

## Die industrielle sozioökologische Regime und globale Transitionen

Marina Fischer-Kowalski und Helga Weisz

### 1.3 Kennzeichen sozioökologischer Übergänge

Ein sozioökologischer Übergang oder Regimewechsel ist nach unserem Verständnis ein Übergang von einem sozioökologischen Regime zu einem anderen. Wie definieren wir aber ein sozioökologisches Regime? Ein sozioökologisches Regime ist ein bestimmtes grundlegendes Muster der Interaktion zwischen (menschlicher) Gesellschaft und natürlichen Systemen. (Fischer-Kowalski and Haberl, 2007) Um den Begriffsinhalt dieses Satzes zu verdeutlichen, müssen wir den Begriff *menschliche Gesellschaft* und deren Beziehung zu natürlichen Systemen zumindest kurz erläutern.

#### Die (menschliche) Gesellschaft und ihre Beziehung zu natürlichen Systemen

Wie können wir eine *menschliche Gesellschaft* definieren? Über diesen Begriff besteht weder innerhalb der sozialwissenschaftlichen Disziplinen noch bei den Disziplinen untereinander Konsens. Für unsere anschließenden theoretischen Ausführungen müssen wir die menschliche Gesellschaft (nachstehend der Kürze halber als „Gesellschaft“ bezeichnet) mit ihrer natürlichen Umwelt, oder, ganz direkt ausgedrückt, mit der Natur in Beziehung setzen. Und wir werden auch die Gesellschaften miteinander in Beziehung setzen müssen. Austausch mit anderen Gesellschaften können funktionale Substitute für Austausch mit der natürlichen Umwelt der eigenen Gesellschaft sein - diese haben jedoch auch Auswirkungen auf die Umwelt der jeweils anderen Gesellschaft. Folglich müssen wir in der Lage sein, die gesellschaftsübergreifenden Wirkungsketten zu beschreiben. Darüber hinaus möchten wir diesen Begriff auf menschliche Gemeinschaften aus allen historischen Bezügen und weltweit anwenden können.

In der Soziologie bezieht sich der Begriff „Gesellschaft“ üblicherweise auf eine soziale Einheit, bestehend aus *a population on a certain territory, integrated by cultural commonalities*<sup>1</sup> [einer Bevölkerung auf einem bestimmten Territorium, miteinander verbunden durch kulturelle Gemeinsamkeiten] sowie durch politische Gemeinsamkeiten, wie gemeinsame Verfahren der Entscheidungsfindung, Methoden zur Durchsetzung von Entscheidungen, gemeinsame wechselseitige Verantwortlichkeiten, wie z.B. Mitwirkungspflichten, und für den Notfall eine gewisse Fürsorgegarantie ((see for example Giddens, 1989)). Während in der Soziologie die Idee eines gemeinsamen Regierungssystems (wie im modernen Nationalstaat) für den Begriff der Gesellschaft besondere Bedeutung hat,

---

<sup>1</sup> wie z. B. eine gemeinsame Sprache, ein Gesetzgebungssystem, eine Währung und ein gewisses Minimum an gemeinsamen Alltagskonventionen und -gepflogenheiten.

unterstreicht die kulturelle Anthropologie stärker den funktionalen Aspekt der wechselseitigen Abhängigkeit und Reproduktion.<sup>2</sup>

Für unsere Zwecke ergibt dieses Verständnis von „Gesellschaft“ durchaus Sinn. Gesellschaft als soziale Einheit mit der Funktion der Reproduktion einer menschlichen Population innerhalb eines Territoriums zu begreifen, die sich dabei von einer bestimmten Kultur leiten lässt, scheint hinreichend abstrakt, um auf unterschiedliche historische Umstände anwendbar zu sein. Es ist noch immer nicht ganz leicht, den Standort der „Gesellschaft“ in einer Hierarchie sozialer Einheiten (z.B. Haushalt, Gemeinwesen, Staat, Bundesstaat, Europäische Union oder gar UN) zu bestimmen, oder festzulegen, ob einige wenige Siedlungen amerikanisch-indianischer Familiengruppen oder der vorübergehende Zusammenschluss unterschiedlicher Familiengruppen in einem Wintercamp, welches Gelegenheit zu kulturell vorgeschriebenen exogamen Heiraten bietet, bereits eine „Gesellschaft“ darstellen. Doch vielleicht muss man an diesem Punkt gar nicht so stark präzisieren. Wohl weitaus wichtiger ist hier, zu erkennen, dass die Gesellschaft – nach dieser Definition – auf eine bisher noch nicht eindeutig spezifizierte Weise beide Elemente miteinander verbindet, die symbolisch sind, Gestaltungen sozialer Kommunikation und durch Kommunikation zwischen Menschen übermittelt, welche den Bedeutungsregeln unterliegen und nur aufgrund ihrer Sinnhaftigkeit („Kultur“) wirken, und Elemente eindeutig natürlichen Ursprungs und Charakters, welche fest an die Regeln der Physik und Biologie („Population“, „Territorium“) gebunden sind.

Wenden wir uns der „idealistischen“, gleichsam „platonischen“ Tradition der Sozialwissenschaften zu und betrachten wir den von dem deutschen Soziologen Luhmann entwickelten Begriff Gesellschaft, stellen wir fest, dass er sich auf Kommunikation und zwar ausschließlich auf Kommunikation bezieht. Sein Begriff der Gesellschaft scheint frei von jeglichen materiellen, physischen Bestandteilen. Gesellschaft ist nach Luhmann das Sozialsystem, welches alle Kommunikationen in sich einschließt ((Luhmann, 1984), (Luhmann, 1997)). Menschen als physische Personen gehören der Umgebung der Gesellschaft ebenso an wie alle übrigen materiellen Komponenten, wie Habitat/Territorium, physische Infrastruktur oder Artefakte.

Der Preis dieses „reinen“ Fokus auf der symbolischen Kommunikation ist Hilflosigkeit gegenüber der materiellen Welt. Kann denn ein rein symbolisches System bei der Beeinflussung biophysischer Objekte überhaupt etwas ausrichten? Die Antwort auf diese Frage lautet: Nein, es kann es nicht. Für den „Brückenschlag“ zu den materiellen Angelegenheiten bedarf es eines von außen agierenden Agenten. Es ist naheliegend, dass dieser Agent der Mensch sein kann und sein muss - als hybrides Wesen, das in beiden Welten zuhause ist, der mit Symbolik vertraut und folglich ein Kommunikator, aber auch eine körperliche Kreatur mit der Fähigkeit zu physischem Handeln ist. Auch wenn wir Luhmanns Konzept der autopoietischen Kommunikationssysteme als wertvolles Werkzeug anerkennen:

---

<sup>2</sup> Wie in der Lehrbuchdefinition von Harris, nach der die Gesellschaft eine „organisierte Gruppe von Menschen [ist], welche in demselben Habitat leben und für ihr Überleben und Wohlergehen voneinander abhängig sind“. „Jede Gesellschaft hat eine Gesamtkultur“, so Harris weiter, die jedoch nicht gleich sein muss für alle Mitglieder der Gesellschaft ((Harris, 1987, p. 10)).

Es muss darüber hinaus noch etwas anderes geben, das Sozialsysteme ausmacht und eine „Gesellschaft“ darstellt. Für unsere Zwecke darf dieser Begriff nicht jedweden materiellen Sinngehalts beraubt sein, „Gesellschaft“ darf nicht so ausschließlich selbstreferentiell sein, dass sie nicht einmal einen Stuhl versetzen kann.

Es scheint zweckmäßig, zwischen „Gesellschaft“ und „Kultur“ zu unterscheiden und beide Begriffe zu verwenden. Übernimmt man das Kommunikationssystem von Luhmann für die Kultur<sup>3</sup> und gestattet man der Gesellschaft, einige materielle Züge beizubehalten, so scheint dies die für einen sozioökologischen Zweck am besten geeignete Lösung: Sie ermöglicht uns, Gesellschaft als ein Hybrid zu betrachten, das den Bereichen der Kultur, Sinnhaftigkeit und Kommunikation und der materiellen Welt angehört.<sup>4</sup> Die Gesellschaft umfasst nach unserem Verständnis (weitere Details siehe (Fischer-Kowalski and Weisz, 1999)) sowohl ein kulturelles System als System rekurrierender selbstreferentieller Kommunikation als auch materielle Komponenten: eine bestimmte menschliche Population, und – dies ist die Kernaussage unseres Verständnisses der Wechselbeziehung zwischen Gesellschaft und Natur – eine physische Infrastruktur (Gebäude, Maschinen, in Gebrauch befindliche Artefakte und Nutztiere). Über diese biophysischen Bestandteile der Gesellschaft interagiert die Kultur mit der Natur: Beide können einander nur mittelbar und stets nur nach ihren eigenen Regeln beeinflussen. Begreift man sie auf diese Weise, sind Gesellschaften nicht „Systeme“ im engen Sinne der Systemtheorie, sondern stellen eher eine „strukturelle Kopplung“ eines kulturalen Systems mit materiellen Elementen dar.

Bereits der Begriff „sozial“ hat scheinbar diesen hybriden Charakter. Das etwas „sozial“ ist, impliziert das Beteiligtsein von Menschen, und Menschen als Personen können vernünftigerweise auch nur gedacht werden als verbindender Faktor, als strukturelle Kopplung zwischen einem symbolischen (kulturellen, kognitiven, Verstandes-) System, das seinen eigenen Prozessen der Selbstschöpfung und Aufrechterhaltung folgt (und einen Großteil seiner Inhalte dem kulturellen System der Gesellschaft „abgeschaut“ hat), und einem physischen System, einem Körper (der einen Großteil seiner Funktionen aus den dem Genpool der Bevölkerung entnommenen genetischen Informationen ableitet). Ein Haushalt lässt sich auf ähnliche Weise begreifen: Es ist wahrscheinlich, dass eine Familienkultur existiert, an der sich das Verhalten orientiert, dass ihm reale Menschen angehören, dass weitere physische Elemente ihn aufrechterhalten und durch menschliche Aktivitäten aufrechterhalten werden, wie beispielsweise ein Haus, Einrichtungsgegenstände, Haustiere, ein Garten, ein Auto und so weiter. Offensichtlich wird die Organisation des Haushalts durch Kommunikation, allerdings nicht allein durch Kommunikation aufrechterhalten. Auch rein natürliche Prozesse sind dafür notwendig (beispielsweise, dass Wände senkrecht stehen bleiben, Dächer vor Regen schützen, Heizung die Wärme im Haus hält, Hunde stinken, Teller

---

<sup>3</sup> Die Terminologie nähert sich Rolf Peter Sieferles Auffassung von Kultur ((Sieferle, 1997a)), entfernt sich hingegen von den Traditionen der kulturellen Anthropologie und den meisten soziologischen Autoren.

