Soete 1992, Kemp 1993)
- Constructive Technology Assessment (Rip/ Misa/ Schot 1995)
- Ökologische Modernisierung (Mol 1995, Spaargaren 1997, Huber 1995)
- Stoffstrom-Management (Enquete-Kommission 1994)
- Management des industriellen Metabolismus (Ayres 1993, 1996, Ayres/ Simo-
nis 1994, Ayres/ Ayres 1996)
- Ökonomie der Reproduktion (Hofmeister 1998)
- Bionik (Rechenberg 1973, von Gleich 1998)
- Design for Environment (Paton 1994, Kreibich et al. 1991, Stahel 1991, 1992)
- Öko-Effektivität (Braungart/ McDonough 1999)
- Industrielle Ökologie (Socolow/ Andrews/ Berkhout/ Thomas 1994, Graedel
1994. Ein Journal of Industrial Ecology erscheint seit 1997 bei MIT Press).

Diese weitergehenden Ansätze fanden im Rahmen des Vor- und Nach-Rioprozesses bestenfalls beiläufig Beachtung und sie sind in die Nachhaltigkeitsdebatte bis heute nicht in der erforderlichen Weise eingegangen. Ihre Stoßrichtung liegt weniger darin, an der Verbesserung der Wirkungsgrade alter Technologie- und Produktlinien zu arbeiten, als vielmehr, grundlegende Technik- und Produkt-Innovationen herbeizuführen, die auf ein ökologisches Re-Embedding abzielen, das heißt, die ökologische „Qualität“ der industriegesellschaftlichen Stoffumsätze so zu verändern, dass sie sich in den Naturstoffwechsel wieder besser einfügen.

Man wird nach praktischen Beispielen fragen. Das Verlangen danach ist verständlich aber auch problematisch. Die Geschichte der Futurologie zeigt, dass Yesterday's Tomorrows als konkretistische Szenarien meist schief liegen, während grundlegendere Trend- und Strukturwartungen sich oftmals als zutreffend erweisen. Man tut seiner Sache wahrscheinlich keinen guten Dienst, wenn man sich zu sehr auf bestimmte Ausprägungen von „Zukunftstechnologien“ festlegen lässt. Andererseits fallen auch technische Basisinnovationen nicht voraussetzungslos vom Himmel. Man muss bei der Suche nach geeigneten Kandidaten nicht nach etwas völlig Ungesehenem Ausschau halten, sondern nach etwas, das bereits vorhanden ist und einen gewissen Entwicklungsverlauf zurückgelegt hat. Das Hauptproblem im Innovationsprozess liegt weniger in der Erfindung und Frühentwicklung neuer Technologien, als vor allem in der Einführung und allgemeinen Verbreitung.

Zu den offensichtlichen Kandidaten einer metabolisch besser naturintegrierten Material- und Techniknutzung gehören heute zum Beispiel im Energiebereich die Verbreitung von Brennstoffzellen oder die Solar-Wasserstoff-Technik in Substituierung von Fossilien. Selbst großvolumige anthropogene Wasserstoff-Umsätze auf Giga- und Tera-Niveau werden nur einen äußerst geringen Bruchteil des geo- und biogenen Wasserstoffkreislaufes darstellen. Über ökologisch nachteilige Wirkungen von Wasserstoff ist heute nichts bekannt. Die schnellstmögliche Umstel-

lung der gesamten Energiebasis stellt angesichts der Global-Change-Problematik das heute mit Abstand vordringlichste Öko-Projekt dar.

Im Agro-Bio-Chemo-Bereich dürften zum Beispiel biotechnische anstelle von physikomechanischen Produktionsverfahren, sowie transgene Pflanzen anstelle von herkömmlichen Zuchtsaaten und Agrarchemikalien eine Rolle spielen. Biotechnische Produktionsverfahren arbeiten mit hohen Drücken und Temperaturen. Dies geht mit hohen Störfallrisiken, schlechten Wirkungsgraden und erheblichem Ressourcen- und Senkenverschleiß einher. Biotechnik ist demgegenüber nicht nur umweltverträglicher, sondern auch um Größenordnungen effizienter, besonders dann, wenn die mikroorganismischen Bio-Helfer gentechnisch modifiziert sind.

Man kann sagen, dass die Gentechnik eine ökologische Frage höherer Ordnung konstituiert. Statt grober geo- und biosphärischer Makro-Eingriffe kommt es zu Eingriffen in die biologische Mikrostruktur. Es wird daran kaum ein Weg vorbeiführen. Dies nicht nur im Sinne der normativen Macht des Faktischen, sondern auch positiv, weil gerade die Gentechnik unter kontrollierten Bedingungen wesentliche Beiträge zur Umwelt- und Entwicklungspolitik im Sinne der UNCED-Agenda 21 leisten kann. Ihre industriellen Entwickler werden diese Beiträge freilich nicht ganz „von alleine“ in den weltgesellschaftlich erwünschten Formen leisten, und eine völlig risikolose, absolut „sichere“ Evolution wird es in Zukunft, natürlich, so wenig geben wie in der Vergangenheit. Industrietraditionale Agrarreform-Konzepte wie der ökologische Landbau einerseits und die biotechnische Agroindustrie andererseits prallen heute mit zunehmender Heftigkeit aufeinander. Aus diesem Konflikt kann sich im Verlauf von ein oder zwei Generationen eine Synthese ergeben.

Ein anderer Pfad besserer Naturintegration des industriellen Stoffwechsels betrifft die bisherige Abfallwirtschaft. Ihr Weg führt zu einer Art von „Grundstoffindustrie rückwärts“. Dies bedeutet, dass Produkte nicht nur in der vertikalen Arbeitskette „vorwärts“ oder „aufwärts“ in Wert gesetzt werden, sondern auch nach Gebrauch durch ihre mehrstufige Rückwandlung in wieder naturnahe oder naturidentische Verbindungen, insbesondere toxisch unbedenkliche Verbindungen, die schadlos auch in großer Menge emittiert werden können. In der rückführenden Grundstoffindustrie der Zukunft dürften die heutige mechanische Entsorgungstechnik und Verbrennung nurmehr eine Restrolle spielen. Umso mehr wird es sich auch hier in erheblichem Maß um Chemo- und Biotechnik handeln.

