

S O C I A L E C O L O G Y W O R K I N G P A P E R 1 1 7

Fridolin Krausmann • Marina Fischer-Kowalski

**Gesellschaftliche Naturverhältnisse:
Energiequellen und die globale Transformation
des gesellschaftlichen Stoffwechsels**

Fridolin Krausmann, Marina Fischer-Kowalski (2010):
Gesellschaftliche Naturverhältnisse: Energiequellen und die globale
Transformation des gesellschaftlichen Stoffwechsels

Social Ecology Working Paper 117, Vienna

Social Ecology Working Paper 117
Vienna, January 2010

ISSN 1726-3816

Institute of Social Ecology
IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies (Klagenfurt, Graz, Vienna)
Klagenfurt University
Schottenfeldgasse 29
A-1070 Vienna
+43-(0)1-522 40 00-403
www.uni-klu.ac.at/socec
iff.socec@uni-klu.ac.at

© 2010 by IFF – Social Ecology

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	1
II. Naturverhältnisse vor der Industriellen Revolution – Der Stoffwechsel agrarischer Gesellschaften:.....	2
III. Die Kohle-Phase der metabolischen Transition, oder: Die englische Erfolgsstory ab Mitte des 17. Jahrhunderts	6
IV. Das Erdöl und das Auto, oder: die Erfolgsstory der USA ab 1900.....	11
V. Was nun? Die Grenzen der Dynamik industrieller Transformation seit den 1970er Jahren. Gegenwart und Zukünfte.....	17

*„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“
(Maurice Godelier 1990).¹*

I. Einleitung

Wir produzieren hier eine neuerliche Erzählung einer altbekannten Geschichte. Unsere Leistung besteht darin, die Knochen (und das Fleisch, soweit es die Länge des Aufsatzes zulässt) um ein neues Rückgrat zu arrangieren und damit eine neue Anatomie der altbekannten Geschichte zu rekonstruieren – eine Anatomie, die unserer Meinung nach aus guten Gründen, aber dennoch zu Unrecht, lange nicht erkannt wurde. Das neue Rückgrat, das wir einziehen, ist der gesellschaftliche Energiestoffwechsel. Er ist verantwortlich für die gesellschaftlichen Naturverhältnisse.

Was ist unter gesellschaftlichen Naturverhältnissen zu verstehen? Gesellschaftliche Naturverhältnisse umfassen eine materielle und eine symbolische Dimension; in diesem Beitrag steht die materielle Dimension im Vordergrund: Gesellschaft hat eine materielle Komponente (Bevölkerung, Nutztiere, Artefakte) und steht über diese in Wechselwirkung mit der natürlichen Umwelt. Gesellschaft verändert Natur, gezielt und unbeabsichtigt, und Veränderungen in der Natur zeigen Wirkung in der Gesellschaft. Für eine Beschreibung dieser Naturverhältnisse stützen wir uns auf die Konzepte des gesellschaftlichen Stoffwechsels und der Kolonisierung von Natur.² Das Konzept des Stoffwechsels stammt ursprünglich von Karl Marx – damit meinte er die Notwendigkeit des Menschen, in einem sozial organisierten und mit Arbeit verbundenen Prozess seinen Lebensunterhalt durch Austausch mit der Natur zu bewerkstelligen.³ Dieses Konzept wurde inzwischen ausdifferenziert, statistisch in Parallele zur volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung umgesetzt und historisch spezifiziert: Es ist nicht schlicht „der Mensch“, der mit seinem Stoffwechsel auf Natur angewiesen ist und auf sie einwirkt, sondern die jeweilige gesellschaftliche Produktions- und Konsumptionsweise ist es, die diesen Stoffwechsel qualitativ und quantitativ bestimmt. Energie ist eine bestimmende Dimension im Stoffwechsel einer Gesellschaft. Die Verfügbarkeit von Energie definiert die Naturverhältnisse in entscheidender Weise, als sie Möglichkeiten des Menschen, Natur zu verändern und Ressourcen zu entnehmen, zu transportieren und zu verarbeiten, begrenzt. Über wie viel Energie eine Gesellschaft verfügt und aus welchen Quellen, macht daher einen großen Unterschied – nicht nur für die Naturverhältnisse, sondern auch für die innergesellschaftlichen Verhältnisse. Diesbezüglich lassen sich in der bisherigen Menschheitsgeschichte mehrere große ‚sozialmetabolische Regimes‘ unterscheiden, zwischen denen es markante Übergänge gibt, die in der Regel als ‚Revolutionen‘ bezeichnet werden: die neolithische Revolution, die den Übergang vom

¹ Maurice Godelier, Natur, Arbeit, Geschichte. Zu einer universalgeschichtlichen Theorie der Wirtschaftsformen, Hamburg 1990, 32.

² Marina Fischer-Kowalski u.a. (Hg.), Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur, Amsterdam 1997; Peter Baccini/Paul H. Brunner, The metabolism of the anthroposphere, Berlin 1991.

³ Marina Fischer-Kowalski, Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I: 1860-1970, in: Journal of Industrial Ecology 2 (1998) H. 1, 61-78.

Regime des Jagens & Sammeln zur Agrargesellschaft markiert, und die industrielle Revolution, die den Übergang vom agrarischen zum industriellen Regime markiert.⁴ Das ist soweit nicht besonders neu - in unserem Beitrag, der sich infolge der gewählten Zeitperiode vor allem mit den agrarisch-industriellen Übergängen beschäftigt, werden wir zu zeigen versuchen, dass man unter der erweiterten Perspektive der Naturverhältnisse anderes sehen und verstehen kann, als wenn man dem üblichen Interpretationsmuster des technologischen Wandels folgt. Nimmt man nicht nur den handelnden Menschen und seine gesellschaftlichen Beziehungen in den Blick, sondern auch die naturalen Voraussetzungen und Wirkungen dieses Handelns, gewinnt man ein auch quantitativ beschreibbares Verständnis für die Bedingungen, Grenzen und kausalen Beziehungen, das davor bewahrt, Fortschritts- oder Verfallserzählungen aufzusitzen. Fortschritts- und Verfallserzählungen ist gemeinsam, dass sie zumindest implizit einem magischen, und nicht einem an den Naturwissenschaften erprobten realistischen, Naturverständnis folgen. Dem magischen Satz „mit Gottes Hilfe kann der Mensch Berge versetzen“ würde der Realist antworten: „Mag schon sein, aber er braucht dazu sicher ziemlich viel Energie“.