<sup>4</sup> Der Begriff „hybrid“ als wissenschaftlicher Begriff stammt aus der Biologie, wo er sich auf die „offspring of a cross between two different strains, varieties, races, or species“ [Nachkommen einer Kreuzung zwischen zwei unterschiedlichen Stämmen, Sorten, Rassen oder Spezies] bezieht ((Walker (ed.), 1989)).

zerbrechen usw.) und als eine Art Mittler menschliche Arbeit, welche materielle Elemente formt, um das Funktionieren des Haushalts zu reproduzieren.

Abschließend können wir sagen: Wir begreifen Gesellschaft als strukturelle Kopplung zwischen einem kulturellen System und materiellen Elementen, darunter als funktionaler Fokus die menschliche Population. Gesellschaft wird gleichzeitig von zwei Programmen, zwei Arten von Software gesteuert: einer kulturellen Software (welche die Sinnhaftigkeit bestimmt und die Absichten formt) und einer natürlichen Software, welche die materielle Effektivität bestimmt. Dies hat die Gesellschaft mit allen anderen *sozialen* Einheiten gemein. Sie unterscheidet sich von ihnen in bestimmten Zügen, bei denen wir im Wesentlichen den in der Soziologie und kulturellen Anthropologie gängigsten Traditionen folgen (siehe vorstehende Ausführungen).

Die Gesellschaft in ihrer Gesamtheit darf man folglich nicht als Teilsystem eines Ökosystems betrachten, wie es in der naturwissenschaftlich-basierten Nachhaltigkeitsforschung ((Berkes and Folke, 1998)) häufig konzeptualisiert wird. Andererseits unterschätzen wir nicht die Relevanz biophysischer Aspekte oder konzeptualisieren Sozialsysteme bar jedweder materiellen, biophysischen Bestandteile, wie es häufig in der in den Geisteswissenschaften, der Soziologie und in den Wirtschaftswissenschaften betriebenen Forschung geschieht. Nach unserem Verständnis umfasst Gesellschaft sowohl ein kulturelles System als System rekurrierender selbstreferentieller Kommunikation als auch materielle Komponenten oder, anders ausgedrückt, eine bestimmte menschliche Population und eine physische Infrastruktur, die Gebäude, Maschinen, in Gebrauch befindliche Artefakte und Nutztiere umfasst, welche man in ihrer Gesamtheit als „biophysische Strukturen der Gesellschaft“ definieren kann ((Weisz et al., 2001), S. 121, (Fischer-Kowalski and Weisz, 1999)).

Abb. 1.1 Sozioökologische Systeme als Überlappung eines natürlichen und eines kulturellen Kausalitätsbereichs

Wie Abb. 1.1 zeigt, erlaubt dieser Begriff der Gesellschaft die Benennung eines epistemologischen Rahmens für die Interaktion der sozialen und natürlichen Systeme. Er umfasst einen „natürlichen“ oder „biophysischen“, durch Naturgesetze bestimmten Kausalitätsbereich sowie einen „kulturellen“ oder „symbolischen“ Kausalitätsbereich, welcher durch symbolische Kommunikation reproduziert wird. Diese beiden Bereiche überlappen sich und bilden die hier so genannten „biophysischen Strukturen der Gesellschaft“.<sup>5</sup> Nach diesem Konzept kann der Interaktionsprozess zwischen Natur und Kultur nur über diese gesellschaftlichen biophysischen Strukturen erfolgen.

---

<sup>5</sup> Dieses Konzept ähnelt in gewissem Umfang dem von Schellnhuber vorgeschlagenen Konzept, das Erdsystem als aus zwei Hauptkomponenten, N und H, bestehend, zu definieren, wobei davon ausgegangen wird, dass N (das natürliche System) Komponenten wie die Atmosphäre, die Biosphäre, die Kryosphäre usw. umfasst, und H (von Schellnhuber als „der Humanfaktor“ bezeichnet) aus der so genannten „physischen Teilkomponente“ oder „Anthroposphäre“ besteht (Wortlaut (Schellnhuber, 1999), [C20]: „the aggregate of all human lives, actions and products“) und einer „metaphysischen“ Teilkomponente, welche mit dem Begriff „Kultur“, wie in Abb. 1.1 dieses Artikels verwendet, annähernd vergleichbar ist. Schellnhubers Konzept mangelt es jedoch am Verständnis

## Sozioökologische Regime, historische Entwicklung und Übergänge

Betrachten wir die Gesellschaft als Hybrid, welches ein autopoietisches kulturelles System und materielle Elemente umfasst, an die es strukturell gekoppelt ist, dann müssten gerade die Interaktionen zwischen der Gesellschaft und ihrer materiellen Umgebung entscheidende Bedeutung für die Entwicklung der Gesellschaft selbst haben. Dies ist in der Tat die Kernhypothese von Maurice Godelier, dessen Werk unser Verständnis der Zusammenhänge zwischen Gesellschaft, Natur und Geschichte beeinflusst hat. Godelier formuliert sein Kernhypothese in der Einführung zu *The Mental and the Material* folgendermaßen: „*Human beings have a history because they transform nature. It is indeed this capacity which defines them as human. Of all the forces which set them in movement and prompt them to invent new forms of Gesellschaft, the most profound is their ability to transform their relations with nature by transforming nature itself*“ [„*Der Mensch hat eine Geschichte, da er die Natur verändert*“. Und diese Fähigkeit gehört zur Natur des Menschen. Der Gedanke ist, dass von allen Kräften, die den Menschen bewegen und ihn neue Gesellschaftsformen erfinden lassen, die bedeutendste Kraft seine Fähigkeit ist, sein Verhältnis zur Natur zu verändern, indem er die *Natur selbst verändert*“] ((Godelier, 1986, p.1)).

Betrachten wir nun die Gesellschaft als bevölkerungsreproduzierend, stellen wir fest, dass dies durch die Interaktion mit natürlichen Systemen geschieht, durch die Lenkung von Energie- und Stoffströmen aus ihrer und in ihre Umwelt, durch besondere Technologien und durch die Transformation natürlicher Systeme durch Arbeitskraft und Technologie auf ganz spezifische Weisen, um sie für die Zwecke der Gesellschaft geeigneter zu machen. Dies wiederum löst beabsichtigte und unbeabsichtigte Veränderungen in der natürlichen Umwelt aus, auf welche die Gesellschaften reagieren. Wir betrachten dies als co-evolutionären Prozess: Die Gesellschaften werden mit Teilen ihrer Umwelt strukturell gekoppelt; dies führt zu einem Prozess, bei dem Gesellschaft und Umwelt ihre künftigen Entwicklungsoptionen wechselseitig beschränken.<sup>6</sup> Der co-evolutionäre Prozess wird dann durch die spezifische Austauschbeziehung mit der Umwelt aufrechterhalten, durch die besondere Weise, in der eine Gesellschaft mit bestimmten natürlichen Systemen interagiert. In diesem co-evolutionären Prozess können wir idealtypische „Zustände“, d.h., Muster der Interaktionen zwischen Gesellschaft und Natur, welche über längere Zeit ein mehr oder weniger dynamisches Gleichgewicht halten („sozioökologische Regime“), aber auch Übergangsperioden unterscheiden.

Ganz allgemein gehalten, entsprechen sozioökologische Regime in der Universalgeschichte dem, was viele Autoren unter Verwendung unterschiedlicher Begriffe als menschliche Subsistenzweisen ((Boyden, 1992), (Diamond, 1997), (Gellner, 1988), (Sieferle, 1997b))

---

der menschlichen Gesellschaft – sowohl in ihren physischen als auch in ihren „metaphysischen“ oder kulturellen Aspekten – als komplexes autopoietisches System.

<sup>6</sup> Siehe Goudsbloms „principle of paired increases in control and dependency“ [Prinzip der parallel laufenden Zunahme von Kontrolle und Abhängigkeit] ((Goudsblom et al., 1996), S.25).

bezeichnet haben. Die Übergänge zwischen diesen „modes of subsistence“ sind so fundamental, dass man sie häufig als „Revolutionen“ bezeichnen muss, nämlich die neolithische Revolution (der Übergang von der Gesellschaft der Jäger und Sammler zur agrarischen Gesellschaft) und die industrielle Revolution (der Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft). Diese Übergänge oder Regimewechsel provozieren eine Reihe von Fragen: Warum blieben bestimmte sozioökologische Regime nicht auf Dauer bestehen, oder, anders gesagt, warum waren sie nicht nachhaltig? Warum vollzog sich beispielsweise ein Übergang von der Subsistenzweise der Jäger und Sammler zur agrarischen Gesellschaft? Und warum setzte nach rund 10.000 Jahren agrarischer Gesellschaft ein von uns als industrielle Revolution bezeichneter Übergang ein, der zu einer neuen „mode of subsistence“ führte, die noch immer so dynamisch ist, dass wir es schwierig finden, sie überhaupt als definierte Subsistenzweise, das heißt, als sozioökologisches Regime mit einer gewissen dynamischen Stabilität zu betrachten? Und wie steht ein künftig mögliches, „nachhaltiges“ sozioökologisches Regime, welches wir vielleicht anstreben, in Beziehung zu all dem? Dies sind in der Tat weitreichende Fragen, und obwohl wir nicht anstreben, sie in diesem Artikel zu beantworten, glauben wir doch, dass sie den für die richtige Einordnung des Übergangs zur Nachhaltigkeit notwendigen Hintergrund liefern können.