Die Beispiele zeigen, dass es in erster Linie *nicht* um *weniger* Materialnutzung geht, als vielmehr um *andere Arten* von Materialnutzung, die auch in großen Volumina aufrechterhalten werden können. Das Erfordernis großer Volumina ergibt sich aus den großen Bevölkerungszahlen und eher höheren als geringeren Verbrauchsniveaus. Den Aspekt der „qualitativen“ Transformation der industriellen Stoffumsätze habe ich als *Konsistenz* bezeichnet (1994, 1995). Konsistenz stellt die Frage nach der qualitativen Beschaffenheit des industriellen Metabolismus. Dem Konsistenz-Ansatz geht es nicht um ein Mehr oder Weniger vom Gleichen, sondern um grundlegendere Formen des Strukturwandels im Rahmen einer ökologischen Modernisierung. Das Wort Konsistenz soll den Diskurskontext mit Suffizienz und Effizienz deutlich machen. Die Zeit wird jedoch auch über diese Debatte allmählich hinweggehen und es erscheint mir zudem grundsätzlich richti-

ger, einen anderen Begriff, genauer gesagt Überbegriff zu wählen, nämlich den der Industriellen Ökologie.

Das Konzept der Industriellen Ökologie ist aktuell noch in Ausformung begriffen. Man sollte keinesfalls den ein oder anderen Teilaspekt, der gerade darunter diskutiert wird, zum Beispiel Industrial Symbiosis (kaskadische Stoffnutzungen im Verbund), mit dem Konzept als solchem verwechseln. Der Zielhorizont von Industrieller Ökologie geht dahin, den industriegesellschaftlichen Metabolismus wieder besser einzubetten in den Gesamtmetabolismus der Geo- und Biosphäre, und zwar weniger durch bloße Mengenänderungen, als vielmehr durch Änderung der Stoffstrom-Qualitäten. Es geht nicht darum, eine Mengenanpassung auf dem gegenwärtigen Entwicklungsniveau der technologischen Strukturen herbeizuführen, sondern diese Strukturen so fortzuentwickeln, dass damit eine *metabolisch* naturintegrierte Industriegesellschaft geschaffen wird.

Konsistenz im Rahmen einer metabolisch naturintegrierten Industriellen Ökologie impliziert in gewissem Ausmaß auch die absichtliche Gestaltung von Mensch-Natur-Systemen auf wissenschaftlich-technischer Grundlage, freilich nicht im Sinne der ebenso ahnungslosen wie rücksichtslosen industrietraditionalen Eingriffsgrobheit mit ungeeigneten Mitteln, sondern im Sinne einer behutsamen Technik- und Produkte-Entwicklung, die ökosystemischen Stoffwechsel- und Stabilitätskriterien genügt. Ein Konzept wie Earth Systems Engineering geht in diese Richtung (Allenby 1999), ebenso die in diesem Band von Schellnhuber diskutierten Denkansätze wie ein Globales Umwelt- und Entwicklungsmanagement, Geo-Engineering, oder geokybernetisches Management. Darin kommt nicht neuerliche Hybris zum Ausdruck. Es wäre im Gegenteil unverantwortlich, sich dieser unausweichlich gewordenen Herausforderung nicht zu stellen und dem bisherigen „spontan“-unintendierten Katastrophenkurs weiter seinen Lauf zu lassen.

Effizienz-Strategie kann im Rahmen Industrieller Ökologie ihren festen Platz haben, jedoch, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird, lediglich einen nachrangigen Stellenwert. Etwas Ähnliches muss auch gesagt werden im Hinblick auf das Management weitgehend abgekapselter toxischer Stoffkreisläufe in und zwischen Produktionsanlagen. Man wird solche hermetisch abgeschlossenen Stoffströme auf absehbare Zeit in vielerlei Fällen nicht vermeiden können. Aber eine sozusagen nachhaltige Rolle können sie im Rahmen einer metabolisch integrierten Industriellen Ökologie definitionsgemäß nicht spielen. Daher das dringliche Erfordernis einer Konsistenz-Strategie.

Bei der Gegenüberstellung von Suffizienz/Effizienz einerseits und Konsistenz andererseits handelt es sich in gewisser Weise um eine Fortführung der früheren Debatte um quantitatives und qualitatives Wachstum auf neuer Diskurs-Stufe. Es sind hierbei Suffizienz und Effizienz, die *ökologisch* am quantitativen Aspekt ansetzen. Die Vertreter des Suffizienz-Ansatzes möchten zwar die Wertebasis und Lebensweise der Menschen geradezu einer Kulturrevolution unterwerfen, aber das ökologische Motiv dafür besteht weiterhin darin, das industrielle Mengenwachstum umzukehren. Der Begriff, um nicht zu sagen Schlachtruf der „Dematerialisierung“ bringt dies sinnfällig zum Ausdruck. Auch Effizienz-Steigerung soll den Umweltverbrauch erst spezifisch vom Wirtschaftswachstum entkoppeln, und ab Erreichen unterstellter großer Effizienzfortschritte, eventuell im Zusammenspiel mit Suffizienz-Maßnahmen, auch absolut absenken.

Demgegenüber wird mit dem Konsistenz-Ansatz die Idee des „qualitativen Wachstums“ zum ersten Mal in inhaltlicher Konsequenz ausgeführt. Denn dem Konsistenz-Ansatz geht es nicht in erster Linie um eine „dematerialisierende“ Verringerung von Mengenumsätzen, sondern zuerst und vor allem um Mengen anderer Art. Frühere Vorstellungen von „qualitativem Wachstum“ waren teilweise mit erheblichen Fehlthematizierungen verbunden, etwa der Idee des „selektiven Wachstums“, wonach die reicheren Länder aufhören sollten zu wachsen, während die ärmeren damit fortfahren sollten; oder wonach Landwirtschaft und Industrie nicht mehr wachsen sollten, dafür aber Dienstleistungen, da diese vermeintlich per se umweltverträglich seien. Eine Zeit lang suchte man nach „ökologischen Gratis-effekten des Strukturwandels“ im Sinne des inzwischen irreführend gewordenen Drei-Sektoren-Modells nach Clark und Fourastier. In Wirklichkeit ist die Dienstleistungs- und Wissensgesellschaft weiterhin eine hochindustrielle Gesellschaft quer durch alle Sektoren, und sie ist viele Male material- und energieintensiver als die industrietraditionale Gesellschaft es bereits war, ganz ähnlich, wie auch Letztere in ihrer Aufstiegsphase erheblich material- und energieintensiver wurde als die Agrargesellschaft es war.