II. Naturverhältnisse vor der Industriellen Revolution – Der Stoffwechsel agrarischer Gesellschaften:

Der Stoffwechsel aller vorindustriellen Gesellschaften basiert auf der Nutzung von Biomasse und damit auf der Fähigkeit pflanzlicher Organismen durch Photosynthese unter Ausnutzung von Sonnenenergie aus Kohlendioxid, Wasser und Mineralstoffen energiereiche Substanz aufzubauen. In Form von Nahrung und Futter stellt Biomasse die energetische Basis für den Menschen und seine Nutztiere und kann von diesen in mechanische Arbeit umgewandelt werden. Durch Verbrennung (von Holz zum Beispiel) wird Raum- und Prozesswärme für Haushalte (Kochen) und Gewerbe (Metallschmelze) sowie Licht bereitgestellt. Die Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit ist bis zur Erfindung der Dampfmaschine nicht möglich und der Verfügbarkeit von mechanischer Arbeit sind damit enge Grenzen gesetzt. Wasser- und Windkraft spielen eine wichtige, aber mengenmäßig sehr untergeordnete Rolle. Abgesehen von sehr wenigen Ausnahmen⁵ ist Biomasse bis zur industriellen Revolution der bei weitem wichtigste Energieträger, in der Regel wurden durch sie 99% der verfügbaren Primärenergie abgedeckt. Der bei weitem größte Teil der Biomasse galt der Ernährung von Menschen und Arbeitstieren. Der Anteil von Brennholz unterlag im Zusammenhang mit der lokalen Verfügbarkeit von Holz und klimatischen Bedingungen erheblichen regionalen Schwankungen, und nur ein bescheidener Teil der extrahierten Biomasse wurde für nicht energetische Zwecke verwendet.

⁴ Rolf Peter Sieferle, Nachhaltigkeit in universalhistorischer Perspektive, in: Wolfram Siemann (Hg.), Umweltgeschichte Themen und Perspektiven, München 2003, 39-60

⁵ Im 17. Jahrhundert etwa bildete in den Niederlanden die Ausbeutung von großen Torfvorkommen, die intensive Nutzung von Windenergie und ein dichtes System an schiffbaren Wasserwegen die energetische Grundlage für eine außergewöhnliche wirtschaftliche Entwicklung, das *Dutch Golden Age*. Man geht davon aus, dass in dieser Periode jährlich bis zu 1,5 Millionen Tonnen Torf abgebaut und dabei jährlich 700 ha Torfmoor abgegraben wurden. Torf ist natürlich ein – wenn auch nicht so alter – fossiler Energieträger. Siehe J. W De Zeeuw, Peat and the Dutch Golden Age, in: A.A.G.Bijdragen 21 (1978) 3-31.

Mit der Nutzung von Biomasse schaltet sich der Mensch in erneuerbare Energieflüsse ein. Natur wird durch Landbewirtschaftung in einer Art und Weise umgestaltet, die es erlaubt, den gesellschaftlichen Nutzen in Form von verwertbarer Biomasse zu erhöhen. Der deutsche Umwelthistoriker Rolf Peter Sieferle spricht daher vom ‚kontrollierten Solarenergie System‘ der Agrargesellschaften.⁶ Auf globaler Ebene prägt dieses kontrollierte Solarenergiesystem bis ins 21. Jahrhundert hinein die gesellschaftlichen Naturverhältnisse des größten Teils der Menschheit. Diesen Grundtypus von gesellschaftlichen Naturverhältnissen bezeichnen wir als das ‚agrarisches sozialmetabolische Regime‘. Dieses Regime hat in all seinen regional spezifischen Ausprägungen, die von einer Vielzahl biogeographischer und gesellschaftlicher Faktoren abhängen,⁷ eine Reihe von Gemeinsamkeiten, das es deutlich von anderen sozialmetabolischen Regimes (etwa dem der Jäger und Sammler, oder eben dem industriellen Regime) abgrenzt. Die Energiebereitstellung basiert auf der kontrollierten Veränderung von Ökosystemen mit dem Ziel, den nutzbaren Biomasseertrag zu erhöhen, also auf Kolonisierung von Natur. Arbeit wird investiert, um Ökosysteme umzugestalten und die Menge an nutzbarer Biomasse, die pro Flächeneinheit geerntet werden kann, zu erhöhen. Grundvoraussetzung dieser Subsistenzweise ist, dass ein positiver Energieertrag (*return upon investment, EROI*⁸) in der Landbewirtschaftung erzielt wird: Durch die Bewirtschaftung von Land muss deutlich mehr Energie in Form von Biomasse erwirtschaftet werden, als in Form von menschlicher Arbeit (und ihren Vorleistungen wie insbesondere Ernährung) eingesetzt wird. Schätzungen gehen davon aus, dass in Mitteleuropa vor Beginn der Industrialisierung in der Landwirtschaft ein EROI von etwa 10 zu 1 erzielt wurde. Der erwirtschaftete Überschuss kann zur Versorgung der nicht agrarischen Teile der Gesellschaft dienen – also zur Bereitstellung von Nahrung und Brennholz für die Bewohner von Städten und nicht landwirtschaftlich tätiger Landbevölkerung, und von Futter für Zugtiere, die all dies transportieren müssen.

Je höher der Überschuss, umso komplexere gesellschaftliche Strukturen sind möglich. Allzu groß ist dieser Überschuss jedoch nie: ein System muss schon gut organisiert sein, wenn es gelingt, mit der Arbeit von 10 Bauern mehr als 1-2 andere Personen (wie adlige Grundbesitzer, Handwerker, Beamte) zu erhalten. Auf wachsende Nachfrage nach Nahrung, und die entsteht unter agrarischen Bedingungen in der Regel durch Bevölkerungswachstum, wird im agrarischen Regime zuerst mit einer Ausweitung der in die Bewirtschaftung einbezogenen Fläche reagiert – was häufig auch heißen kann, dass der Versuch der Eroberung neuer Territorien gemacht wird. Schließlich, wenn Land knapp wird und das Territorium begrenzt ist, bleibt vermehrter Arbeitseinsatz auf der gleichen Fläche zur Erzielung von mehr Ertrag – also die Intensivierung der Flächennutzung. Der Ertrag je eingesetzter Arbeitsstunde sinkt allerdings in der Regel

⁶ Rolf Peter Sieferle, *The Subterranean Forest. Energy Systems and the Industrial Revolution*, Cambridge 2001.

⁷ Die lokale Ausprägung agrarischer Subsistenzweisen hängt unter anderem von der Verteilung der Niederschläge und Temperatur übers Jahr, von der Bevölkerungsdichte und der verfügbaren Arbeitskraft, sowie von Herrschafts- oder Grundbesitzverhältnissen. In ihrem Erscheinungsbild sind daher die vorindustriellen Agrargesellschaften sehr unterschiedlich: sie reichen vom einfachen Wanderfeldbau und Hirtennomadismus bis zur komplexen und ausdifferenzierten Gesellschaften auf der Basis von Ackerbau mit und ohne Viehwirtschaft, Bewässerung oder Fruchtwechsel.

⁸ Zum Konzept des EROI siehe Charles A. S. Hall u.a., *Energy and Resource Quality. The Ecology of the Economic Process*, New York 1986, 28

mit zunehmender Intensität und nähert sich asymptotisch einer physischen Grenze an, ab der weitere Intensivierung sich nicht mehr lohnt. Wachstum ist also möglich, führt aber zu einem sinkenden Grenznutzen. Bei Erreichung dieser Grenze bietet sich jenes ‚typische‘ Bild von Agrargesellschaften, in denen der größte Teil der Bevölkerung, einschließlich der Kinder, unablässig schwer arbeitet und dennoch unter Knappheit leidet. Diese Logik, die die Anthropologin Esther Boserup⁹ aufgrund von weltweiten Beobachtungen eingehend beschrieben hat, stellt eine sehr grundsätzliche Limitation gesellschaftlicher Entwicklung auf Basis des agrarischen Regimes dar: In der Regel führt in diesem Regime Wachstum, trotz Fortschritten in den Bewirtschaftungsmethoden und in der Pflanzenzucht, über kurz oder lang zu einer stagnierenden oder gar sinkenden Verfügbarkeit von Material- und Energie pro Kopf der Bevölkerung.