Schauen wir zurück in die Geschichte, können wir auch die Nachhaltigkeit alternativer sozioökologischer Regime diskutieren. Eine der interessantesten Diskussionen dieser Frage liefert (Sieferle, 2003)). Nach Sieferle bestreiten Jäger und Sammler ihren Lebensunterhalt durch passive Nutzung der Sonnenenergie; das heißt, ihr sozioökonomischer Energiestoffwechsel ist abhängig von der vorhandenen Intensität der Sonneneinstrahlung und deren Transformation in pflanzliche Biomasse; sie greifen nicht willentlich in diesen Transformationsprozess ein.<sup>7</sup> Folglich müssen Jäger und Sammler mehr oder weniger von der Ressourcendichte leben, die sie vorfinden, und können daher weder nennenswerten Besitz anhäufen noch ihre Umwelt massiv verschmutzen. Die einzige Gefährdung der Nachhaltigkeit, die von ihnen ausgeht, ist die Übernutzung wesentlicher Ressourcen. So gibt es beispielsweise Anzeichen dafür, dass Jäger und Sammler, obwohl sie wahrscheinlich weniger als 0,01 % der Netto-Primärproduktion (NPP) ihres Habitats konsumierten ((Boyden, 1992)), zum Aussterben eines bedeutenden Teils der Megafauna des Pleistozäns (d.h. Tiere mit einer Körpermasse von über 10 kg, die sich für die Jagd am besten eigneten und daher einen Großteil ihrer Ressourcenbasis bildeten) beitrugen. Die Frage ist zwar stark umstritten ((Alroy, 2001), (Grayson et al., 2001)), doch es ist durchaus sinnvoll, das sozioökologische Regime der Jäger und Sammler anzuführen, wenn es um das Thema Nachhaltigkeit geht. Nichtsdestoweniger hatte dieses sozioökologische Regime mehrere hunderttausend Jahre und somit bestimmt weitaus länger Bestand als das heute vorherrschende industrielle Muster, zumindest, so lange letzteres sich weiter auf die Nutzung fossiler Brennstoffe und den Einsatz endlicher mineralischer Ressourcen in großem Maßstab stützt.

---

<sup>7</sup> Sie unterscheiden sich von allen anderen Säugetieren jedoch bereits durch die Nutzung des Feuers. Das Verbrennen von Holz ist eine Methode der Überschreitung zeitgleicher Energieströme durch die Mobilisierung von Beständen; andererseits verändert das kontrollierte Abbrennen trockener Vegetation die Landbedeckung und macht die betreffenden Regionen für die Jagd zugänglicher ((Goudsblom, 1992)).

Kennzeichnend für agrarische Gesellschaften, um der Argumentation von Sieferle zu folgen, ist ein Energieregime der „aktiven Nutzung der Sonnenenergie“. Ihre Solarenergienutzung ist insoweit aktiv, als sie mit Biotechnologien und mechanischen Vorrichtungen in den Transformationsprozess der Sonnenenergie eingreifen. Die biotechnologische Transformation terrestrischer Ökosysteme ist von größter Bedeutung: Agrargesellschaften roden Wälder, schaffen Agro-Ökosysteme, züchten neue Spezies und trachten danach, andere Spezies auszulöschen. Ihre Kernstrategie ist die Monopolisierung der Fläche (und der entsprechenden Sonneneinstrahlung) für Organismen mit hohem Nutzen für den Menschen. Mechanische Vorrichtungen und Geräte andererseits (wie das Segelboot oder die Wassermühle) transformieren **die als Wind oder fließendes Wasser auftretende Sonnenenergie** in eine Bewegung, die von Menschen genutzt werden kann.

Agrargesellschaften haben wohl stets um die empfindliche Balance zwischen Bevölkerungswachstum, Agrartechnik, der zur Aufrechterhaltung der Produktivität der Agro-Ökosysteme notwendigen Arbeitskräfte und Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit kämpfen müssen – und waren dabei unterschiedlich erfolgreich ((Netting, 1981), (Netting, 1993), (Vasey, 1992)). Agrarische Zivilisationen waren immer gefährdet, am häufigsten durch eine Kombination technischer und politischer Abhängigkeiten und infolge der Fluktuationen natürlicher Systeme. So führten beispielsweise die Bewässerungstechniken im antiken Mesopotamien allmählich zu einer Degradation der Böden und zwangen die Bauern zunächst, den Weizenanbau zugunsten der salztoleranten Gerste und später den Pflanzenanbau vollständig aufzugeben, und im Mittelalter verloren Bauern in den Niederlanden den Kampf gegen die Sanddünen. Dennoch hatte das agrarische sozioökologische Regime in vielen Teilen der Welt mehrere Tausend Jahre Bestand und besteht auch heute noch fort.

Das gegenwärtig vorherrschende industrielle sozioökologische Regime besteht erst seit dreihundert Jahren und beruht auf der Nutzung fossiler Brennstoffe. Seine Nachhaltigkeit scheint nicht nur durch die Endlichkeit seiner Energieressourcenbasis, sondern auch durch die Transformationsprozesse beschränkt zu sein, die es weltweit in verschiedenen lebenserhaltenden natürlichen Systemen auslöst. Heutzutage liefert die Forschung des globalen Wandels hinreichend Belege dafür, dass durch Menschen ausgelöste wesentliche Veränderungen auf jeder räumlichen Skala – von der lokalen bis zur globalen Ebene – anzutreffen sind und das System Erde in zunehmendem Tempo verändern ((Schellnhuber, 1999), (Turner et al., 1990)). Konsequenterweise muss sich das sozioökologische Regime in dem Maße verändern, wie es seine natürliche Basis erodiert. In dieser Situation kann Nachhaltigkeit beinhalten, diesen Übergang innerhalb eines Korridors einer akzeptablen Lebensqualität für gegenwärtige und künftige Menschengenerationen zu steuern. Das nachstehend beschriebene MEFA-Konzept (MEFA: *material and energy flow accounting*), auf das durchgängig in diesem Artikel Bezug genommen wird, ist unser Hauptwerkzeug für die Analyse und das Verständnis der Stoffwechselbeziehungen zwischen menschlichen Gesellschaften und ihren natürlichen Umgebungen, der Rückkopplungen, welche sowohl die sozialen als auch die natürlichen Systeme transformieren, und der biophysischen Beschränkungen der beteiligten Systeme.

## **Das MEFA-Konzept zur Beschreibung der Interaktionen zwischen Gesellschaft und Natur**

Aktuelle Ansätze zur Analyse der biophysischen Aspekte des Erdsystems (beispielsweise (Schellnhuber, 1999), (Schellnhuber and Wenzel, 1998)) lassen sich auf die Arbeit von Ökologen zurückführen (z.B. (Lotka, 1925), (Lindemann, 1942), (Odum, 1969)), die Ökosysteme mit Hilfe so genannter Compartment-Modelle konzeptualisierten. Bei diesen Modellen werden Ökosysteme durch die Definition von Compartments analysiert; das heißt, Black Boxes, welche definierte Inputs in Outputs transformieren, wobei sie internen Mechanismen folgen und von ihrer eigenen Struktur sowie vom Zustand aller übrigen Compartments des Systems abhängig sind. Die Ökosystemforschung ging hierbei so vor, dass sie die physischen Bestände innerhalb der Compartments und die Ströme zwischen ihnen sowie die Mechanismen analysierte, die diese Ströme steuern.<sup>8</sup>

Die Untersuchung der mit sozioökonomischen Aktivitäten verbundenen Stoff- und Energieströme auf ähnliche Weise wie „ein sozioökonomischer Stoffwechsel“ lässt sich mindestens so weit zurück verfolgen wie diese ökologische Forschungsstrategie (Übersichten siehe (Fischer-Kowalski, 1998), (Martinez-Alier, 1987)). Im aktuellen Kontext ist der Ansatz des sozioökonomischen Stoffwechsels attraktiv, da er es ermöglicht, die biophysischen Strukturen von Gesellschaften in einer Weise zu definieren, die mit den üblicherweise in der Systemökologie verwendeten Compartment-Modellen kompatibel ist ((Haberl, 2001)). Das heißt, der Stoffwechselansatz ermöglicht es, biophysische Aspekte einer Gesellschaft zu analysieren, als handele es sich um ein Ökosystem-Compartment, wobei man die materiellen Bestände wie auch die Ströme zwischen den biophysischen Strukturen der Gesellschaft und dem Rest der natürlichen Welt betrachtet. Im Großen und Ganzen lassen sich dieselben Konzepte und Methoden auf soziale und natürliche Systeme anwenden.

Abb. 1.2 Biophysische Dimensionen sozialer Systeme

Die in Abb. 1.2 dargestellten Bestände und Ströme liefern eine biophysische Beschreibung einer Gesellschaft analog zu einem Ökosystem, und die Wechselbeziehungen zwischen Beständen und Strömen werden – innerhalb eines bestimmten Bereichs – von natürlichen Prozessen bestimmt. Eine Beschreibung dieser Parameter ist bei der Analyse der Wechselbeziehungen und wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Gesellschaften und ihrer natürlichen (und sozialen) Umwelt von Nutzen.

---

<sup>8</sup> Die aktuelle Forschung zum Thema globaler Kohlenstoffkreislauf – einem wichtigen Aspekt der Erdsystemanalyse – verfährt nach wie vor auf dieselbe Weise (z.B. (Houghton and Skole, 1990), (Houghton, 1995)).