Konsistenz ist ein *ökologischer* Ansatz mit unmittelbaren Konsequenzen für den technischen und wirtschaftlichen Strukturwandel sowie weiteren Konsequenzen für rechtliche, politische und kulturelle Veränderungen. Effizienz folgt dagegen einem vereinseitigten und unkonkreten *ökonomischen Mengendenken*. Dieses leistet in seinem authentischen Rahmen der Finanzierung, Allokation und Verteilung von Geld gute Dienste. Über diesen Geltungsbereich hinaus jedoch kann es in mancherlei Hinsicht zu Trugschlüssen führen und zu Kurzschlussbehandlungen verleiten. *Projektive* Umweltökonomie bewegt sich an der Grenze zum groben Unfug. In der Natur gibt es keine homogenen Mengenäquivalente, schon gar keine monetären, und auch keine mipsigen.¹

3. Konsistenz und Effizienz in zyklusanalytischer Betrachtung

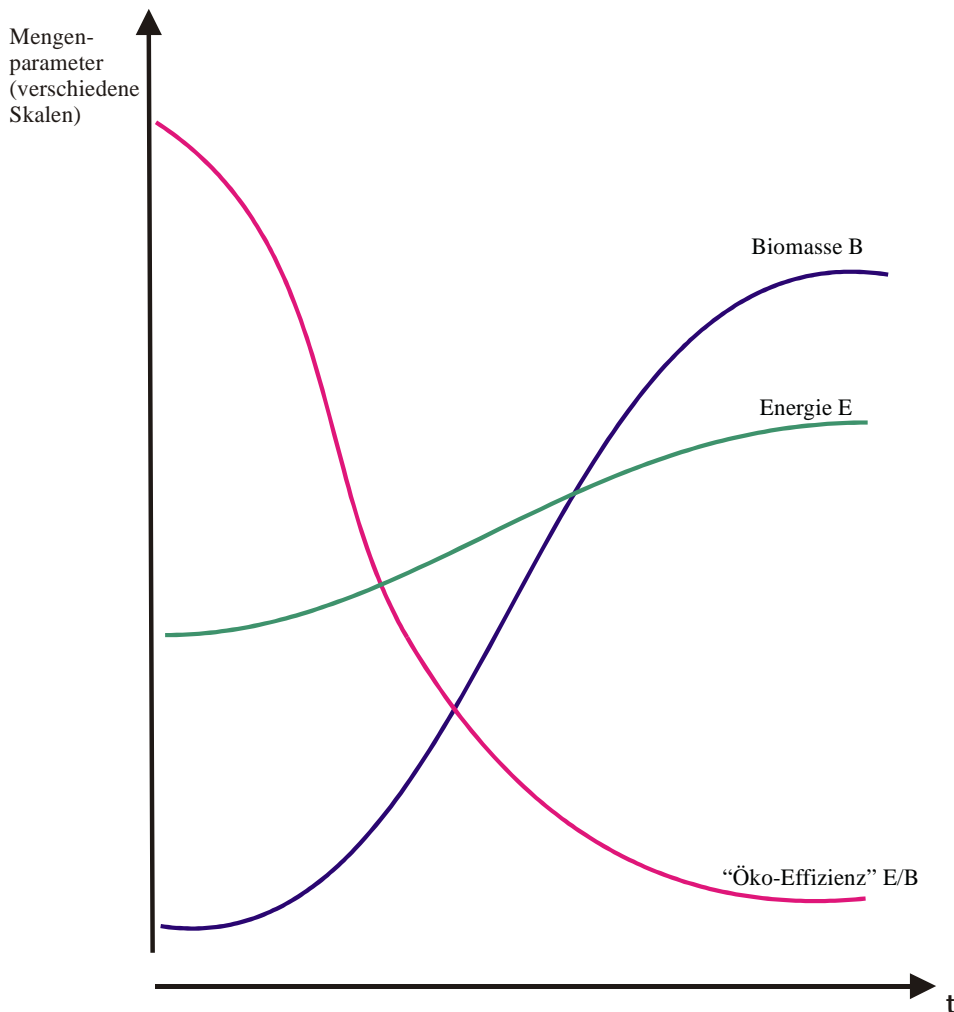
Der entwicklungstheoretische Ansatz der allgemeinen Lebenszyklusanalyse ist geeignet, die zur Debatte stehenden Fragen weiter zu vertiefen. „Lebens“-Zyklus mag ein etwas organismisches Wort sein, aber es gehört inzwischen zum festen Sprachgebrauch. Es dient dabei als neutraler Sammelbegriff für eine Vielzahl von spezifischeren wissenschaftsdisziplinären Betrachtungen, zum Beispiel Sternenzyklen, Meeres-, Athmosphären- und Klimazyklen, organismische Aktivitätszyklen, Bevölkerungszyklen, Technologiezyklen, Produktzyklen, Konjunkturzyklen, Themenzyklen, Lernzyklen, Stil- und Paradigmenzyklen, soziale Bewegungszyklen, Politikzyklen, u.a.m. Es ist bemerkenswert, in welchem Ausmaß in den zurückliegenden Jahrzehnten zyklusanalytische Betrachtungen, das heißt, die Analyse von S-förmigen und glockenförmigen Kurvenverläufen der Oszillation, Fluktuation, Innovation und Diffusion, Entwicklung und Wachstum, zu einem gemeinsamen Paradigma verschiedenster Disziplinen geworden ist .

Abb. 1 zeigt in stilisierter Weise das Wachstum der Biomasse und des Energieumsatzes sowie die daraus sich ergebende „Öko-Effizienz“ im Verlauf des Le-

¹ MIPS = Material-Intensität pro Serviceeinheit nach Schmidt-Bleek.

benszyklus eines Organismus oder eines Ökosystems. Die Kurven beruhen auf vielfältigen Befunden und können ein hohes Maß an Allgemeingültigkeit beanspruchen. Ihre Botschaft an dieser Stelle ist eine zweifache. Erstens, der absolute Umsatz wächst durchweg, erst beschleunigt, dann verlangsamt. Im Lebenszyklus eines in die Geo- und Biosphäre eingelassenen Systems, solange der Zyklus anhält, gibt es keine *absolute* Reduktion der Mengen oder Bestandsvolumina, allenfalls marginal in einer späten Erhaltungs- oder Niedergangsphase. Zweitens, die Produktivität (= Stoffproduktivität = Öko-Effizienz) nimmt im Entwicklungs- und Wachstumsverlauf zu, oder, im Sinne der Abbildung formuliert, der *spezifische* Aufwand (Umsatz x,y,z pro Einheit Produkt) nimmt spiegelbildlich zum Größenwachstum ab. Die Systeme lernen, ihren Aufwand zu optimieren.

Abb.1: Wachstum der Biomasse B, Änderung des Energieflusses E, und "Öko-Effizienz" E/B im Verlauf der Entwicklung von Organismen oder Ökosystemen



Diese Grundaussagen gelten für industrielle technisch-laboristische Systeme in grundsätzlich gleicher Weise. Hierbei handelt es nicht um eine hypothetische Übertragung aus der Biosphäre in die Anthroposphäre, sondern um eine Feststellung aufgrund vielfältiger empirischer Evidenz im Hinblick auf die, meist marktvermittelte, Entwicklung und Verbreitung von Techniken und Produkten in der Gesellschaft. Es zeigen sich diesbezüglich gleich geartete Verläufe der Mengenausweitung einhergehend mit einer Absenkung der *spezifischen* Koeffizienten und Preise (Marchetti alle, Nakicenovic/Grübler 1991, Grübler 1994, 19xx, Modis 1992).