Eine zusätzliche Begrenzung von Wachstum resultiert aus den Schwierigkeiten des Transports. Überlandtransport beruht auf menschlicher oder tierischer Arbeitskraft¹⁰, ist energetisch kostspielig und lohnt für Massenrohstoffe nur über Distanzen von wenigen Kilometern. Biomasse ist ein dezentraler Rohstoff mit geringer Energiedichte und daher besonders von dieser Transportlimitierung betroffen. Nur wo Wasserwege verfügbar waren, konnten Massenrohstoffe über größere Distanzen transportiert werden. Im agrarischen Regime sind daher dem Wachstum von Städten enge Grenzen gesetzt, und größere urbane Zentren kann es nur an Flüssen oder Küsten mit fruchtbarem agrarischem Hinterland geben. Auch die mangelnde Möglichkeit der Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit schränkt die Freiheitsgrade ein: Mechanische Arbeit konnte nur von Menschen, Tieren und Wasser/Windkraft geleistet werden, die erzielbare Leistung blieb dabei relativ gering.¹¹ Insgesamt waren durch das kontrollierte Solarenergiesystem der Höhe und der Struktur des gesellschaftlichen Stoffwechsels und seiner räumlichen Ausdifferenzierung Grenzen gesetzt: Vor Beginn der industriellen Revolution wurden in Europa zwischen 2 und 4 Tonnen Material und 30 bis 70 Gigajoule (GJ)¹² Primärenergie pro Kopf und Jahr umgesetzt, wobei über 80% des Material- und 95% des Energieumsatzes auf Biomasse entfielen: Nahrung für Menschen, Futter für Nutztiere, Bau- und Brennholz. Regionale Unterschiede im Stoffwechsel hingen insbesondere mit der unterschiedlichen Relevanz der Haltung von Nutztieren und klimatischen Bedingungen zusammen.¹³

⁹ Ester Boserup, *Population and Technological Change - A study of Long-Term Trends*, Chicago 1981; Ester Boserup, *The conditions of agricultural growth. The economics of agrarian change under population pressure*, Chicago 1965.

¹⁰ Man muss sich vor Augen halten, dass es energetisch und ökonomisch unsinnig ist, wenn Zugtiere und ihre menschlichen Begleiter auf einer Transportstrecke (und retour) mehr Nahrungsmittel brauchen, als sie tragen können. Sie können also nur entweder sehr wertvolle Dinge transportieren, für die man – in Gewichtsäquivalenten – viel Nahrung eintauschen kann, oder Nahrungsmittel über kurze Strecken. Außerdem ist zu bedenken, dass man für diese Tiere und Menschen zusätzliches bewirtschaftetes Land braucht, um sie zu ernähren – also vergrößern sich auch die Strecken, die überwunden werden müssen. Siehe Rolf Peter Sieferle, *Rückblick auf die Natur: Eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt*, München 1997, 87.

¹¹ Man muss sich vorstellen, dass ein Pharao für den Pyramidenbau mit 2000 Arbeitern etwa über jene Leistung verfügen konnte, wie heute ein Arbeiter an einer größeren Straßenbaumaschine.

¹² Ein Joule entspricht 0,24 Kalorien und ist eine sehr kleine Einheit. Ein Mega Joule (MJ) = 10^6 Joule, ein Giga Joule (GJ) = 10^9 Joule und ein Exa Joule (EJ) = 10^{18} J. Der Energiegehalt (Heizwert) von einem kg Holz beträgt etwa 15 MJ, der von Kohle 20-30 MJ und der von Erdöl 45 MJ.

¹³ Die höchsten Biomasseumsätze werden in pastoralen Gesellschaften mit einem sehr hohen Nutztierbestand pro Kopf verzeichnet, die geringsten in Gesellschaften, deren Subsistenzweise

Agrargesellschaften haben zwar energetisch das Potential für ökologische Nachhaltigkeit, denn sie schalten sich in erneuerbare Flüsse ein und brauchen keine erschöpfbaren Bestände auf. Allerdings beruht gerade das agrarische Regime auf einer massiven Umgestaltung von Natur, die mit Risiken verbunden ist und zu einer Reihe spezifischer Umweltprobleme führt. Die Ausbreitung der Landwirtschaft setzt in den meisten Regionen die Entwaldung des Landes voraus: In England zum Beispiel waren vor Beginn der Industrialisierung nur mehr wenige Prozent der Landfläche bewaldet, in Mitteleuropa wurden zwischen 900 und 1900 mehr als 50% der Waldflächen gerodet.¹⁴ Veränderungen in der Landbedeckung und Nutzung ziehen Veränderungen in Wasser- und Nährstoffkreisläufen nach sich und sind häufig mit Bodendegradation und Erosion verbunden (siehe zum Beispiel die weitgehend anthropogenen, also menschengemachten, Verkarstungen im Mittelmeerraum). Die Umgestaltung der Ökosysteme führt zu Veränderungen der Fauna und Flora, und der vom Menschen induzierte Transfer von Pflanzen, Nutztieren und Parasiten hat viele ungewollte Nebeneffekte.¹⁵ Der enge Kontakt mit Nutztieren fördert Parasiten und Infektionskrankheiten, und in Städten waren Wasser und Luft verschmutzt. Allerdings hatten diese Umweltprobleme lediglich regionalen Charakter. Oft wurden sie von natürlichen Prozessen wie extremen Wetterereignissen ausgelöst oder verstärkt. Zu den gesellschaftlichen Strategien der Problemvermeidung zählten daher auch Portfoliostrategien, also das Setzen auf Diversität anstatt auf Spezialisierung, und die Unterausnutzung vorhandener Ressourcen.

Entscheidend für Nachhaltigkeit agrarischer Gesellschaften war aber, ob es ihnen gelang, Bevölkerung und Bodenfruchtbarkeit, und damit die landwirtschaftlichen Erträge, langfristig in Balance zu halten. Dazu dienen – was die Bevölkerung betrifft – die kulturelle (auch rechtliche) Regelung der Familien und der Fortpflanzung. Ehebeschränkungen und massive Sexualtabus (z.B. strenge Ahndung vor- und außerehelicher Sexualität insbesondere von Frauen) sind charakteristisch für alle Agrargesellschaften. Was die Nahrungsmittelerträge anlangt, ist deren Stabilisierung oder gar Steigerung in einer Landwirtschaft, die ausschließlich auf interne, biologische Betriebsmittel angewiesen ist, ein schwieriges Unterfangen und war nicht immer erfolgreich: Bodendegradation, Wüstenbildung und in manchen Fällen gesellschaftlicher Kollaps waren Folgen fehlgeschlagener Versuche, Landwirtschaft zu betreiben bzw. eines Ungleichgewichtes von Bevölkerung und Kapazität des Agrarsystems.¹⁶ In der Dreifelderwirtschaft, wie sie in Mitteleuropa am Beginn des 19. Jahrhunderts weit verbreitet war, wurde die Stabilisierung des Niveaus an wichtigen Pflanzennährstoffen durch ein komplexes und arbeitsintensives System von Feldfruchtrotation mit Brache, Sammeln und Ausbringung von tierischem Mist und Nährstofftransfers von Wald und Grünland zu Ackerflächen gewährleistet.