Als Instrument der sozialwissenschaftlichen Analyse ist dies unüblich, aber dennoch nicht neu. In der Anthropologie beispielsweise gibt es eine lange Tradition der Analyse der Beziehung zwischen einfachen Gesellschaften und ihrer natürlichen Umwelt durch die Verfolgung von Energieströmen (beispielsweise (White, 1943), (Rappaport, 1971)). Was die komplexen modernen Gesellschaften angeht, so lässt sich dieser Ansatz bis zu den frühen 1970er Jahren zurückverfolgen ((Ayres and Kneese, 1969), (Boulding, 1973)). Er wäre jedoch bei weitem nicht so attraktiv, wenn er lediglich eine biophysische Beschreibung lieferte. Was er darüber hinaus leistet, ist die Herstellung einer Beziehung zu dem mächtigsten kulturellen System der modernen Gesellschaft: der Wirtschaft.<sup>9</sup> Insbesondere strebt MEFA die Analyse biophysischer Aspekte der Gesellschaft in einer Weise an, die mit dem gebräuchlichsten und stärksten Tool für die gesellschaftliche Selbstbeobachtung, der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, kompatibel ist.

Durch diese „zweifache Kompatibilität“ begründet dieser Ansatz eine Verbindung zwischen den sozioökonomischen Variablen einerseits und den biophysischen Mustern und Prozessen andererseits. Zugegebenermaßen ist das MEFA-Konzept ein noch unfertiger Ansatz. Er zielt sehr wohl darauf ab, eine vollständige systematische Rechnung sämtlicher unter Abb. 1.2 dargestellter Variablen (und der implizierten Prozesse) und ihre theoretische Integration zu liefern. Bisher existiert lediglich ein soziometabolisches Modell zur Beschreibung von Stoff- und Energieströmen (siehe Abb. 1.3).

Abb. 1.3 Die biophysischen Strukturen der Gesellschaft, gleichzeitig betrachtet als Ökosystem-Compartment und als strukturell gekoppelt mit den symbolischen Aspekten der Gesellschaft

Ein weiteres in Abb. 1.3 dargestelltes Beziehungsgeflecht dreht sich um Territoriums- und Landnutzung als eine der größten sozioökonomischen Umweltbelastungen und treibenden Kräfte des globalen Wandels ((Meyer and Turner, 1994), (Vitousek, 1992)). Wir haben dieses Beziehungsgeflecht unter der Überschrift „Kolonisierung terrestrischer Ökosysteme“ ((Fischer-Kowalski and Haberl, 1998), (Haberl et al., 2001), (Krausmann et al., 2003)) theoretisch dargestellt.

Während sich der sozioökonomische Metabolismus auf den Energie- und Stoffaustausch zwischen sozialen und natürlichen Systemen bezieht, bezieht sich Kolonisierung auf die

---

<sup>9</sup> Es mag unüblich erscheinen, die Wirtschaft als „kulturelles System“ zu bezeichnen. Um diese Definition zu rechtfertigen, argumentieren wir wie folgt: Unser Ausgangspunkt ist die Unterscheidung zwischen einem „natürlichen“ und einem „kulturellen“ Kausalitätsbereich (Siehe Abb. 1.1). Folgen wir Luhmanns Darlegung der Teilsysteme der Gesellschaft, handelt die Wirtschaft mit dem Medium Geld, einem symbolischen Instrument, das einen Wert darstellt. Während Vertreter der klassischen „politischen Ökonomie“-Theorie (Smith, Ricardo, Marx) ihre Theorien noch auf „hybride“ Weise formulierten, indem sie sich gleichermaßen auf physische und monetäre Einheiten bezogen, befreite sich die Wirtschaftswissenschaft des 20. Jahrhunderts zunehmend von einer physischen Referenz. Dieser Wechsel hat sich scheinbar nicht nur auf der Ebene des wissenschaftlichen Diskurses, sondern auch auf der Ebene der entsprechenden „Realität“ vollzogen, wo finanzielle Phänomene zunehmend von jedweden physischen Prozess abgekoppelt sind.

vorsätzlichen Eingriffe der Gesellschaft in natürliche Systeme, um deren Zustand so zu gestalten und aufrechtzuerhalten, dass er für die Gesellschaft nützlicher ist ((Fischer-Kowalski and Weisz, 1999)). Folglich bezieht sich Kolonisierung in erster Linie auf die menschliche Arbeitskraft und auf die Informationen, Technologien und Fertigkeiten, welche die Arbeit effektiv machen. Im Rahmen des MEFA-Ansatzes wurde dieses theoretische Konzept bei der Beschreibung der Landnutzung praktisch umgesetzt. Sozioökonomische Landnutzung kann man mit Veränderungen der Ökosystemmuster und –prozesse in Beziehung setzen. Die Auswirkung der Landnutzung lässt sich messen, indem man diejenigen Ökosystemmuster und –prozesse, welche ohne menschliches Eingreifen zu erwarten wären, mit denjenigen vergleicht, die beim Vorhandensein von Eingriffen festzustellen sind. Ein Beispiel für diesen Ansatz ist die Berechnung der globalen gesellschaftlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion („human appropriation of net primary production“ – HANPP) ((Vitousek et al., 1986)).

Einige andere Teile des MEFA-Konzepts, wie in Abb. 1.3 dargestellt, sind noch sehr unscharf. Einer dieser noch unentwickelten Bereiche bezieht sich auf die Bevölkerung, ihre Reproduktion und Zeitnutzung. Ein weiterer befasst sich mit Wasserverfügbarkeit und -nutzung. MEFA liefert durchaus einen konsistenten begrifflichen Rahmen für die Behandlung dieser Fragen und ihre Inbeziehungsetzung zu den übrigen Prozessen, aber von der Bereitstellung eines umfassenden, analytischen und empirischen Forschungskomplexes sind wir noch ein gutes Stück entfernt. Unter ähnlichem Vorzeichen müssen wir einräumen, bisher weitgehend deskriptiv von statistischen Werkzeugen Gebrauch gemacht zu haben. Eindeutig kausale Modelle sowie Unsicherheitsschätzungen werden in Sachen Forschung einen nächsten Schritt darstellen.

### **8.5 Vier Schlüsselfragen – und ein Blick in die Zukunft**

Wir können vier übergreifende Fragen zu den Übergängen des gesellschaftlichen Stoff- und Energiemetabolismus formulieren, die wir dann mit Hilfe der vorstehend vorgestellten Konzepte und Erkenntnisse zu beantworten versuchen.

#### **Frage 1: Gibt es so etwas wie ein charakteristisches Stoffwechselprofil agrarischer Gesellschaften?**

Die einfachste Antwort ist: Ja, es gibt ein charakteristisches Profil und es unterscheidet sich, bezogen auf Energie- und Stoffeintrag pro Kopf, qualitativ und quantitativ deutlich von einem industriellen Profil. Eine etwas spitzfindigere Antwort lautet, dass diese Frage nicht ganz richtig gestellt ist. Ihre Formulierung suggeriert, dass agrarische Systeme in einem statischen Zustand existieren. Unsere Nachforschungen – sowohl durch Zeitreihenanalyse als auch durch entsprechende Interpretation von Querschnittsdaten – ergaben jedoch Entwicklungstrajektorien agrarischer Systeme. Im Gegensatz zu der weit verbreiteten Annahme, aber in großer Übereinstimmung mit einigen theoretisch fundierteren

Publikationen (wie die Ausführungen von Esther Boserup), stellten wir fest, dass das agrarische sozioökologische Regime ziemlich dynamisch ist.

Einer der für diese Dynamik verantwortlichen Hauptfaktoren ist wohl das Bevölkerungswachstum, das Innovationen bei den in der Landwirtschaft eingesetzten Produktionspraktiken und –technologien vorantreibt. Diese Produktionsinnovationen führen zu einer Erhöhung der Flächenproduktivität, häufig auf Kosten der Arbeitsproduktivität ((Boserup, 1965), (Netting, 1993), (Sieferle et al., 2006a)). Institutionelle Veränderungen (wie Landreformen, durch die größere Güter entstehen, die sich rationeller bewirtschaften lassen) können zu einem Rückgang überschüssiger Arbeitskräfte in der Landwirtschaft führen (und den Druck auf die verbleibenden Arbeitskräfte erhöhen) und es ermöglichen, dass ein größerer Überschuss an Arbeitskräften und landwirtschaftlichen Produkten in nicht landwirtschaftliche Aktivitäten investiert wird. Dies setzt das Vorhandensein einer Transportinfrastruktur (Häfen, Straßen) voraus, die es ermöglicht, Massengüter preisgünstig über längere Distanzen zu transportieren, sowie das Vorhandensein von Märkten und, zumindest auf lange Sicht, die Verfügbarkeit von Massenarbeitsplätzen außerhalb des landwirtschaftlichen Bereichs.<sup>10</sup> Während wir die Auffassung vertreten können, dass dieser Punkt in der Entwicklung agrarischer Systeme vielfach und vielerorts erreicht worden ist, war es nur in dem besonderen Falle Englands gegeben, dass eine neue Energiequelle nicht nur problemlos bereitstand<sup>11</sup>, sondern auch eine Chance darstellte, die man mangels Alternativen nicht außer acht lassen konnte.<sup>12</sup>

## **Frage 2: Was geschieht, wenn dieses sozioökologische Regime sich zu verändern beginnt? Wie verändern sich dadurch die betroffenen sozialen und natürlichen Systeme?**

Die Feststellungen aus einigen Fallstudien lassen darauf schließen, dass Regimewechsel sich nach einem bestimmten gemeinsamen formalen Muster vollziehen. Die methodologische Aufgabe bei der Analyse von Regimewechseln bzw. Übergängen wäre es dann, dieses Muster zu identifizieren und die relevanten Parameter zu benennen und zu quantifizieren. Formal lässt sich das Muster eines Übergangs wie folgt beschreiben:

Ein Übergang beginnt mit einer Art „steady state“, einer Art dynamischen Gleichgewichts oder (relativen) Balance. Dieses dynamische Gleichgewicht lässt sich durch Prozesse charakterisieren, bei denen Elemente, die eine systemimmanente Dynamik aufweisen oder durch positive Rückkopplungsschleifen miteinander verbunden sind, durch negative Rückkopplungen kompensiert werden, die Veränderungen über einen bestimmten Punkt

<sup>10</sup> Dies war womöglich eine der großen Herausforderungen des Römischen Reiches: Sofern die überschüssige Bevölkerung nicht in der Armee aufgefangen und (zumindest teilweise) auf Kosten besiegter Feinde ernährt werden konnte, war mit einer Bedrohung der politischen Stabilität durch die erwerbslose Plebs zu rechnen.