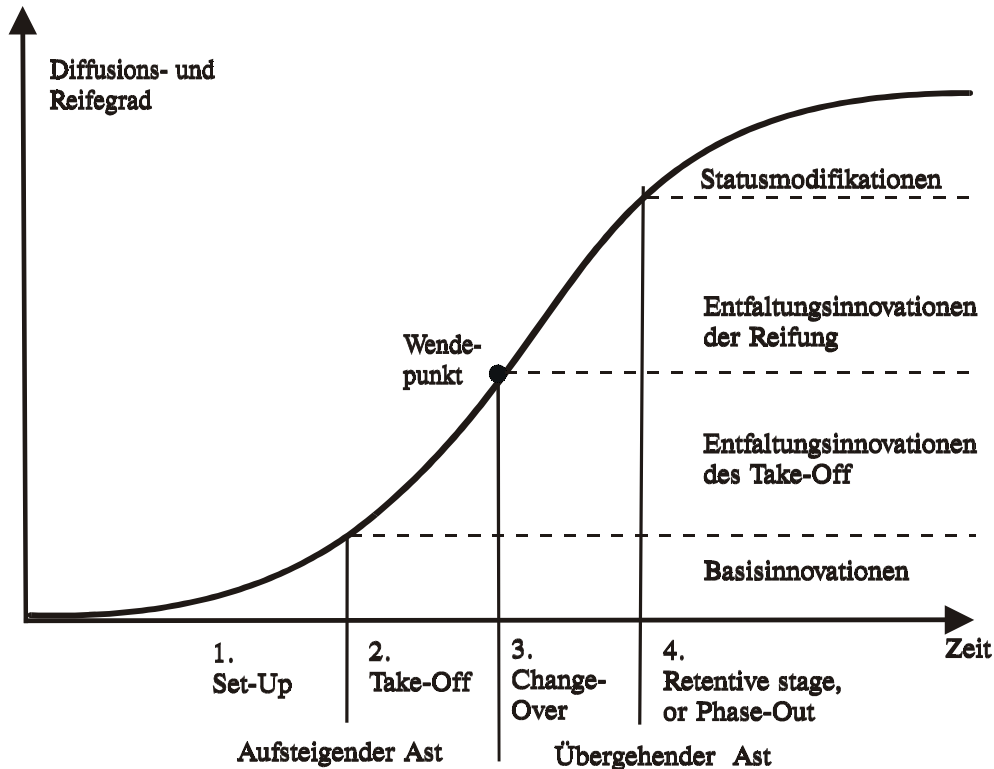
Von daher verhält es sich auch so, dass ein erfolgreiches Unternehmen nicht „spart“ und dies auch nicht nötig hat. Es investiert umfangreich in richtige Projekte, realisiert entsprechend große Umsätze und Erlöse, wobei es seinen Aufwand optimiert *relativ zum Umfang* der zu realisierenden Vorhaben. In diesem Sinne kann man zugespitzt formulieren: Grüne Sparkommissare werden die ökologische Frage nicht lösen, eher schon grüne Investoren.

Abbildung 2 zeigt die Phasen eines Lebenszyklus. Es handelt sich um eine Ausformulierung des Modells von Innovations- oder Diffusionszyklen nach Rogers und Shoemaker, Rostow, Schumpeter, Mensch u.a. Unter Zuhilfenahme der Kategorien des Modells kann man sagen, Effizienzsteigerung ist ein immanenter Vorgang im lebenszyklischen Verlauf. Im anfänglichen Set-Up der basisinnovativen Konstitution ist die Produktivität niedrig (eine sinnvolle Aussage gewiss nur im systemimmanenten Rückblick oder im Vergleich mit anderen Systemen). Im Verlauf des Take-Off und noch danach nimmt die Produktivität zu durch Realisierung von sukzessiven Entfaltungsinnovationen im pfadabhängig gewordenen Gang der Entwicklung. Im weiteren Verlauf der Übergangs- und dann Erhaltungsphase werden die Innovationen infolge der allmählichen Potenzialausschöpfung strukturell immer geringfügiger. Es handelt sich dann faktisch nurmehr um Statusmodifikationen. Der Zusatznutzen in puncto Effektivität und Effizienz ist marginal geworden.

Im Hinblick auf den Effizienz-Ansatz bedeutet das Modell des Lebenszyklus folgendes: Wenn eine Entwicklung so weit fortgeschritten ist, dass sie ihren Take-Off längst hinter sich gelassen hat (wie heute zum Beispiel beim Otto-Motor und ähnlichen Antriebsaggregaten oder bei thermischen Kraftwerken) dann ist der Grenznutzen nahe oder schon erreicht. Weitere Anstrengungen der Effizienzsteigerung sind dann nicht mehr „zukunftsorientiert“, sondern konservativ i.S. der Strukturhaltung bzw. der Nichtbeförderung von Strukturwandel. Dies gehört offensichtlich zu den Gründen dafür, dass nicht wenige Angehörige der Autoindustrie eine Zeit lang mit dem Drei-Liter-Motor geliebäugelt haben oder Kraftwerksbetreiber weiterhin auf immer effizientere Feuerungsanlagen setzen. Sie hoffen, damit ihre Bestände an Human-, Anlagen- und Finanzkapital vor dem drohenden Strukturwandel zu retten, und verdrängen, dass die kohlenstoffhaltigen Brennstoffe als solche das ökologische Problem darstellen, gleich wie effizient diese verbrannt werden.

Gewiss, es gibt Freiheitsgrade ebenso wie Restriktionen. Zwar findet Effizienzsteigerung als immanenter Prozess „sowieso“ statt, aber nicht „von alleine“, sondern dadurch, dass Personen, die an ihrem Platz damit zu tun haben, jeweils naheliegende Schritte tun, durch welche die angelegten Potenziale sukzessiv realisiert

Abb. 2: Stadien eines Lebenszyklus



werden. Die Betreffenden können sich geschickter oder ungeschickter anstellen, begeistert oder weniger motiviert sein, reichlich mit Mitteln ausgestattet oder kurz gehalten. Hinzu kommt, dass identifizierbare Lebenszyklen in hoch entwickelten Gesellschaften in vielfältiger komplizierter Weise zusammengesetzt und verflochten sind. Es gibt evolutive und developale Prozesse verschiedenster Ordnungsstufe; sie sind kürzerer oder längerer Frist; sie sind in sich zusammengesetzt aus aufeinander folgenden Teilzyklen; sie sind durch andere Entwicklungen kontextual konditioniert; und sie sind mit wieder anderen Entwicklungen inhärent verknüpft. Alles das kann Freiheitsgrade im gegebenen Moment erhöhen oder verringern. Erhöhte Freiheitsgrade bedeuten dann allerdings auch beschleunigte oder „vorgezogene“ Realisierungen, welche die Potenzialausschöpfung einer Sache umso eher herbeiführen.