überwiegend auf menschlicher Arbeitskraft und pflanzlicher Nahrungsgrundlage beruht (wie zum Beispiel in den Reisanbaugesellschaften in Süd- und Südostasien).

¹⁴ H. C. Darby, *The clearing of the woodland in Europe*, in: William L. Thomas, Jr. (Hg.), *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago 1956, 183-216; Hans Rudolf Bork u.a., *Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa*, Gotha, Stuttgart 1998.

¹⁵ Siehe etwa Alfred W. Crosby, *Ecological Imperialism. The Biological Expansion of Europe, 900-1900*, Cambridge 1986.

¹⁶ Joseph A. Tainter, *The collapse of complex societies*, Cambridge 1988; Jared M. Diamond, *Collapse: How societies choose to fail or succeed*, New York, NY 2005.

Ein weiteres, globales, Nachhaltigkeitsproblem blieb von den Agrargesellschaften jedoch völlig unbemerkt, ja es kam ihnen regional sogar zugute. Der Stoffwechsel von Agrargesellschaften beruht im Wesentlichen auf Kohlenstoff: Kohlenwasserstoffe und Proteine sind die Basis der Ernährung und Energieversorgung. Dieser Stoffwechsel verbleibt global im Rahmen der gegebenen biogeochemischen Kreisläufe, da jener Kohlenstoff, der durch Verdauung und Verbrennung in die Atmosphäre freigesetzt wird (CO₂ und andere Verbindungen), im Zuge des neuerlichen Pflanzenwachstums wieder absorbiert wird. Dies ist jedoch nur ein Teil der Wahrheit. Durch das Abholzen der ursprünglichen Waldvegetation wurden große Mengen an Kohlenstoff freigesetzt, während die von der Landwirtschaft bevorzugten Pflanzen (im wesentlichen Gräser) nur sehr wenig Kohlenstoff in ihrer Pflanzenmasse und im Boden speichern. Also führte die Ausbreitung von Agrargesellschaften auf Kosten des Waldes zu einer nicht unerheblichen Anreicherung der Atmosphäre mit CO₂. Man schätzt, dass 30-50% der CO₂-Anreicherung der heutigen Atmosphäre auf Änderungen der Vegetation zurückgehen.¹⁷

III. Die Kohle-Phase der metabolischen Transition, oder: Die englische Erfolgsstory ab Mitte des 17. Jahrhunderts

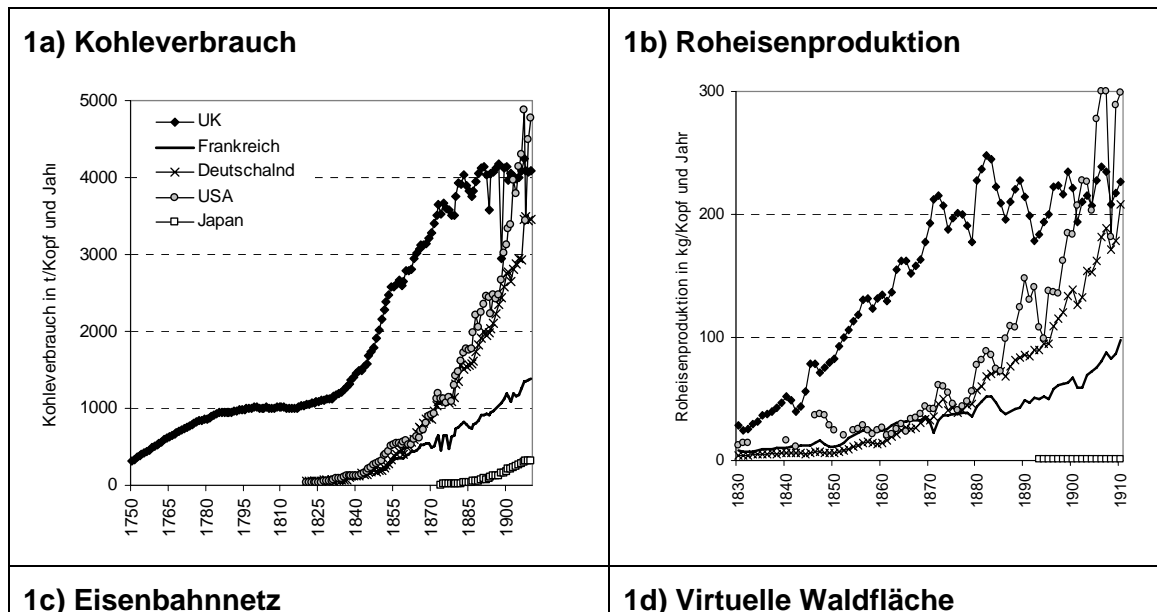
Der Prozess begann in England im 17. Jahrhundert, wo mit der zunehmenden Nutzung von Kohle die Herausbildung eines neuen Energiesystems einsetzt. Im Kern der energetischen Transition stand der Übergang von der Nutzung von Energieflüssen mit geringer Energiedichte in Form jährlich nachwachsender Biomasse zur Ausbeutung großer, über geologische Zeiträume akkumulierter Energiebestände, die in Form von Kohle konzentriert und mit hoher Energiedichte vorlagen. Anfangs wurde diese Kohle lediglich als durchaus unbeliebter Brennstoff in den Öfen der in den urbanen Zentren wohnenden Manufakturarbeiterfamilien genutzt, für deren steigenden Bedarf es nicht mehr ausreichend Brennholz gab, während sich Kohlevorräte glücklicherweise in der Nähe dieser Zentren befanden bzw. Kohle günstig auf Wasserwegen transportiert werden konnte. Solche dicht besiedelten Manufakturzentren gab es, da es die englischen Großgrundbesitzer schon im 17. Jahrhundert profitabler gefunden hatten, ihr Land für Rohstoffe der Textilindustrie zu nutzen statt zur Ernährung einer in ihren Augen jedenfalls teilweise überflüssigen Landbevölkerung.