<sup>11</sup> Sieferle 2001, Diamond 2005, (Pomeranz, 2000).

<sup>12</sup> Damals gab es in der Umgebung von Bevölkerungszentren fast keine Wälder mehr, deshalb musste man Kohle verwenden – gleich, ob sie unangenehme Gerüche verbreitete oder nicht (Sieferle 2001).

hinaus verhindern. Da alle historischen Situationen natürlich überdeterminiert sind, besteht die Kunst der Formulierung des Begriffsmodells darin, nur wenige Kernelemente und Prozesse auszuwählen, die „dafür zuständig sind“, das System im Gleichgewicht zu halten.

Zu einem bestimmten Zeitpunkt entfallen eine oder mehrere dem „steady state“ immanente negative Rückkopplungen, und dadurch wird ein Übergangsprozess in Gang gesetzt; das heißt, ein plötzliches Wachstum oder Rückgang einer oder mehrerer kritischer Variablen über den Bereich hinaus, auf den sie zuvor beschränkt waren. Dies kennzeichnet die „Startphase“ eines Übergangs. In der „Beschleunigungsphase“ eines Übergangs ist ein dynamisches System nicht nur durch den Wegfall einer oder mehrerer negativer Rückkopplungsschleifen, die den Wandel blockieren, charakterisiert, sondern scheint von einer Art „Wachstumsmotor“ angetrieben zu werden; das heißt, ein geschlossener Kreislauf untereinander verbundener positiver Rückkopplungen, welche das System in bisher nicht bekannte Zustände treiben. Diese Phase wird eventuell nicht nur von einem solchen dynamischen Prozess, sondern von einer Folge oder einer Verknüpfung mehrerer solcher Prozesse aufrechterhalten, die einander auslösen oder verstärken, aber dennoch klar voneinander zu unterscheiden sind.<sup>13</sup> Schließlich kommt ein Übergang nicht nur durch die Ermüdung des Wachstumsmotors zum Stillstand, sondern auch durch die Bildung eines oder mehrerer neuer negativer Rückkopplungsprozesse, die ihn in einem neuen Gleichgewichtszustand halten.

Die Analyse von Übergängen bedeutet, diese positiven und negativen Rückkopplungsschleifen zu identifizieren und zu beschreiben und zu verstehen, wie einer oder mehrere Wachstumsmotoren funktionieren. Die Anwendung dieser Methodik bei der Analyse von Übergängen geht weit über die Identifizierung von Trends bei einigen wenigen Variablen und die Charakterisierung ihrer statistischen Eigenschaften hinaus. Der endgültige Test, ob die Schlüsseleigenschaften und ihre Verknüpfungen identifiziert wurden, wäre natürlich die Bildung eines formalen Modells dynamischer Systeme – noch weit entfernt von unserem jetzigen Stand. Bereits sehr nahe gekommen sind wir hingegen – und haben uns dem mit zahlreichen Fallstudien genähert – der Entwicklung eines konsistenten Begriffsmodells, das es uns ermöglichen würde, diese unterschiedlichen Fälle anhand eines gemeinsamen latenten Musters zu analysieren. Solange dieses Modell jedoch noch nicht intensiv getestet wurde, halten wir es noch immer für ziemlich spekulativ, insbesondere in Anbetracht der nur geringen Zahl der Variablen, die wir berücksichtigen konnten. Hier erwarten wir einige Irritation, insbesondere auf Seiten der Historiker und Sozialwissenschaftler, die es gewöhnt sind, auf die Komplexität jeder einzelnen realen Situation hinzuweisen, und wir würden bestimmt nicht behaupten, dass dieser Ansatz nicht sinnvoll sei oder durch einen reduktionistischen Modellierungsansatz wie der von uns präsentierte ersetzt werden könnte. Wir verfolgen ein anderes Ziel: Wir möchten einen bestimmten sozioökonomischen und sozioökologischen Prozess identifizieren, der sich in unterschiedlichen Größenordnungen und unter unterschiedlichen kontextuellen Bedingungen überall auf der Welt vielfach vollzogen

---

<sup>13</sup> Diese Vorstellung kommt natürlich der Theorie der „Kondratieff-Zyklen“ ((Wallerstein, 2000)) in der technologischen Entwicklung sehr nahe. Nach unserer Auffassung ist hingegen ein breiteres Variablenspektrum in die Dynamik jeder Phase einbezogen.

hat und immer noch vollzieht, und ihn so einfach wie möglich charakterisieren, um noch in der Lage zu sein, für jeden einzelnen Fall die Stufe festzustellen, auf der sich befindet, sowie die besondere, in dem generellen Muster enthaltene Dynamik, in die er einbezogen ist.

Indem wir Übergänge auf diese Art beschreiben, wollen wir nicht implizieren, dass sie einer geschlossenen oder unvermeidlichen Abfolge von Ereignissen folgen. Andererseits gibt es im Verlaufe jedes Übergangs mehrere Punkte, wo nach unserem Begriffsmodell exogene Faktoren oder Rahmenbedingungen ins Spiel kommen, welche die Sachlage ändern. Andererseits ist davon auszugehen, dass alle Variablen in komplexen Systemen auf nichtdeterministische, stochastische Weise zueinander in Beziehung stehen, und daher stets die Möglichkeit besteht, dass der Gang der Dinge einen anderen Verlauf nimmt. Und schließlich gibt es so viele relevante Variablen, welche wir in unserem Modell sämtlich ignorieren, dass uns das Auftreten stark abweichender Fälle nicht überraschen sollte.

### **Frage 3: Wie hängt der Übergang vom agrarischen zum industriellen Regime vom Weltkontext ab?**

Der historische Vergleich der Fälle England (Pionier) und Österreich (Nachzügler) lehrt uns, dass Nachzügler den Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft in viel kürzerer Zeit und mit weniger sozialen Härten und Umweltbelastungen vollziehen und einen vergleichbaren wirtschaftlichen Wohlstand erreichen können als das Pionierland Großbritannien. Doch gilt dies gleichermaßen für die aktuellen Entwicklungsländer? Ein offensichtlicher Unterschied liegt darin, dass sie ihre industrielle Transformation weniger auf die Ausbeutung eines landwirtschaftlichen Binnenüberschusses<sup>14</sup>, sondern mehr auf einen internationalen Finanzmarkt stützen. Die damit verbundenen Implikationen werden umfassend diskutiert, und die vorläufigen Schlussfolgerungen aus dieser Diskussion sind mit Sicherheit nicht eindeutig (siehe beispielsweise (Stiglitz, 2002)).

Produktionsstrukturen und Produkte, nicht nur in Form von Investitionen, sondern auch in Form von Rohstoffen, sind derzeit weitaus abhängiger von einem Weltmarkt, den die reichen industriellen Kernländer dominieren. Bei den von uns analysierten Ländern stießen wir auf zwei ganz unterschiedliche Muster. Eine Ländergruppe stützt sich auf den Abbau natürlicher Ressourcen und wird zu so genannten „extractive economies“ ((Bunker, 1984)). Dieses Muster scheint in Ländern vorzuherrschen, die aufgrund einer relativ kurzen Geschichte agrarischer Besiedlung nur eine geringe Bevölkerungsdichte aufweisen, aber gut ausgestattet sind mit natürlichen Ressourcen, wie Bodenschätze oder produktives Land. Eine zweite Ländergruppe - mit hoher Bevölkerungsdichte - entwickelt ein anderes Muster, das auf ihrer Fähigkeit beruht, billige angelegerte Arbeitskräfte oder Facharbeiter zu stellen: den so genannten „global sweatshop“ [globaler Ausbeuterbetrieb] ((Schor, 2005)). In beiden Fällen ist die Produktion exportorientiert und die Produkte werden andernorts konsumiert, während

---

<sup>14</sup> Wie es sowohl bei dem Vereinigten Königreich als auch bei Österreich und vermutlich auch bei viel späteren Fällen, wie Japan im letzten Quartal des 19. Jahrhunderts und der Sowjet-Union nach dem Ersten Weltkrieg, der Fall war.

die sozialen und Umweltkosten der Produktion sowie der Abbau der Ressourcen von dem jeweiligen Land zu tragen sind.

Es gibt ein weiteres kontextuelles Merkmal, das in der Vergangenheit relevant war und künftig womöglich noch an Bedeutung gewinnt: die Verfügbarkeit von Energie und weiteren mineralischen Ressourcen zu einem relativen günstigen Preis. Es wurde nachgewiesen, dass Perioden schnellen Wachstums der industriellen Kernländer meist auch Perioden sinkender (relativ) Energiepreise waren (Fouquet and Pearson, 1998; Pfister, 2003)). Darüber hinaus wurde in zahlreichen Publikationen nachgewiesen, welche Bedeutung in der Geschichte des europäischen Kolonialismus der Gewinnung und Sicherung problemlosen und preiswerten Zugangs zu Rohstoffen und anderen biophysischen Ressourcen beigemessen wurde (Bunker, 1996; Bunker and Ciccantell, 2003) – insbesondere denjenigen Rohstoffen, die für den Übergang zur Industriegesellschaft benötigt wurden. Solch ein Weltkontext und derartige Strategien stehen den heutigen Entwicklungsländern nicht mehr zur Verfügung. Ihre Übergangsphase koinzidiert mit derzeit - und höchstwahrscheinlich auch künftig - steigenden Energiepreisen. Ihr Übergang findet in einer Periode statt, in der die Knappheit zumindest einiger Rohstoffe bereits zu spüren ist, auch wenn sich dies in den aktuellen Preisniveaus noch nicht widerspiegelt. Diese kontextuellen Variablen waren leider nicht Gegenstand unserer Analyse, wir werden sie jedoch bei der Betrachtung künftiger Szenarios berücksichtigen.