Effizienz-Theoretiker üben sich gern in Dialektik der Art „Quantität und Qualität sind zwei Seiten einer Medaille“, oder „Die Menge macht das Gift“. Was man so in erster Linie sieht, ist das „Umschlagen von Quantität in Qualität“, soll heißen, Zustandsänderungen als ein Ergebnis von Mengenänderungen. Beispiele sind das Umkippen eines eutrophierten Gewässers, oder die relativ geringe Mengenänderung an Halogenen in der Atmosphäre, die das sich ausweitende „Ozonloch“ hervorruft. Solche Beispiele wie der Lastesel unter dem zuletzt hinzugefügten Getreidekorn zusammenbricht, oder wie der letzte Tropfen das Fass zum Überlaufen bringt, sind zutreffend. Aber in der gesamten Systemdynamik handelt es sich doch um einen recht speziellen und insofern auch „einseitigen“ Aspekt.

Zustandsänderung ist noch lange keine Strukturformation, jedenfalls keine grundlegende. So ist auch Konsistenz keine „Variante“ von Suffizienz und Effizienz. Konsistenz ist ein *anderer, grundlegenderer* Ansatz. Etwas muss erst einmal

etwas sein, ehe es wachsen und werden kann. *Was* eine Sache ist, das ist ihre fundamentale Qualität, nicht wieviel sie ist. Etwas wird grundlegend nicht durch Mengenwachstum bestimmt, sondern durch strukturelle Formation oder Konzeption. Dann beginnt das Wachstum im Lebenszyklus dieser Sache. Auch dabei kommt es laufend zu strukturellen Transformationen, und auch diese sind weniger eine qualitative Veränderung infolge veränderter Mengenparameter, als vielmehr sich ändernde Mengenparameter infolge der Realisierung oder strukturellen Neuf ormation von lebenszyklisch begründeten Entwicklungspotentialen.

Eine Effizienz- oder Suffizienz-Strategie, die diese Sachlage nicht zu ihrem Ausgangspunkt nimmt, gerät zur Tonnenideologie. Dieser erscheint „alles irgendwie viel zu viel“. Die Folgerung daraus lautet „Alles muss irgendwie viel weniger werden“, am besten gänzlich „dematerialisiert“. Das Grundproblem liegt aber nicht darin, exemplarisch gesprochen, den Gebrauch von Kohle und Öl zu rationieren (Suffizienz) oder zu rationalisieren (Effizienz), sondern ihren Gebrauch zu erübrigen durch Übergang zu einer anderen Energiebasis, die auch in großen Volumina umweltverträglich genutzt werden kann und die es von daher auch 6, 8, 10 und mehr Milliarden Menschen auf der Erde ermöglicht, eine metabolisch naturintegrierte Industrielle Ökologie aufrechtzuerhalten.

Erst durch den Rahmen einer solchen „investiven“ Perspektive erhält das Effizienzsteigern als Optimierung des erforderlichen Aufwandes eine sinnvolle Verortung und Ausrichtung. Der Autor kann immerhin darauf verweisen, beizeiten beigetragen zu haben zur Formulierung der Prinzipien der Ressourcenproduktivität (ergänzend zur Arbeits- und Technikproduktivität) und der Stoff- und Energieeffizienz (Huber 1982). Man konnte allerdings schon im Fortgang des damaligen Diskurses erkennen, dass Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen lediglich Zeitgewinne in mittlerer Perspektive schaffen.

Auf längere Frist erweist sich Effizienz als *nicht nachhaltig*. Dies gilt jedenfalls für Effizienzsteigerung am ökologisch falschen Objekt (wie fossile Energieträger); und am richtigen Objekt dürfte beschleunigte Effizienzsteigerung kaum jemals zu einem besonders dringlichen *ökologischen* Vorhaben werden. Für die systemische Nachrangigkeit des Effizienz-Ansatzes gibt es zwei Gründe. Zum einen unterliegen spezifische Aufwandsminimierungen dem lebenszyklischen Gesetz eines abnehmenden Grenznutzens. Bei Technologien oder Produkten im Entfaltungsstadium der Reife kann es nicht mehr viel bringen, sich intensiv mit ihrer Optimierung zu beschäftigen.

Zum zweiten gibt es jenen lebenszyklischen Zusammenhang, der in der Biologie ebenso wie der Ökonomie geradezu eine Selbstverständlichkeit ist: Der systemimmanente Zweck der spezifischen Aufwandsminimierung liegt in der Stabilisierung und Ausweitung des Systemwachstums. Effizienzsteigerungen dienen in natürlichen ebenso wie in menschlichen Haushalten nicht dem absoluten Einsparen zwecks Schrumpfen, sondern einem spezifischen Sparen zwecks ReInvestieren. Das heißt, Rationalisierungserfolge setzen sich um in Rebound-Effekte, umgangssprachlich gesagt, in *mehr* absolutes Größenwachstum, sei dies, mit Schumpeter gesprochen, bloß quantitatives Wachstum des Typus „mehr vom Gleichen“ oder strukturwandel-induziertes Wachstum des Typus „etwas Neues Zusätzliches“. Unter diesem Gesichtspunkt erweist sich „Dematerialisierung“ einmal mehr als irreführende Ideologie. Lebende Systeme minimieren ihren *spezifischen* Aufwand

zwecks „Anspruchs“-Ausweitung. Die „Ansprüche“ begrenzen sich *absolut* lediglich nach Maßgabe der Nischengrenze des betreffenden System-Lebenszyklus.

Im Hinblick auf den Konsistenz-Ansatz bedeutet das Lebenszyklusmodell zunächst dies: Umweltwirkungen von Technologien, Produkten oder Nutzungs- bzw. Konsumroutinen werden überwiegend bereits in einem Frühstadium oder Vorstadium der Set-Up-Phase festgelegt, nämlich in der Phase der Formation oder Konzeption, besser bekannt als FuEuKuD – Forschung und Entwicklung, Konstruktion und Design. Je mehr etwas der Konzeption nachfolgend bereits auf seinen Entfaltung- und Verbreitungspfad gebracht ist, desto strukturell begrenzter und quantitativ geringer werden die Möglichkeiten, durch Entfaltungsinnovationen und schließlich Statusmodifikationen an den Umweltwirkungen des betreffenden Technologie- oder Produktpfades noch viel zu ändern.