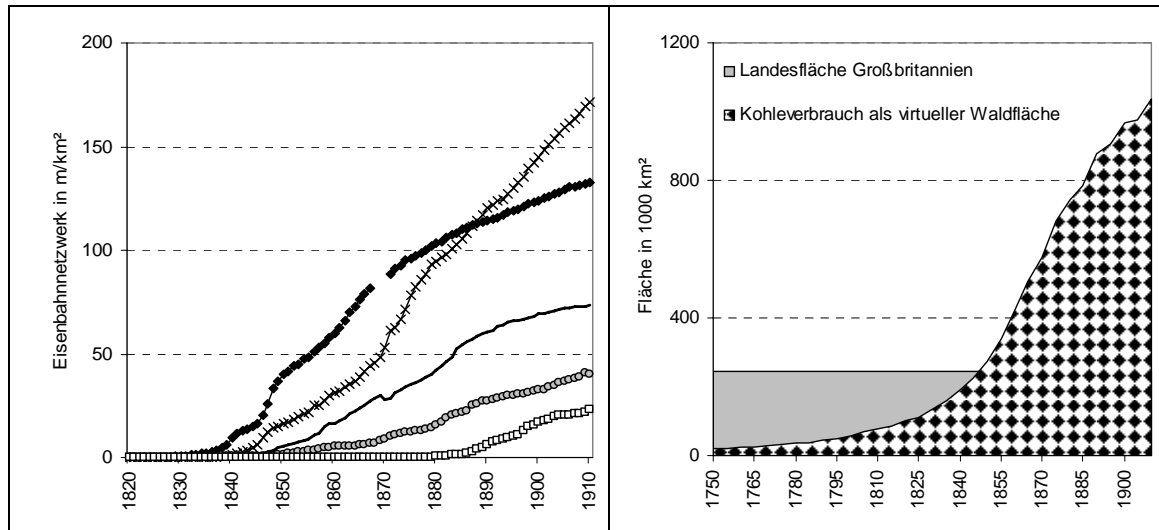
Um 1800 wurden in England bereits 900 kg Kohle pro Kopf und Jahr genutzt (Abb. 1a). Weltweit war das ein ganz neuer Entwicklungspfad, und – wie sich am rapiden wirtschaftlichen Aufschwung Englands zeigte – ein äußerst erfolgversprechender. Der Anteil Englands an der Weltkohleförderung betrug um 1800 etwa 90%. Davon wurde ein nicht unerheblicher Teil in andere europäische Länder exportiert, die bald die Vorteile einer kohle-basierten Wirtschaftsweise zu erkennen begannen. Quantitativ gesehen, verblieben dennoch weite Teile des restlichen Europa, die USA und Japan, so wie alle anderen Weltregionen, jedenfalls bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts

¹⁷ Es wird sogar spekuliert, dass dadurch das statistisch erwartbare Eintreten einer neuen Eiszeit verhindert wurde. Siehe William F. Ruddiman, *The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago*, in: *Climatic Change* 61 (2003) H. 3, 261-293; I. C. Prentice u.a., *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in: John T. Houghton u.a. (Hg.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge, MA 2001, 183-237.

weitestgehend dem agrarischen sozial-metabolischen Regime verhaftet und stützten sich fast ausschließlich auf Biomasse als Rohstoff und Energieträger. Erst um 1850 zeigt sich die Energietransition in weiteren europäischen Ländern und der Kohleverbrauch pro Kopf stieg auch in Deutschland, Frankreich und den USA rasch an (Abb. 1a). In führenden Industrienationen wie Deutschland und den USA wurde bereits um 1870 die Marke von 1000 kg/Kopf und Jahr überschritten, in den meisten anderen europäischen Ländern, wie etwa in Frankreich oder Österreich, erst deutlich später. Nachzügler wie Japan und Russland bzw. die UDSSR begannen erst nach der Wende zum 20. Jahrhundert, größere Mengen Kohle zu verbrauchen. In dieser Phase beschränkte sich die metabolische Transition im Wesentlichen auf Europa, Japan und die USA. Allein in den vier Ländern England, Frankreich, Deutschland und den USA wurden um 1900 noch über 70% der Weltkohleförderung verbrannt. In fast allen anderen Regionen der Erde wurden dagegen bestenfalls regional industriell-urbane Zentren von der metabolischen Transition erfasst. Dementsprechend war der durchschnittliche Kohleverbrauch pro Kopf in Ländern wie Indien, China oder Brasilien noch am Beginn des 20. Jahrhunderts mit weit unter 100 kg/Kopf und Jahr verschwindend gering (Abb. 1a). Es gab ganz im Gegenteil ein aktives Interesse der sich industrialisierenden europäischen Länder, andere Weltregionen mittels Kolonialismus auf eine Rolle als Lieferanten billiger Agrarprodukte und anderer Rohstoffe, sowie als Absatzmärkte sich entwickelnder Industrieproduktion festzulegen, und durchaus nicht selbst an industrieller Entwicklung teilhaben zu lassen (siehe dazu noch weiter unten).

Abbildung 1: Entwicklung von Kohleverbrauch (1a), Roheisenproduktion (1b) und Eisenbahnnetz (1c) in ausgewählten Ländern 1750/1830 bis 1910 sowie Kohleverbrauch von Großbritannien als virtuelle Waldfläche (1d).





Anmerkung zu 1d: Für die Umrechnung des Kohleverbrauchs in virtuelle Waldfläche wurde angenommen, dass eine dem Energiegehalt der Kohle äquivalente Menge an Brennholz durch nachhaltige Waldbewirtschaftung (d.h. durch Nutzung des jährlichen Zuwachses und nicht der stehenden Holzmasse) bereit zu stellen ist. Die dafür erforderliche Waldfläche wird als virtuelle Waldfläche bezeichnet. Um 1900 entsprach der Kohleverbrauch von Großbritannien demnach einer Waldfläche vom fünffachen Ausmaß der Landesfläche.

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Mitchell 2003; Maddison 2008 und Schandl und Krausmann 2007.¹⁸

Kohle, Dampfmaschine, Stahl und Eisenbahn

Die industrielle Revolution und die Durchsetzung des neuen Energiesystems war aufs engste mit der Etablierung eines neuen Technikkomplexes verknüpft, der durch das Zusammenwirken von Kohle, Dampfmaschine, Eisen und Stahlerzeugung und Eisenbahn charakterisiert ist.¹⁹ Die stationäre Dampfmaschine ermöglichte als Grubenpumpe zunächst eine effizientere Förderung von Kohle und die Ausbeutung tieferer Lagerstätten. Kohle wiederum erlaubte eine Vervielfachung der Eisenproduktion und ab 1870 auch die Erzeugung von hochwertigem Stahl. Die Dampfmaschine sowie reichlich Eisen und später Stahl ermöglichten eine Transportrevolution mittels Eisenbahnsystem und Dampfschiffahrt.

Die Entwicklung von Kohleverbrauch, Roheisenproduktion und Eisenbahnnetzen während des 19. Jahrhunderts (Abb.1) verdeutlicht die führende Position des Vereinigten Königreichs und den Aufholprozess von Nachzüglern wie Deutschland und den USA – die aber erst am Beginn des 20. Jahrhunderts das Niveau des Vereinigten Königreichs erreichten. Zwischen 1840 und 1860 begann in vielen Ländern ein schneller Ausbau der Eisenbahnnetze. Die Eisenbahn und ebenso die Dampfschiffahrt

ermöglichten zum ersten Mal in der Menschheitsgeschichte die großräumige Trennung von Bevölkerungssegmenten, die Nahrung produzieren, und zunehmend großen

¹⁸ B. R. Mitchell, *International Historical Statistics*, New York 2003.; Maddison. *Historical Statistics for the World Economy: 1-2006 AD*. Online data base: <http://www.ggdc.net/maddison/>, 12/2008; Heinz Schandl/Fridolin Krausmann, *The Great Transformation: A socio-metabolic reading of the industrialization of the United Kingdom*, in: Marina Fischer-Kowalski/Helmut Haberl (Hg.), *Socioecological transitions and global change: Trajectories of Social Metabolism and Land Use*, Cheltenham, UK, Northampton, USA 2007, 83-115

¹⁹ Arnulf Grübler, *Technology and Global Change*, Cambridge 1998, 207.