**Frage 4: Wie funktioniert das Wechselspiel zwischen unterschiedlichen Stufen der funktionalen Integration und räumlichen Skalen, und welche Rolle spielen Skaleninteraktionen bei sozioökologischen Regimewechseln?**

Fallstudien legen den Schluss nahe, dass mit dem Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft grundlegende Veränderungen in den Beziehungen zwischen Land und Stadt und folglich auch in den Interaktionen zwischen räumlichen Skalen verbunden sind. Beim agrarischen Regime ist der Transport großer Materialmengen äußerst kostspielig, infolgedessen sind die meisten Stoff- und Energieströme auf die lokale Ebene beschränkt. Der Transport größerer Materialmengen über größere Distanzen kann nur auf Wasserwegen erfolgen: auf Flüssen, Seen oder dem Meer. Lokale sozioökologische Systeme sind deshalb weitgehend in sich abgeschlossen und autark. Sie nehmen, wenn überhaupt, nur geringe Stoff- und Energieeinträge aus anderen Standorten auf und können nur einen kleinen Überschuss produzieren, der für die Versorgung größerer Ansiedlungen oder gar Städte mit einem nennenswerten Anteil nicht landwirtschaftlicher Bevölkerung eingesetzt werden kann.

Dies hat bedeutsame Konsequenzen für die sozialen und ökologischen Muster. Mit Bezug auf die sozioökonomischen Strukturen sind damit vor allen Dingen starke Einschränkungen hinsichtlich der Arbeitsteilung verbunden. Rund 80 - 90 % der Bevölkerung müssen in Land- und Forstwirtschaft beschäftigt sein, um einen Überschuss zu erwirtschaften, der die verbleibenden 10 - 20 % nicht landwirtschaftliche Bevölkerung mit Nahrungs- und Futtermitteln und weiteren Rohstoffen (wie z.B. Brennholz, Bauholz, Rohstoffe für Textilien

usw.) versorgt. Dies beschränkt das Wachstum sämtlicher nicht landwirtschaftlicher Sektoren, wie Bergbau, Fertigung und Dienstleistungen. Diese Einschränkung begrenzt zudem auch die Größe der Städte im Verhältnis zum agrarischen „Hinterland“, das für die Versorgung der Stadt mit ausreichend Ressourcen notwendig ist ((Sieferle et al., 2006b), (Fischer-Kowalski et al., 2004)). Für rurale Systeme impliziert dies, dass es an jedem Standort eine Mischung aus Ackerflächen, Weideland und Wäldern geben muss, da jede dieser drei grundlegenden Landnutzungen für die Versorgung mit bestimmten essenziellen und weitgehend nicht austauschbaren Ressourcen benötigt wird: Nahrungsmittel für Menschen von den Ackerflächen, Viehfutter von den Weideflächen und Wäldern sowie Holz aus den Wäldern. Das bedeutete, dass die kulturellen Landschaften agrarischer Gesellschaften vielfältig und fein strukturiert ((Sieferle, 1995)) und durch weitgehend geschlossene lokale Stoffkreisläufe gekennzeichnet waren ((Krausmann et al., 2003)) – es bedeutete allerdings auch, dass viel Land für Zwecke verwendet wurde, für die es, ökologisch und wirtschaftlich gesehen, nicht perfekt geeignet war.

Bereits zu Beginn des Übergangs zum industriellen Regime wurden diese engen Grenzen für den Massentransport gesprengt, zunächst durch Kanäle und Eisenbahnsysteme und später durch mit fossilen Brennstoffen betriebene Wasser- und automobiler Bodentransporttechnologien ((Grübler, 1998)). Sie bewirkten zusammen mit der reichlich verfügbaren Energie und der spektakulären Steigerung der Effizienz der landwirtschaftlichen Arbeit, wie vorstehend erörtert, eine Aufhebung dieser Einschränkungen und resultierten in einer vollständigen räumlichen Neuordnung der sozioökologischen Systeme. Derzeit wachsen die Transportmengen innerhalb der Nationalstaaten wie auch die Handelsvolumina (rein physisch gesehen) zwischen den Nationen rasant. In der industriellen Welt lebt der Großteil der Bevölkerung heutzutage in städtischen Ballungsgebieten; der Anteil der landwirtschaftlichen Bevölkerung hingegen ist auf historische Tiefstände von unter 5 % der Gesamtbevölkerung gesunken, was wiederum eine drastische Verstärkung der Spezialisierung und Arbeitsteilung ermöglicht. Der Urbanisierung sind im Wesentlichen keine Grenzen mehr gesetzt, und die Beförderung von Ressourcen, Waren, Menschen und Informationen wird in großem Maßstab organisiert. Die Kosten für den Transport von Gütern, Menschen und Informationen sinken, und die Transportgeschwindigkeit steigt – dadurch verändern sich die räumlichen Strukturen der gesellschaftlichen Organisation in raschem Tempo, und es kommen Massentransporte von Stoffen (einschließlich Kohlenstoff und Pflanzennährstoffe, wie Stickstoff, Phosphor, Kalium und so weiter) und Organismen zustande.

Folglich ist die Globalisierung nicht nur ein sozioökonomisches, sondern auch ein biophysisches Phänomen. Eine Analyse jeglicher Lokalität, jeglicher Region der Welt muss diese grundlegende materielle „Offenheit“ jedes sozioökologischen Systems berücksichtigen. Funktional gesehen wird jede Lokalität und jeder Prozess durch seine bzw. ihre Rolle in einem zunehmend integrierten globalen Netzwerk wechselseitiger Abhängigkeiten mitbestimmt. Dies ist nicht vollkommen neu – doch nie zuvor in der Geschichte hatte dieses globale Netzwerk so durchdringende Wirkung wie heute.

## Ein Blick in die Zukunft

Wie werden die Übergänge, die wir in diesem Artikel beschrieben haben, in Zukunft aussehen? Auf welche möglichen Szenarien lässt die von uns vorgestellte sozioökologische Perspektive schließen? Resultiert sie in Einschätzungen der Plausibilität oder Implausibilität künftiger, von den aus anderen Ansätzen abgeleiteten abweichenden Trajektorien? Nach unserer Auffassung ist das der Fall, und wir werden unsere Vorstellungen im Folgenden kurz skizzieren. Unsere empirischen Analysen legen insbesondere einige fundamentale Unterscheidungen hinsichtlich der Transitionsdynamik nahe, die eine Klassifizierung der Länder in drei große Kategorien ergeben: erstens der industrielle Kern, zweitens die Entwicklungsländer mit geringer Bevölkerungsdichte und drittens die Entwicklungsländer mit hoher Bevölkerungsdichte.

Unsere erste Kategorie, der *industrielle Kern*, umfasst diejenigen Länder, die den Übergang zum industriellen Regime bereits vollzogen haben oder sich zumindest in seinen letzten Stadien befinden. Innerhalb dieser Gruppe unterscheiden wir zwischen den Ländern der „Alten Welt“ und der „Neuen Welt“, da letztere in der Regel eine weitaus geringere Bevölkerungsdichte und einen viel höheren Verbrauch natürlicher Ressourcen haben (Tabelle 8.3). Gleich, welche Unterschiede die in diesen beiden Untergruppen versammelten Länder kennzeichnen: Sie haben sämtlich einen hohen Energie- und Materialverbrauch, und zwar sowohl unmittelbar als auch – verstärkt – mittelbar, ein hohes Pro-Kopf-Einkommen und hohe technische Effizienz in vielen wichtigen Produktionsprozessen. Eine dritte Untergruppe des industriellen Kerns bilden die Länder der ehemaligen Sowjet-Union und ihre Satelliten, die ebenfalls einen hohen Material- und Energieverbrauch haben. Ihre Bevölkerungsdichte ist (mit Ausnahme der osteuropäischen Länder) gering. Sie unterscheiden sich von den ersten beiden Untergruppen hinsichtlich des Pro-Kopf-Einkommens und der Effizienz, die beide viel niedriger liegen als in den anderen industriellen Kernländern. Die industriellen Kernländer vereinen derzeit rund 23 % der Weltbevölkerung auf sich (Tabelle 8.3); dieser Wert wird nach Bevölkerungsprognosen der Vereinten Nationen bis zum Jahr 2050 auf 16 % sinken.

Tabelle 8.3. Stoffwechselprofile der Weltregionen nach Entwicklungsstand und Bevölkerungsdichte für das Jahr 2000.

Die zweite Kategorie bilden die *Entwicklungsländer mit geringer Bevölkerungsdichte*, die sich bevölkerungsmäßig nahezu gleichmäßig auf Neue-Welt-Länder und afrikanische Länder verteilen. Sie befinden sich in einem frühen Stadium des Übergangs in das industrielle Regime. Zumindest die Neue-Welt-Länder in dieser Kategorie weisen bereits einen vergleichsweise hohen Energie- und Stoffnutzungslevel auf, obwohl ihr Pro-Kopf-Einkommen noch weitaus niedriger liegt als das des industriellen Kerns. Sie leisten ihren weiteren Vormarsch im Übergang zur Industriegesellschaft im Wesentlichen durch die Ausweitung der Nutzung natürlicher, und zwar sowohl biogener als auch mineralischer,

Ressourcen. Auf diese Länder entfallen derzeit 15 % der Weltbevölkerung; bis 2050 ist mit einem beträchtlichen Anstieg ihres Anteils (auf 20 %) zu rechnen.

Unsere dritte Kategorie bilden die *Entwicklungsländer mit hoher Bevölkerungsdichte*, von denen die meisten asiatische Länder der „Alten Welt“ sind (85 % der Bevölkerung in dieser Kategorie). Sie befinden sich häufig in einem noch früheren Stadium des Übergangs, haben noch einen großen landwirtschaftlichen Sektor, ein niedriges Niveau der Pro-Kopf-Energie- und Stoffnutzung, geringes Einkommen und einen großen, häufig sehr qualifizierten Arbeitskräftepool, auf den sich ihr Fortschritt auf dem Weg zur industriellen Transition stützt. Auf diese Länder entfallen bereits jetzt 60 % der Weltbevölkerung, mit einem weiteren Anstieg ihres Anteils in der Zukunft ist zu rechnen.