Dies gilt, davon abgeleitet, in gleicher Weise für den ökobilanziellen „Lebensweg von der Produkt-Wiege zur -Bahre“ im Sinne der vertikalen Produktionskette. Die Umweltwirkungen werden *überwiegend und dauerhaft* festgelegt durch die grundlegende strukturelle Konzeption und durch frühe strukturentfaltende Fortentwicklungen. Im laufenden Prozess der Produktion und des Gebrauchs bleiben weniger Freiheitsgrade, die Umweltwirkungen zu kontrollieren. Produktbezogene Öko-Bilanzen haben ein Wissen geschaffen, auf welchen Stufen der vertikalen Leistungskette welche Umweltwirkungen in welchem Ausmaß entstehen oder induziert werden. Zwar wird man konkreten Messzahlen mit der gebotenen Zurückhaltung begegnen, zumal hoch aggregierten Kennziffern, hinter denen Äpfel wie Birnen verschwinden. Dennoch hat sich eine Expertenmeinung dahingehend herausgebildet, dass etwa 60 – 80 % der Umweltwirkungen einer Sache durch ihre basale Konstitution oder spätere strukturelle Neukonzeptionen festgelegt werden. Im Produktionsprozess lassen sich eventuell 10 – 30 %, im Endverbrauch gegebenenfalls weitere 10 – 20 % kontrollieren.

Zum Beispiel kann man beim Heizen mit einer Variation von 1°C im Bereich von um 20°C Raumtemperatur 3 – 6 % Energieverbrauch beeinflussen, oder beim Autofahren durch ruppiges oder sanftes Fahren 10 – 15 % des Spritverbrauchs kontrollieren. Dies sind jedoch seltene Beispiele für einen erheblichen *direkten* Umweltwirkungs-Einfluss der Nutzer. Weitergehende Reduktionen beinhalten bereits Nutzenverzicht. Aber selbst radikalere Verzichtsformen, ohnedies eine Tugendübung nur für wenige, können kaum zu mehr führen als 20 – 40 % Verbrauchsreduktion. Wollte man mehr erreichen, müsste man die Leute bei Minimumdiät im Nullenergiebunker immobilisieren. In einer modernen Industriegesellschaft jedoch erweisen sich auch geistvollere Lebensweisen als äußerst stoff- und energieintensiv.

Die Möglichkeiten der Produzenten, Umweltwirkungen entlang der Produktlinie zu kontrollieren, gehen zwar meist weiter als die der Endnutzer, sollten aber auch nicht überschätzt werden. Der Vorteil in der Produktion im Vergleich zu privaten Haushalten pflegt zu sein, dass Rationalisierungspotentiale systematischer und vollständiger ausgeschöpft werden. Aber wenn im günstigen Fall die betreffenden 10 – 30 Prozent erreicht sein sollten, dann hilft nur eine Strukturveränderung weiter, das heißt, strukturell gründlich veränderte oder gar von Grund auf völlig neue Produktionsverfahren und Produkte müssen eingeführt werden, und eben darin liegt der Ansatzpunkt der Konsistenz-Strategie.

4. Der Stellenwert von Suffizienz, Effizienz und Konsistenz für eine Industrielle Ökologie

Der einfachste Standpunkt, den man in der vorliegenden Debatte vertreten kann, besagt, jeder Beitrag sei willkommen, und alles zusammen werde hoffentlich zu einem guten Ende führen. Dies ist jedoch *zu* einfach, um wahr zu sein. Suffizienz, Effizienz und Konsistenz haben verschiedene Auswirkungen sowohl auf die Mengen als auch auf die Arten und Weisen des industriellen Metabolismus, und sie haben dies in unterschiedlichen Zeithorizonten.

Suffizienz, im Sinne einer freiwilligen oder erzwungenen Verbrauchsbeschränkung, besitzt nicht nur ein relativ geringes Einsparpotenzial, sondern, und im Ergebnis bedeutender, auch ein viel zu geringes sozio-kulturelles Anschluss- und Resonanzpotenzial. Unter den anhaltenden Bedingungen der weltweiten Dominanz einer materialistisch verstandenen utilitären Wertebasis bleibt es in politischer Hinsicht müßig, sich mit dem Suffizienz-Ansatz allzu lange abzugeben. Kultursociologisch wäre das sicherlich anders zu gewichten, und auf persönlicher Ebene mag ein konsumkritisches Bewusstsein auch zu einem erfüllteren Leben beitragen. Es kann dem Seelenheil nur gut tun, sich altlutheranisch daran zu erinnern, dass wir nicht vom Brot alleine leben. Nur eben leben wir auch vom Brot und das bisschen weniger Brot, das ein frommes Innenleben nach sich zieht, bleibt *umweltpolitisch* ohne relevanten Stellenwert.

Über Effizienz wurde bereits genügend gesagt. Bleibt zu ergänzen, Effizienz geht in Wirklichkeit nicht mit Suffizienz zusammen, jedoch mit Konsistenz. Effizienzsteigerer pflegen keine Suffizienz-Apostel zu sein, eher schon Einkommens- und Konsummaximierer. Umgekehrt pflegen die meisten Suffizienz-Idealisten sich nicht gerade für Elektrotechnik und Spezialitätenchemie zu begeistern, und industrielle Produktivität und Rentabilität ist meist auch nicht ihr Lieblingsthema.

Für Suffizienz und Effizienz gilt bei beiden, dass sie schon auf kurze bis mittlere Frist zu wenig bis keinen Entlastungen in der ökologischen Gesamtbilanz führen infolge von Nischenausfüllung durch andere Akteure sowie infolge von Rebound-Effekten. Dies gilt besonders am ökologisch falschen Objekt (Beispiel Rationierung oder Rationalisierung des Fossilienverbrauchs). Im Falle metabolisch integrierter Objekte aber erübrigen sich Suffizienz und Effizienz *aus ökologischen Gründen* in erheblichem Maße, unbeschadet der Tatsache, dass Effizienz stets die ökonomische Kostenstruktur verbessert.

Als Umwelt-realpolitische Strategiewahl bleibt die zwischen Effizienz und Konsistenz. Entweder wir arbeiten effizienzsteigernd an verbleibenden Freiheitsgraden von alten Technologie- und Produktpfaden bei abnehmendem Grenznutzen, oder aber wir arbeiten konsistenzverändernd an den Freiheitsgraden beim Set-Up von Basisinnovationen. Sofern man hypothetisch ohne Einschränkung beides tun könnte, würde sich beides gut ergänzen. In Wirklichkeit besteht hier vielfach eine Interessens- und Mittelkonkurrenz. Was in die systemisch nachrangige Effizienzsteigerung fließt, dient kurz- und mittelfristig der Perpetuierung des Status quo und verhindert insoweit das Aufkommen der systemisch vorrangigen Neukonzeptionen und Neukonstitutionen von Technologiepfaden. Was umgekehrt der Konsistenzstrategie zufließt, verkürzt das Fortbestehen der industrietraditionalen Strukturen indem es ihre Ablösung beschleunigt. Faktisch werden sich Effizienz und Konsis-

tenz dort positiv ergänzen, wo die beschleunigende Arbeit an Entwicklungspfaden im mittleren Lebenszyklusstadium zusammentrifft mit der beschleunigenden Arbeit an technologischen Systemwechseln, deren Zeitfenster sich öffnet.