Bevölkerungssegmenten, die diese Nahrung als Grundlage anderer, nämlich industrieller, Produktionsprozesse benötigen. Dem Wachstum urbaner Zentren waren damit zum ersten Mal keine Grenzen mehr gesetzt.

Dampfmaschinen erlauben die Konversion von Kohle in mechanische Arbeit. Das führte zu einer dramatischen Erhöhung der verfügbaren Leistung im Vergleich zum alten Regime: Die Möglichkeiten, Materialien zu fördern, zu transportieren, zu verarbeiten und zu verbrauchen, veränderten sich radikal und eine völlig neue Form des gesellschaftlichen Stoffwechsels entstand: Zusätzlich zur Biomasse wurden riesige Mengen an Kohle, Baumaterialien und Erzen entnommen und verarbeitet: Im Vereinigten Königreich zum Beispiel stieg der Materialumsatz im Zeitraum 1750 bis 1900 von 60 auf über 400 Millionen Tonnen an. Das Bevölkerungswachstum hielt in dieser Phase mit dem materiellen und energetischen Wachstum nahezu Schritt. Zum ersten Mal in der Geschichte gab es eine rasant steigende Nachfrage nach nicht-landwirtschaftlicher Arbeitskraft: Die kohlegetriebenen großen Maschinen schufen mit ihrer mechanischen Leistung Voraussetzungen für eine Unzahl von Arbeitsplätzen, an denen die eigentlichen Produkte hergestellt werden mussten. In dieser Phase kam es zwar zu einer Verdoppelung des Material- und Energieverbrauchs pro Kopf, diese steigerten aber nicht den Massenwohlstand, sondern flossen in den Aufbau des Fabriksystems und in Exporte. Die Umweltbedingungen für die Stadtbewohner verschlechterten sich zusehends.

John McNeill bezeichnet in seiner globalen Umweltgeschichte des 20. Jahrhunderts diese Phase nach Charles Dickens als *Coketown* Periode:²⁰ Kennzeichnend waren wachsende urbane Industrieregionen mit rauchenden Schloten, beißendem Smog, vergifteten Gewässern, düsteren Arbeitervierteln und Slums. Mit den wachsenden materiellen und energetischen Inputs in das ökonomische System stiegen gleichermaßen auch die Emissionen von giftigen Abgasen und Ruß, der Anfall von Abwässern und Abfällen. Das führte zu neuartigen Umweltproblemen und vor allem in den industriellen und urbanen Ballungszentren mit ihrem konzentrierten Ressourcenverbrauch erzeugte das einen nie dagewesenen Druck auf die umgebenden Ökosysteme und die Lebensqualität. Gut dokumentiert sind etwa die extremen Smog-Ereignisse in London im 19. und 20. Jahrhundert, bei denen Ruß und Schwefeldioxid außerordentlich hohe, unmittelbar gesundheitsschädliche Konzentrationen erreichten.²¹ Luft- und Wasserverschmutzung und die damit zusammenhängenden Hygiene- und Gesundheitsprobleme entwickelten sich in dieser Phase zu gravierenden und zum Teil überregionalen Umweltproblemen, die die Gesundheit der Stadtbewohner stark beeinträchtigten. Maßnahmen wie die Errichtung von hohen Schloten und Kanalnetzen verlagerten oder verdünnten die problematischen Stoffe, konnten die lokalen Auswirkungen jedoch lediglich mildern.

²⁰ John R. McNeill, *Something New Under the Sun. An Environmental History of the Twentieth Century*, London 2000, 296.

²¹ Peter Brimblecombe, *The Big Smoke. A history of air pollution in London since medieval times*, London 1987.

Die Emanzipation des Energiesystems von der Fläche

Kohle war ein erster wichtiger Schritt in der Emanzipation des Energiesystems von der Landfläche und in der Aufhebung traditioneller Wachstumsschranken. Rolf Peter Sieferle hat dafür den anschaulichen Begriff des ‚unterirdischen Waldes‘ geprägt.²² Er hat gezeigt, dass die Energie, die im Brennwert der Kohle steckte, die in Großbritannien jedes Jahr verbrannt wurde, bereits um 1850 dem Brennholzertrag einer virtuellen Waldfläche im Ausmaß der gesamten Landesfläche entsprach. Bis 1900 erhöhte sich das Flächenäquivalent des unterirdischen Waldes auf das 5 Fache der Landesfläche (vgl. Abb. 1d). Dies kann man so lesen, dass das Vereinigte Königreich für einen gesellschaftlichen Stoffwechsel auf dem damaligen Niveau ein fünfmal so großes Territorium, und noch dazu voll bewaldet, benötigt hätte.

Allerdings wurden durch die Kohle nicht alle Limitierungen des solaren Energiesystems außer Kraft gesetzt. Eine sehr grundlegende Abhängigkeit von der flächengebundenen Ressource Biomasse blieb erhalten: der Bedarf nach Nahrung. Die frühe Industrialisierung war verbunden mit einem starken Anstieg der Bevölkerung. In England zum Beispiel hat sich die Bevölkerung von 1750 bis 1900 mehr als verdoppelt, und sie wurde, einschließlich Frauen und Kindern, in der nicht-landwirtschaftlichen Produktion auch eingesetzt. Die Verfügung über mehr (technische) Energie hatte menschliche Arbeitskraft keineswegs substituiert, sondern den Bedarf nach ihr erhöht. Ähnlich wurden Zug- und Arbeitstiere durch die Eisenbahn nicht ersetzt, sondern das Gegenteil war der Fall: Das weitmaschige Streckennetz der Eisenbahn führte in Kombination mit dem Anstieg der transportierten Waren und Personen zu einem gesteigerten Bedarf nach Nutztieren für Zubringerdienste und regionalen Transport. Bis ins 20. Jahrhundert wuchs der Zugtierbestand kontinuierlich an. Wo es zu einer Substitution von Brennholz durch Kohle kam, wurde mehr Holz als zuvor für den Eisenbahnbau oder die aufkommende Papierindustrie gebraucht. Insgesamt wuchs daher paradoxer Weise mit der Transformation des Energiesystems auch der Bedarf an Biomasse, um Menschen und Tiere zu ernähren. Zugleich waren die Potentiale für eine Ausweitung der Anbauflächen weitgehend ausgereizt und die Mittel zur Steigerung der Flächenproduktivität begrenzt. Die wichtigste Beschränkung für eine Steigerung der Produktion war der chronische Mangel an Dünger. Zwar fanden gegen Ende des 19. Jahrhunderts zunehmend auch mineralische Düngemittel wie Guano, Chile-Salpeter oder Superphosphat in der Landwirtschaft Anwendung, die Mengen blieben aber gering und auf Spezialkulturen wie Orangen oder Tabak begrenzt, und die Nährstoffversorgung musste weiterhin mit betriebsinternen Mitteln auskommen. Damit blieb eine grundlegende Beschränkung der traditionellen Landwirtschaft aufrecht, die trotz erfolgreicher biologischer Innovationen wie neuer Kulturpflanzen und neuer Landnutzungspraktiken zum Beispiel in England, wo diese Innovationen schon früh umgesetzt worden waren, im 19. Jahrhundert zu stagnierenden Getreideerträgen führte. Der Import von Nahrungsmitteln aus überseeischen Kolonien bzw. aus den USA (die ja früh ihren kolonialen Status abgeschüttelt hatten) und aus Russland war daher notwendig.