Welches wäre die ausschlaggebende Variable, diejenige Variable, die den Verlauf der Regimewechsel dieser Länder am stärksten beeinflusst? Für das agrarische Regime wäre dies zweifelsohne die Größe mal Produktivität ihres Territoriums gewesen – ein gewichtetes Flächenmaß. Unter den gegenwärtigen Bedingungen im Übergang zum industriellen Regime meinen wir, dass der (relative) Preis der Energie eine entscheidende Rolle spielen wird, und wir werden qualitativ zwischen *Hochenergiepreis*-Szenarios und *Niedrigenergiepreis*-Szenarios unterscheiden, ohne eine explizit quantitative Trennlinie zu ziehen.

Wir möchten uns nun in ein gedachtes Experiment über das Schicksal unserer drei Länderkategorien unter diesen unterschiedlichen Annahmen begeben. Für das *Niedrigenergiepreis*-Szenario würden wir eine Zeitlang eine Fortsetzung der aktuellen Trends erwarten. Der *industrielle Kern* könnte seinen Energie- und Materialverbrauch auf hohem Niveau stabilisieren und würde sich wahrscheinlich weiterhin bescheidener Wirtschaftswachstumsraten erfreuen. In den *Entwicklungsländern mit geringer Bevölkerungsdichte* würden wir eine explosive Steigerung des Ressourcenabbaus und der Ressourcennutzung und insbesondere einen drastischen Anstieg des Energieverbrauchs erwarten. Diese Länder würden weiter den schnell wachsenden Rohstoffbedarf der Welt decken und könnten in gewissem Umfang von dieser Trajektorie wirtschaftlich profitieren. In den *Entwicklungsländern mit hoher Bevölkerungsdichte* würde sich das rasche, arbeitskraftintensive Wirtschaftswachstum fortsetzen, in dessen Folge sie unter drastisch zunehmender Umweltverschmutzung leiden könnten. Diese Länder können, wie wir bereits gesehen haben, durch eine geringe Energie- und Materialintensität auf einer Pro-Kopf-Basis gekennzeichnet sein, aber ihre Energie- und Materialintensität pro Flächeneinheit ist aufgrund ihrer hohen Bevölkerungsdichte bereits heute sehr hoch (Tabelle 8.3). Weitere Steigerungen der Pro-Kopf-Raten der Ressourcennutzung, gekoppelt mit fortgesetztem Bevölkerungswachstum, werden zwangsläufig zu wachsender lokaler und regionaler Umweltverschmutzung führen. In Ermangelung durchgreifender Umweltschutzmaßnahmen könnten diese Probleme sogar katastrophale Ausmaße annehmen. Global ist davon auszugehen, dass dieses *Niedrigenergiepreis*-Szenario zu einer raschen Erschöpfung der Ressourcen, einem rapiden globalen Umweltwandel und insbesondere zu einem schnellen Klimawandel führen wird.

Im Falle des *Hochenergiepreis*-Szenarios würden wir davon ausgehen, dass der *industrielle Kern* durch die Nutzung von Effizienz-, Einsparungs- und Externalisierungspotenzialen seinen Energie- und Materialverbrauch reduzieren und möglicherweise mit zu schwachem Wirtschaftswachstum zu kämpfen haben wird. Die *Entwicklungsländer mit geringer Bevölkerungsdichte* wären wahrscheinlich am besten dran, denn sie könnten ihre großen produktiven Landflächen zur Produktion von Biomasse zur Energieerzeugung für ihren eigenen Verbrauch und vermutlich auch für den Export in andere Regionen nutzen. Diese Länder würden den Abbau ihrer mineralischen Ressourcen – wenn auch womöglich in geringerem Tempo – fortsetzen, während sie ihre eigenen industriellen Kapazitäten aufbauen. Die *Entwicklungsländer mit hoher Bevölkerungsdichte*, auf die mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung entfällt, könnten in diesem Szenario wirklich ernsthafte Probleme bekommen. Die Knappheit erschwinglicher Energie und mineralischer Ressourcen könnte ihr Wirtschaftswachstum hemmen und schwere politische Kämpfe um Ressourcen und soziale Verteilungskämpfe auslösen. Diese Konflikte könnten sich sogar zu globalen militärischen Bedrohungen ausweiten. Dieses zweite Szenario könnte sich also, auch wenn es hinsichtlich der Umweltbelastungen weniger düstere Aussichten bietet, in Bezug auf politische Stabilität und soziale Gleichheit als katastrophal erweisen.

Gibt es Alternativen zu Scylla und Charybdis? Ein guter Mittelweg lässt sich nicht ausmachen: Legt man Energiepreise mittlerer Höhe zugrunde, verbinden sich eher die Risiken beider Alternativen zu einer bitteren Mischung. Auch eine Haltung nach dem Motto „Abwarten und Tee trinken“ scheint nicht sehr vielversprechend. Es mag wohl sein, dass IT-Technologien einen geringeren Energiebedarf haben als konventionelle industrielle Technologien, doch sie sind von teilweise sehr seltenen Mineralen abhängig. Außerdem werden IT-Technologien zusätzlich – und nicht als Alternative – zu ressourcen-intensiven Sektoren wie Wohnung, Transport und Lebensmittelversorgung implementiert. Sie können die Fortsetzung weniger ressourcen-intensiven Wachstums („relative Entkopplung“) in denjenigen Industrieländern ermöglichen, die bereits die ressourcen-intensiven Versorgungssysteme für diese Bedarfskategorien aufgebaut haben, doch sie bieten Ländern, welche sich in einem Frühstadium der Industrialisierung befinden, keinen alternativen Entwicklungspfad. Während steigende Ölpreise natürlich alternativen Energiequellen den Weg bereiten, „sitzt“ der *industrielle Kern* auf einer fragwürdigen Infrastruktur für Transport, Energie- und Wasserversorgung, Wohnungswesen usw., welche Jahr für Jahr ungeheure Energie- und Materialmengen verschlingt und nur in kleinen Schritten verändert werden kann. Wir sind der Auffassung, dass ein Weg zu verstärkt nachhaltigen Lösungen nur mit einer Vision und entschiedenem politischem Handeln gefunden werden kann, welche zumindest folgende Punkte beinhalten:

- Eine erneuerte globale Verpflichtung zur Klimapolitik, die zu einer Stabilisierung und nachfolgenden Reduktion der Verbrennung fossiler Energieträger führt, bevor diese durch Ressourcenknappheit erzwungen wird. Dies erfordert die Implementierung eines neuartigen industriellen Energiesystems, basierend auf neuen, effizienten

Technologien, die in Abhängigkeit von den jeweiligen Besonderheiten in Bezug auf Bevölkerungsdichte, Klima usw. in den verschiedenen Weltregionen ganz unterschiedlich aussehen können. Hier können sowohl Energieeinsparung als auch neuartige erneuerbare Energien, wie Solarwärme und -strom, geothermale und Windenergie, Wasserkraft und die Kaskadennutzung von Biomasse, eine Rolle spielen, obwohl keine dieser Technologien allein die Patentlösung darstellen wird.

- Ein Lernprozess im industriellen Kern, der auf die Akzeptanz der Selbstbeschränkung bei der Ressourcennutzung sowie darauf abzielt, Verteilungsprobleme anders als durch schnelles Wirtschaftswachstum zu lösen. Dies könnte gar nicht so unattraktiv sein. Man könnte sogar argumentieren, dass mehr Verfügungsfreiheit über die eigene Zeit und verstärktes Eingebettetsein in ein Netz sinnvoller sozialer Beziehungen eine höhere Lebensqualität darstellen als der wachsende Konsum materieller Güter.
- Ein konzertiertes Bemühen um die Erfindung, Planung, Entwicklung und Erprobung neuartiger Infrastruktursysteme, die dem Rest der Welt nicht zwangsläufig eine Struktur aufzwingen, welche Jahr für Jahr große Energie- und Stoffströme verschlingt. Der dringendste Bedarf für ein solches Vorhaben besteht mit Sicherheit in den Entwicklungsländern mit hoher Bevölkerungsdichte; dort gibt es womöglich noch das vielen Ländern des industriellen Kerns abhanden gekommene kollektive Verantwortungsbewusstsein und die erforderliche Entscheidungsfähigkeit, die Voraussetzung sind, um mit solch einem Bemühen Erfolg zu haben.
- Eine globale Verantwortung für die letzten Flächen unberührter Wildnis und Maßnahmen zum Schutz vor ihrer endgültigen Zerstörung. Darüber hinaus sind Maßnahmen notwendig, um die Biodiversität auch in vom Menschen dominierten Gebieten aufrechtzuerhalten und zu pflegen, so dass das Welterbe der biologischen Evolution auch künftigen Generationen erhalten bleibt.

Diese Anforderungen an die begrenzte Fähigkeit der Menschheit, ihre Zukunft bewusst zu gestalten, mögen zu anspruchsvoll oder gar illusionär sein. Doch wir hoffen, dass es uns mit diesem Artikel gelungen ist, zu vermitteln, dass unser vergangener Weg auch nicht sehr wahrscheinlich gewesen ist. Er lässt ebenfalls den Schluss zu, dass es Zukünfte gibt, die unmöglich sind – doch das Spektrum möglicher Zukünfte ist weit gesteckt, und es ist ja wohl der Mühe wert, ernsthaft solche Bedingungen anzustreben, die weniger düstere Aussichten versprechen bzw. gar den einen oder anderen hellen Streifen am Horizont erkennen lassen.

#### References Cited

Alroy,J, 2001, A Multispecies Overkill Simulation of the End-Pleistocene Megafaunal Mass Extinction: *Science*, v. 292, p. 1893-1896.

Ayres,RU, A V Kneese, 1969, Production, Consumption and Externalities: *American Economic Review*, v. 59, p. 282-297.

Berkes,F, C Folke, 1998, Linking social and ecological systems for resilience and sustainability, in F Berkes and C Folke (eds), *Linking Social and Ecological Systems*.