Umweltwissenschaften und Umweltpolitik haben inzwischen selbst drei Jahrzehnte ihres Zeitfensters gebraucht, um sich nach und nach heranzuarbeiten an die verschiedenen Zeithorizonte und Problemlösungspotenziale von verschiedenen Arten und Maßnahmen des Umwelthandelns. In den 70er und 80er Jahren ging es um Sofortmaßnahmen („Schnell ‘was vorzeigen“). Das führte zunächst einmal überwiegend zu nachgeschaltetem „technischem Umweltschutz“, Medien- und Einzelschadstoff-bezogen, Anlagen-additiv. Strukturell geändert werden konnte damit noch kaum etwas. Aber es erfolgte relativ rasch eine Eindämmung von Emissions- und Immissionsproblemen, jedoch verbunden mit einer mangelhaften Problemlösung. So erfolgte bereits kurzfristig eine Problemverschiebung. Typischerweise werden Abluft und Abwasser zu Sonderabfall. Davon abgesehen bestand noch eine weitgehende Vernachlässigung des Ressourcenschutzes jenseits des herkömmlichen Naturschutzes. Immerhin schafft der ordnungsrechtlich oktroyierte nachgeschaltete Umweltschutz erst einmal Linderung im Hinblick auf eine Vielzahl der größten Schadstoffexpositionen – auch wenn dies auf Dauer mit (zu) hohen Kosten und (zu) viel Bürokratisierung verbunden ist. Der verschlimmbessernde Charakter des *kurzfristig* ansetzenden nachgeschalteten Umweltschutzes ist inzwischen allgemein bekannt.

Mit den 80er und 90er Jahren verbreiteten sich die Ansätze des Produktions- und Produkt-integrierten Umwelt- und Ressourcenschutzes. Das wurde im ersten Anlauf vor allem als Aufforderung zum Recycling und zum Energiesparen aufgefasst, dann bald verallgemeinert als Steigerung der Ressourcenproduktivität wo immer möglich. So nahm der heute dominierende Ansatz der Steigerung der Stoffeinsatz- und Stoffumlauf-Effizienz seinen Gang, als sozusagen klassische industrielle Rationalisierungsstrategie. Effizienzsteigerung und „Dematerialisierung“ (als spezifische, nicht absolute Einsparung von Material und „ökologischen Rucksäcken“) werden *mittelfristig* wirksam aufgrund der Investitionszyklik von Entfallungsinnovationen und Statusmodifikationen. Sie bringen dabei eine Entlastung bei der *spezifischen* Ressourcen- und Senkenbelastung, aber wie erläutert werden diese durch Rebound-Effekte bereits auf kurze und ebenfalls mittlere Frist weitgehend bis vollständig wieder „zunichte“ gemacht. Immerhin verschaffen sie einen gewissen Zeitgewinn im Vergleich zum Status ante.

Mit den 90er Jahren hat der ordnungsrechtliche Regulationsansatz der Umweltpolitik sich in dem Sinn erfüllt, dass es kein Umweltpolitikfeld mehr gibt, für das nicht gesetzlich-administrative Regularien oder Umweltregimes geschaffen worden wären. Diese Rechtsgrundlagen wird man von Zeit zu Zeit novellieren. Zugleich dürfte heute, im Zeitraum 1995 – 2005, die strukturkonservative „Effizienzrevolution“ ihren Höhepunkt erreicht haben. Mithin ist dies der Zeitpunkt für den Aufstieg eines neuen umweltstrategischen Teilparadigmas, eben in Form des Konsistenz-Ansatzes, der Schaffung einer metabolisch naturintegrierten Industriellen Ökologie durch basisinnovative Konzeption und Konstitution von technischen „Systemwechseln“, also dem Set-Up und späteren Take-Off neuer Sachen auf neuen Pfaden. Solche Prozesse erfolgen naturgemäß *langfristig* (Grübler 19xx 38f.) – wegen des erforderlichen wissenschaftlich-technologischen Vorlaufes, we-

gen der nur langfristig erfolgenden Erneuerung oder Substitution von Kapitalstücken, der Trägheit von Paradigmenwechseln ebenso wie Personalstrukturen, den Interessenskonflikten zwischen Platzhaltern und Neuerern, wegen der Notwendigkeiten gesellschaftlicher Bewertung und alltagspraktischer Assimilation, auch der Notwendigkeiten rechtlicher Regelungen u.a.m. Dafür handelt es sich um den Ansatz, der eine breite gesellschaftliche Trägerschaft impliziert, und der mit großem Abstand das höchste Maß an nachhaltiger Problemlösung bringen kann.

Im Ergebnis dieser vergleichenden Erörterung der Transformations-Strategien für eine nachhaltige Entwicklung stellt sich eine klare systemische Priorität heraus: Konsistenz vor Effizienz vor Suffizienz. Im Rahmen eines zyklusanalytischen Ansatzes verliert der Vorrang „Konsistenz vor Effizienz vor Suffizienz“ seine ansonsten eventuell zu unterstellende normative Beliebigkeit, etwa in dem Sinne, es handle sich um eine Frage von individuellen Wertpräferenzen. Das mag für die einzelne Person von Bedeutung sein, aber im gesellschaftlichen Gesamtverlauf spielt es in diesem Fall allenfalls eine untergeordnete Rolle.

Wir können einen Lebenszyklus auch so beschreiben: Ein neues System, oder eine neue Variation, ein neuer Ableger o.ä., wird erstens auf seinen Pfad gesetzt, entfaltet sich zweitens im Verlauf, und gelangt drittens mit zunehmender Potenzialrealisierung an die Grenzen seiner Nische. In eben dieser Weise definiert sich die umweltpolitische Rolle von erstens Konsistenz, zweitens Effizienz und drittens Suffizienz. Einen Konsistenz-Ansatz verfolgen heißt, erstens auf beschleunigten Strukturwandel und die beschleunigte Innovation neuer Systemzyklen hinzuwirken. Der Effizienz-Ansatz bedeutet, zweitens den nachfolgenden Entfaltungs- und Wachstumsverlauf im Rahmen des Möglichen gezielt zu beschleunigen. Suffizienz ergibt sich schließlich drittens als die organische Wachstumsgrenze eines System-Lebenszyklus. Keine organische Entwicklung bleibt von sich aus hinter ihrem Potenzial zurück.