In den USA nämlich findet eine ganz andere Entwicklung statt: Bei einer stark wachsenden Bevölkerung, aber einer äußerst geringen Bevölkerungsdichte von nur 2 Einwohner pro km², wurden mit der Ausbreitung des Eisenbahnsystems riesige Gebiete mit fruchtbaren Prärieböden für die Nahrungsproduktion erschlossen. Binnen weniger

²² Rolf Peter Sieferle, *Der unterirdische Wald. Energiekrise und Industrielle Revolution*, München 1982.

Jahrzehnte entstand zwischen 1850 und 1920 im Mittleren Westen der USA über 100 Millionen km² hochwertiges Agrarland, nachdem man die indigenen Völker mit ihren extensiven Nutzungsweisen gewaltsam verdrängt hatte. Die Great Planes mit ihren nährstoffreichen Böden erlaubten anfänglich, große Erträge mit geringem Arbeitsaufwand zu erzielen. Die Arbeitsproduktivität dieser Agrarsysteme war außergewöhnlich hoch und ermöglichte einer kleinen landwirtschaftlichen Bevölkerung die Versorgung der dicht besiedelten urbanen Zentren an den Küsten sowie den Export großer Nahrungsmengen nach Europa. Um 1880 exportierten die USA bereits über 4 Millionen Tonnen Getreide, Nahrungsgrundlage für über 20 Millionen Menschen.

Auch diese Entwicklung war aufs engste mit dem Technologiecluster der *Coketown* Ära verknüpft. Sie hing an der Ausbreitung des Eisenbahnsystems und der Dampfschiffahrt, der Energieversorgung der lokalen Bevölkerung mit Kohle und den Möglichkeiten, die hochwertige Maschinen aus Stahl für die Mechanisierung der Arbeitsabläufe in der Landwirtschaft bedeuteten.

IV. Das Erdöl und das Auto, oder: die Erfolgsstory der USA ab 1900

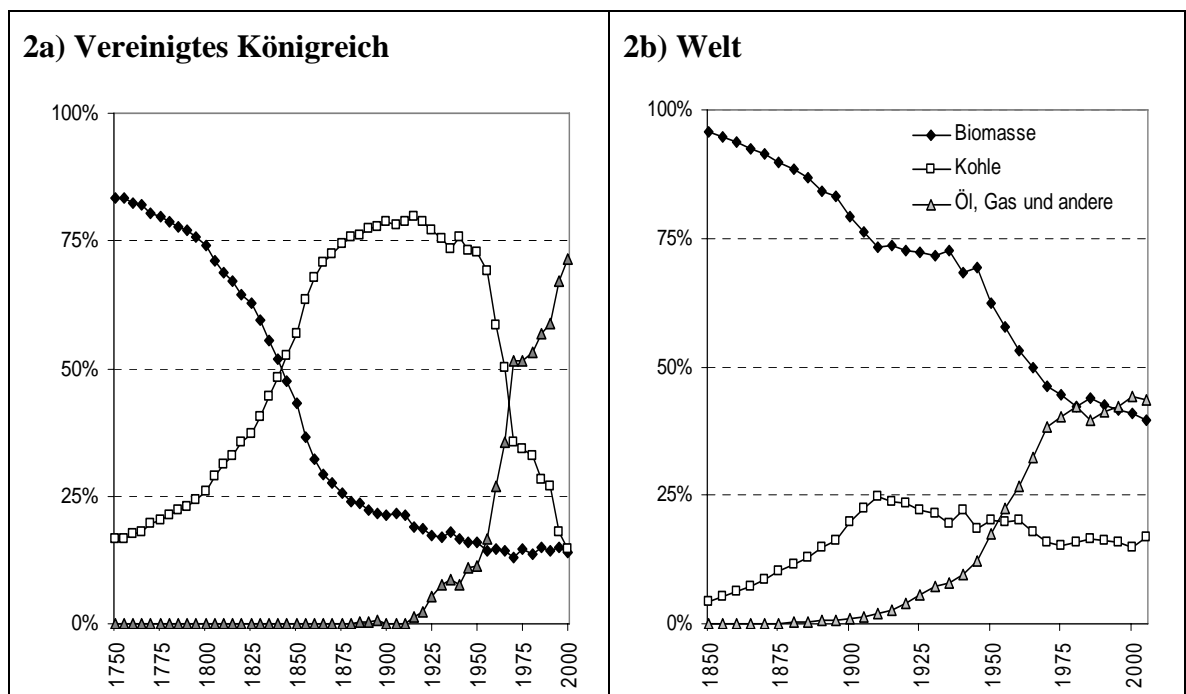
Nicht nur die agrarische Produktivität eines Pionierlandes, sondern auch eine andere Ressource versetzten die USA in die Lage, zur Leitnation der nächsten Phase der industriellen Transformation zu werden: das Erdöl. Erdöl war schon seit den 1860er Jahren gefördert worden, es wurde aber nur in geringen Mengen und fast ausschließlich als Lampenöl zur Beleuchtung genutzt. Der große Ölboom setzte um 1900 mit der Entdeckung ausgiebiger Ölfelder in Spindletop, Texas, ein. In den USA stieg die Erdölförderung in den ersten drei Jahrzehnten des neuen Jahrhunderts von unter 10 auf 140 Millionen Tonnen an. Vor der Weltwirtschaftskrise Anfang der 1930er Jahre wurden damit bereits über 1200 kg Erdöl pro Kopf und Jahr gefördert. Die gesamte erste Hälfte des 20. Jahrhunderts dominierten die USA die Weltproduktion von Erdöl, ähnlich wie zuvor England mit seiner Kohle. Erst nach dem zweiten Weltkrieg begann die Ausbeutung der riesigen Lagerstätten in Westasien und verdrängte die USA aus ihrer Weltmarktdominanz. Erdöl hat eine noch höhere Energiedichte als Kohle, ist billiger in der Förderung und lässt sich, Infrastrukturen vorausgesetzt, technisch leicht und kostengünstig transportieren. Erdöl ist daher gewissermaßen die ideale Energieressource überhaupt.