Erschienen in: Gleich, Arnim von und: Stefan Gößling-Reisemann: *Industrial Ecology: Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen*. Wiesbaden:Vieweg+Teubner Verlag, 2008, p. 181-201

Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience: Cambridge, Cambridge University Press, p. 1-26.

Boserup,E, 1965, The conditions of agricultural growth. The economics of agrarian change under population pressure, Chicago, Aldine/Earthscan.

Boulding,KE, 1973, The Economics of the Coming Spaceship Earth, in HE Daly (ed), *Towards a Steady State Economy*: San Francisco, CA, Freeman, p. 3-14.

Boyden,SV, 1992, *Biohistory: The Interplay Between Human Society and the Biosphere - Past and Present*, Paris, Casterton Hall, Park Ridge, New Jersey, UNESCO and Parthenon Publishing Group.

Bunker,SG, 1984, Modes of Extraction, Unequal Exchange, and the Progressive Underdevelopment of an Extreme Periphery: The Brazilian Amazon, 1600-1980: *American Journal of Sociology*, v. 89, p. 1017-1064.

Bunker,SG, 1996, Raw Material and the Global Economy: Oversights and Distortions in *Industrial Ecology: Society and Natural Resources*, v. 9, p. 419-429.

Bunker,SG, P S Ciccantell, 2003, Creating Hegemony via Raw Material Access. Strategies in Holland and Japan: Review.*A Journal of the Fernand Braudel Center for the Study of Economic, Historical Systems, and Civilizations*, v. 26, p. 339-380.

Diamond, JM, 1997, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, New York, London, W.W. Norton & Company.

Fischer-Kowalski,M, 1998, Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I: 1860-1970: *Journal of Industrial Ecology*, v. 2, p. 61-78.

Fischer-Kowalski,M, H Haberl, 1998, Sustainable Development: Socio-Economic Metabolism and Colonization of Nature: *International Social Science Journal*, v. 158, p. 573-587.

Fischer-Kowalski,M, H Haberl, 2007, *Socioecological transitions and global change: Trajectories of Social Metabolism and Land Use*, Cheltenham, UK, Northampton, USA, Edward Elgar, p. -in print.

Fischer-Kowalski,M, F Krausmann, B Smetschka, 2004, Modelling scenarios of transport across history from a socio-metabolic perspective: Review.*Fernand Braudel Center*, v. 27, p. 307-342.

Fischer-Kowalski,M, H Weisz, 1999, Society as Hybrid Between Material and Symbolic Realms. Toward a Theoretical Framework of Society-Nature Interaction: *Advances in Human Ecology*, v. 8, p. 215-251.

Fouquet,R, P J G Pearson, 1998, A Thousand Years of Energy Use in the United Kingdom: *The Energy Journal*, v. 19, p. 1-41.

Gellner,E, 1988, *Plough, Sword and Book*, London, Collins Harvill.

Giddens,A, 1989, *Sociology*, Cambridge, Polity Press.

Erschienen in: Gleich, Arnim von und: Stefan Gößling-Reisemann: *Industrial Ecology: Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen*. Wiesbaden:Vieweg+Teubner Verlag, 2008, p. 181-201

Godelier,M, 1986, *The Mental and the Material: Thought Economy and Society*, London, Blackwell Verso.

Goudsblom,J, 1992, *Fire and Civilization*, London, Penguin Books, p. -247.

Goudsblom,J, E Jones, S Mennell, 1996, *The Course of Human History. Economic Growth, Social Process, and Civilization.*, Armonk, N.Y. and London, M.E.Sharpe.

Grayson,DK, J Alroy, R Slaughter, J Skulan, 2001, Did Human Hunting Cause Mass Extinction?: *Science*, v. 294, p. 1459-1462.

Grübler,A, 1998, *Technology and Global Change*, Cambridge, Cambridge University Press.

Haberl,H, 2001, *The Energetic Metabolism of Societies, Part I: Accounting Concepts: Journal of Industrial Ecology*, v. 5, p. 11-33.

Haberl,H, K-H Erb, F Krausmann, W Loibl, N B Schulz, H Weisz, 2001, Changes in Ecosystem Processes Induced by Land Use: Human Appropriation of Net Primary Production and Its Influence on Standing Crop in Austria: *Global Biogeochemical Cycles*, v. 15, p. 929-942.

Harris,M, 1987, *Cultural Anthropology*, New York, Harper & Collins.

Houghton,RA, 1995, Land-use change and the carbon cycle: *Global Change Biology*, v. 1, p. 275-287.

Houghton,RA, D L Skole, 1990, Carbon, in BLI Turner, WC Clark, RW Kates, JF Richards, JT Mathews, and WB Meyer (eds), *The Earth as Transformed by Human Action, Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*: Cambridge, Cambridge University Press, p. 393-408.

Krausmann,F, H Haberl, N B Schulz, K-H Erb, E Darge, V Gaube, 2003, Land-use change and socio-economic metabolism in Austria. Part I: driving forces of land-use change: 1950-1995: *Land Use Policy*, v. 20, p. 1-20.

Lindemann,RL, 1942, The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology: *Ecology*, v. 23, p. 399-418.

Lotka,AJ, 1925, *Elements of Physical Biology*, Baltimore, Williams & Wilkins Company.

Luhmann,N, 1984, *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*, Frankfurt a.M., Suhrkamp.

Luhmann,N, 1997, *Die Gesellschaft der Gesellschaft*, Frankfurt a.M., Suhrkamp.

Martinez-Alier,J, 1987, *Ecological Economics. Energy, Environment and Society*, Oxford, Blackwell.

Meyer,WB, B L I Turner, 1994, *Changes in Land Use and Land Cover, A Global Perspective*, Cambridge, Cambridge University Press.

Erschienen in: Gleich, Arnim von und: Stefan Gößling-Reisemann: *Industrial Ecology: Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen*. Wiesbaden:Vieweg+Teubner Verlag, 2008, p. 181-201

Netting, RM, 1981, *Balancing on an Alp. Ecological change and continuity in a Swiss mountain community*, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney, Cambridge University Press.

Netting, RM, 1993, *Smallholders, Householders. Farm Families and the Ecology of Intensive, Sustainable Agriculture*, Stanford, Stanford University Press.

Odum, EP, 1969, The strategy of ecosystem development. An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature: *Science*, v. 164, p. 262-270.

Pfister, C, 2003, Energiepreis und Umweltbelastung. Zum Stand der Diskussion über das "1950er Syndrom", in W Siemann (ed), *Umweltgeschichte Themen und Perspektiven*: München, C.H. Beck, p. 61-86.

Pomeranz, K, 2000, *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*, Princeton, Princeton University Press, p. -382.

Rappaport, RA, 1971, The Flow of Energy in an Agricultural Society: *Scientific American*, v. 224, p. 117-132.

Schellnhuber, HJ, 1999, 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution: *Nature*, v. 402 (Suppl.), p. C19-C23.

Schellnhuber, HJ, V Wenzel, 1998, *Earth System Analysis. Integrating Science for Sustainability*, Berlin, Heidelberg, Springer.

Schor, JB, 2005, Prices and quantities: Unsustainable consumption and the global economy: *Ecological Economics*, v. 55, p. 309-320.

Sieferle, RP, 1995, Naturlandschaft, Kulturlandschaft, Industrielandschaft: *COMPARATIV*, p. 40-65.

Sieferle, RP, 1997a, Kulturelle Evolution des Gesellschaft-Natur-Verhältnisses, in M Fischer-Kowalski, H Haberl, W Hüttler, H Payer, H Schandl, V Winiwarter, and H Zangerl-Weisz (eds), *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur. Ein Versuch in Sozialer Ökologie*: Amsterdam, Gordon & Breach Fakultas, p. 37-53.

Sieferle, RP, 1997b, *Rückblick auf die Natur: Eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt*, München, Luchterhand.

Sieferle, RP, 2003, Sustainability in a World History Perspective, in B Benzing (ed), *Exploitation and Overexploitation in Societies Past and Present. IUAES-Intercongress 2001* Goettingen: Münster, LIT Publishing House, p. 123-142.

Sieferle, RP, F Krausmann, H Schandl, V Winiwarter. Das Ende der Fläche. Zum Sozialen Metabolismus der Industrialisierung. -forthcoming. 2006a. Wien, Böhlau. 25-8-2004a. Ref Type: Unpublished Work

Sieferle, RP, F Krausmann, H Schandl, V Winiwarter, 2006b, Das Ende der Fläche. Zum Sozialen Metabolismus der Industrialisierung, Köln, Böhlau, p. -370.

Erschienen in: Gleich, Arnim von und: Stefan Gößling-Reisemann: *Industrial Ecology: Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen*. Wiesbaden:Vieweg+Teubner Verlag, 2008, p. 181-201

Stiglitz,JE, 2002, *Globalization and its Discontents*, New York, WW Norton & Co.

Turner,BLI, W C Clark, R W Kates, J F Richards, J T Mathews, W B Meyer, 1990, *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge, Cambridge University Press.

Vasey,DE, 1992, *An Ecological History of Agriculture, 10 000 B.C.- A.D 10 000*, Ames, Iowa State University Press.

Vitousek,PM, 1992, *Global Environmental Change: An Introduction: Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 23, p. 1-14.

Vitousek,PM, P R Ehrlich, A H Ehrlich, P A Matson, 1986, *Human Appropriation of the Products of Photosynthesis: BioScience*, v. 36, p. 363-373.

Walker,PMB (ed.), 1989, *Chambers Biology Dictionary*, Cambridge, Chambers.

Wallerstein,I, 2000, *Globalisation or the Age of Transition. A Long-Term View of the Trajectory of the World System: International Sociology*, v. 15, p. 249-265.

Weisz,H, M Fischer-Kowalski, C M Grünbühel, H Haberl, F Krausmann, V Winiwarter, 2001, *Global Environmental Change and Historical Transitions: Innovation - The European Journal of Social Sciences*, v. 14, p. 117-142.

White,LA, 1943, *Energy and the Evolution of Culture: American Anthropologist*, v. 45, p. 335-356.