Dies heißt nicht, dass alles was möglich ist auch realisiert wird, geschweige, dass dem so sein solle. So etwas wäre nicht nur ethisch und rechtlich unerwünscht, sondern es ist auch per se unmöglich, weil in einer Entwicklung, die hier auch einmal als fortgesetzte Ermöglichungs-Verwirklichungs-Dialektik verstanden werden kann, mit jedem Schritt alte Optionen geschlossen und neue eröffnet werden; und auch hierbei bestehen Freiheitsgrade, aufgrund derer man eine Verantwortung trägt. Aber es bedeutet, dass ein System von sich aus seine mengenparametrischen Wachstumspotenziale ausschöpft. Damit nimmt der Suffizienz-Begriff gewiss eine etwas andere Wendung als die kontrazyklisch intervenierenden neuen Idealisten sich das bisher vorstellen. Da wären wir bei der gelegentlichen Nichtübereinstimmung von Wahrheit und Wirklichkeit. Vielleicht finden sie ja auf dem Weg einer metabolisch naturintegrierten Industriellen Ökologie wieder einmal zusammen: Wir müssen neue konsistente Wege gehen, wir werden dabei mit unseren Mitteln und Möglichkeiten effizient haushalten, und am Ende müssen wir uns zufrieden geben.

Literatur

- Allenby, Brad 1999: Earth Systems Engineering. The Role of Industrial Ecology in an Engineered World, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 2, No. 3, 1999, 73 - 93
- Ayres, Robert U. / Ayres, Leslie W. 1996: Industrial Ecology. Towards Closing the Materials Cycle, Cheltenham: Edward Elgar
- Ayres, Robert U. 1993: Industrial Metabolism. Closing the Materials Cycle, in: T.Jackson (Ed) 1993, 165 - 188
- Ayres, Robert U. / Simonis, Udo Ernst (Eds), Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development, Tokyo: United Nations University Press
- Braungart, Michael / McDonough, William A. 1999: Von der Öko-Effizienz zur Öko-Effektivität. Die nächste industrielle Revolution, *Politische Ökologie*, 17.Jg., Heft 62, September 1999, 18 - 22
- Ehrlich, Paul R. and Anne H. 1990: The Population Explosion, New York: Simon & Schuster
- Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages 1994: Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen, Bonn: Economica Verlag
- Fussler, Claude R. 1994: The Sustainability Revolution and the Eco-Efficiency Imperative, Dow Europe, Geneva 1994
- Graedel, Thomas 1994: Industrial Ecology. Definition and Implementation, in: Socolow et al. (Eds) 1994, 23 - 42
- Grübler, Arnulf 19xx: Time for a Change: On the Patterns of Diffusion of Innovation, in: xxx, 19 - 42
- Grübler, Arnulf 1994: Industrialization as a Historical Phenomenon, in: Socolow et al. 1994, 43 - 68
- Hofmeister, Sabine 1998: Von der Abfallwirtschaft zur ökologischen Stoffwirtschaft. Wege zu einer Ökonomie der Reproduktion, Opladen: Westdeutscher Verlag
- Huber, Joseph 1982: Die verlorene Unschuld der Ökologie. Neue Technologien und superindustrielle Entwicklung, Frankfurt: S. Fischer
- Huber, Joseph 1994: Nachhaltige Entwicklung durch Suffizienz, Effizienz und Konsistenz, in: P. Fritz / J. Huber / H.W. Levi (Hg), Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive, Stuttgart: Hirzel/Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 31 - 46
- Huber, Joseph 1995: Nachhaltige Entwicklung, Berlin: Edition Sigma
- Jackson, Tim (Ed) 1993: Clean Production Strategies. Developing Preventive Environmental Management in the Industrial Economy, Lewis Publishers
- Kemp, René 1993: An Economic Analysis of Cleaner Technology: Theory and Evidence, in: Fischer, Kurt / Schot, Johan (Eds) 1993: Environmental Strategies for Industry. International Perspectives, Washington/Covelo: Island Press, 79 - 116
- Kemp, René / Soete, Luc 1992: The Greening of Technological Progress, *Futures*, June 1992
- Kreibich, Rolf / Rogall, Holger / Boes, Hans (Hg) 1991: Ökologisch produzieren, Weinheim: Beltz
- Marchetti, Cesare 1983: Innovation, Industry and Economy, IIASA-Paper, PP-83-6, December
- Marchetti, Cesare 1986: Stable Rules in Social and Economic Behavior, IIASA-Paper

- Marchetti, Cesare 1988: Kondratiev Revisited. After One Kondratiev Cycle, IIASA-Paper
- Marchetti, Cesare 1991: Branching out into the Universe, in: Nakicenovic/Grübler (Eds) 1991, 583 – 592
- Marchetti, Cesare 1993: Nuclear Energy and its Future, IIASA, RR-93-18, November
- Modis, Theodore 1992: Predictions, New York: Simon & Schuster; dt. Die Berechenbarkeit der Zukunft, Basel/Berlin: Birkhäuser
- Mol, Arthur P.J. 1995: The Refinement of Production. Ecological Modernization Theory and the Chemical Industry, Utrecht: van Arkel
- Nakicenovic, Nebojsa / Grübler, Arnulf (Eds) 1991: Diffusion of Technologies and Social Behavior, Berlin: Springer
- Paton, Bruce 1994: Design for Environment. A Management Perspective, in: Socolow et al. (Eds) 1994, 349 – 358
- Rechenberg, Ingo 1973: Evolutionsstrategie. Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution, Stuttgart: Frommann
- Rip, Arie / Misa, Thomas J. / Schot, Johan (Eds) 1995: Managing Technology in Society. The Approach of Constructive Technology Assessment, London/New York: Pinter
- Schmidheiny, Stefan 1992a: Changing Course. A Global Business Perspective and Development and the Environment, Cambridge/Mass.: MIT Press
- Schmidheiny, Stefan 1992b: The Business Logic of Sustainable Development, *The Columbia Journal of World Business*, Vol. 27, No.314, Fall&Winter 1992, 18-24
- Schmidt-Bleek, Friedrich 1994: Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS, das Maß für ökologisches Wirtschaften, Berlin: Birkhäuser
- Socolow, Robert / Andrews, Clinton / Berkhout, Frans / Thomas, Valerie (Eds) 1994: Industrial Ecology and Global Change, Cambridge University Press
- Spaargaren, Gert 1997: The Ecological Modernization of Production and Consumption. Essays in environmental sociology, Thesis Landbouw Universiteit Wageningen
- Stahel, Walter 1991: Langlebigkeit und Materialrecycling, Essen: Vulkan Verlag
- Stahel, Walter 1992: Gemeinsam nutzen statt einzeln verbrauchen, in: Vernetztes Arbeiten. Design und Umwelt, hrsg. vom Rat für Formgebung, Frankfurt/M.
- Von Gleich, Arnim (Hg) 1998: Bionik. Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur?, Stuttgart: Teubner
- Weizsäcker, Ernst Ulrich von / Lovins, Amory und Hunter 1995: Faktor Vier. Doppelter Wohlstand, halbiertes Naturverbrauch, München: Droemer Knauer