Allerdings ist Erdöl (und auch Erdgas) im Vergleich zur Kohle sehr ungleich über den Planeten verteilt. Die bis dahin erfolgreichen europäischen Industrieländer verfügen nur über bescheidene Vorkommen und mussten erst kapitalintensive Verteilungsnetzwerke wie Pipelines, Öltanker und Raffinerien aufbauen, um diese Ressource nutzen zu können, wobei zudem solcherart ein Teil der Erträge industrieller Produktion in andere Weltregionen (anfangs insbesondere die USA) floss. Mit der Nutzung von Erdöl entstanden auf diese Weise neue weltgeographische Beziehungen.

Mit der Energieressource Erdöl ist ein neuer Technologie-Cluster emergiert. McNeill nannte die sich herausbildende Kombination von Erdöl mit Verbrennungsmotor, Automobil und Flugzeug, (petro)chemischer Industrie und letztlich auch Elektrizität nach dem Zentrum der US Amerikanischen Automobilindustrie (der *Motor Town*

Detroit) *Motown Cluster*.²³ Der mobile Verbrennungsmotor, eingesetzt in Auto und Flugzeug, steht für die Individualisierung und Beschleunigung des Personen- und Güterverkehrs und löste eine neue Transportrevolution aus. Und mit Elektrizität stand eine neue und universell einsetzbare Energieform zur Verfügung, die über den Elektromotor die Mechanisierung einer Vielzahl technischer Prozesse erlaubte. Wie Biomasse in der ersten Phase der Transformation, wurde auch Kohle als Energieträger in dieser zweiten Phase der Transformation nicht völlig verdrängt, sondern blieb die Grundlage für Stahlerzeugung und die thermische Stromerzeugung. Dennoch erreichte der Kohleverbrauch in den USA bereits um 1920 und in den europäischen Ländern einige Jahrzehnte später einen historischen Spitzenwert und begann dann rasch zu sinken. Dagegen stieg der Anteil von Erdöl am gesamten Energiedurchsatz weltweit innerhalb von wenigen Jahrzehnten auf fast 50% (siehe Abb.2).

Abb. 2: Die Durchsetzung der neuen Energieträger im Vereinigten Königreich (1750-2000) und weltweit (1850-2005).



In dieser Abbildung ist der Anteil der drei Fraktionen Biomasse, Kohle sowie Erdöl und Erdgas (inkl. anderer Energieformen) am gesamten Primärenergieaufkommen dargestellt. Die Biomasse Fraktion inkludiert neben Brennholz auch sämtliche als Nahrung für Menschen und Nutztiere genutzte Biomasse sowie auch alle für andere Zwecke genutzte Biomasse.

Datenquellen: Eigene Berechnungen nach Schandl und Krausmann 2007 (Vereinigtes Königreich) und Krausmann u.a. 2009, Podobnik 1999, IEA 2007 (Welt).²⁴

Den ökonomischen Rahmen für die Durchsetzung des neuen Energiesystems in den USA bildet die Kombination aus billiger Energie, Fließbandproduktion und steigenden

²³ McNeill, *Something New*, 297.

²⁴ Schandl/Krausmann, *Transformation*, 97; Fridolin Krausmann u.a., Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century, in: *Ecological Economics* 68 (2009) H. 10, 2696-2705; Bruce Podobnik, *Toward a Sustainable Energy Regime, A Long-Wave Interpretation of Global Energy Shifts*, in: *Technological Forecasting and Social Change* 62 (1999) H. 3, 155-172; International Energy Agency (IEA) and Organisation of Economic Co-Operation and Development (OECD), *Energy Statistics of OECD and Non-OECD Countries* (CD-ROM), Ottawa.

Einkommen der arbeitenden Klassen, die in der Literatur als Fordismus bezeichnet wird und die Ära von Massenproduktion und Massenkonsum einläutet.²⁵ Die neuen Technologien finden in erschwinglichen und massentauglichen Gütern Anwendung und nun kommt der steigende Energie- und Materialverbrauch auch den Haushalten zugute, deren materieller Wohlstand enorm zunimmt. Zu den material- und energieintensiven Schlüsselprodukten dieser Phase gehören das Automobil, die Zentralheizung, elektrische Haushaltsgeräte und Fleisch. Diese Produkte werden leistbar und verbreiten sich innerhalb weniger Jahrzehnte flächendeckend durch alle sozialen Schichten: der *American way of life* bildet sich heraus. In Europa und Japan schlägt diese Dynamik (unter anderem dank amerikanischer Wirtschaftshilfe) erst nach dem Zweiten Weltkrieg voll durch und führt dann zu einer pro-Kopf Verdoppelung des jährlichen Energie- und Materialverbrauchs (und natürlich auch der zugehörigen Abfälle und Emissionen) innerhalb von nur 25 Jahren. Für diese bis dahin völlig unbekannte Wachstumsdynamik im gesellschaftlichen Stoffwechsel hat der Schweizer Umwelthistoriker Christian Pfister den Begriff des ‚1950er Jahre Syndroms‘ geprägt und gezeigt, dass in Europa in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg bis zu den Ölkrisen in den 1970er Jahren ein fundamentaler Wandel in den gesellschaftlichen Naturverhältnissen erfolgt.²⁶ Zur rasanten Durchsetzung des neuen sozialmetabolischen Regimes trugen drei sozioökonomische Faktoren entscheidend bei: Zum einen sanken die Energiepreise relativ zu den Preisen anderer Güter deutlich ab, die Bedeutung des Kostenfaktors Energie ging zurück. Zum anderen trieben staatliche Infrastrukturprogramme und Interventionen den Ausbau der erforderlichen Pipelines und Stromnetzwerke voran und halfen schufen die erforderliche Verkehrsinfrastruktur zu schaffen.²⁷ Und drittens wurden mittels neuer, breiter staatlicher Wohlfahrtssysteme (in den USA im Rahmen des *New Deal* durch Roosevelt in den 1930er Jahren, in Europa erst nach dem Zweiten Weltkrieg), die Masseneinkommen abgesichert.²⁸ In Europa waren es vor allem der Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg und das *European Recovery Program* (Marshall Plan), das die rasche Durchsetzung vorantrieb. Insgesamt bewirkte das 1950er Jahre Syndrom eine aufholende Entwicklung und Verbreitung des *American way of life* im westlichen Europa, Kanada, Australien und Japan. Die meisten anderen Weltregionen und damit der Großteil der Weltbevölkerung bleiben davon vorerst unberührt.

Das Automobil

Das Automobil ist einer der wichtigsten Faktoren in der Veränderung des gesellschaftlichen Stoffwechsels im 20. Jahrhundert. Es war die Grundlage für eine weitere Transportrevolution: Die Dichte des Straßennetzes liegt mit mehreren 1000 m pro km² um ein bis zwei Größenordnungen über dem der Eisenbahn; Zugtiere als Zubringer zu zentralisierten Netzen werden vollkommen überflüssig. Nach dem 2. Weltkrieg wuchs in den Industrieländern die Kraftfahrzeugflotte sprunghaft an. Bereits

²⁵ Friedrich von Gottl-Ottlilienfeld: *Fordismus. Über Industrie und Technische Vernunft*. Jena 1924; Grübler, *Technology*, 213.

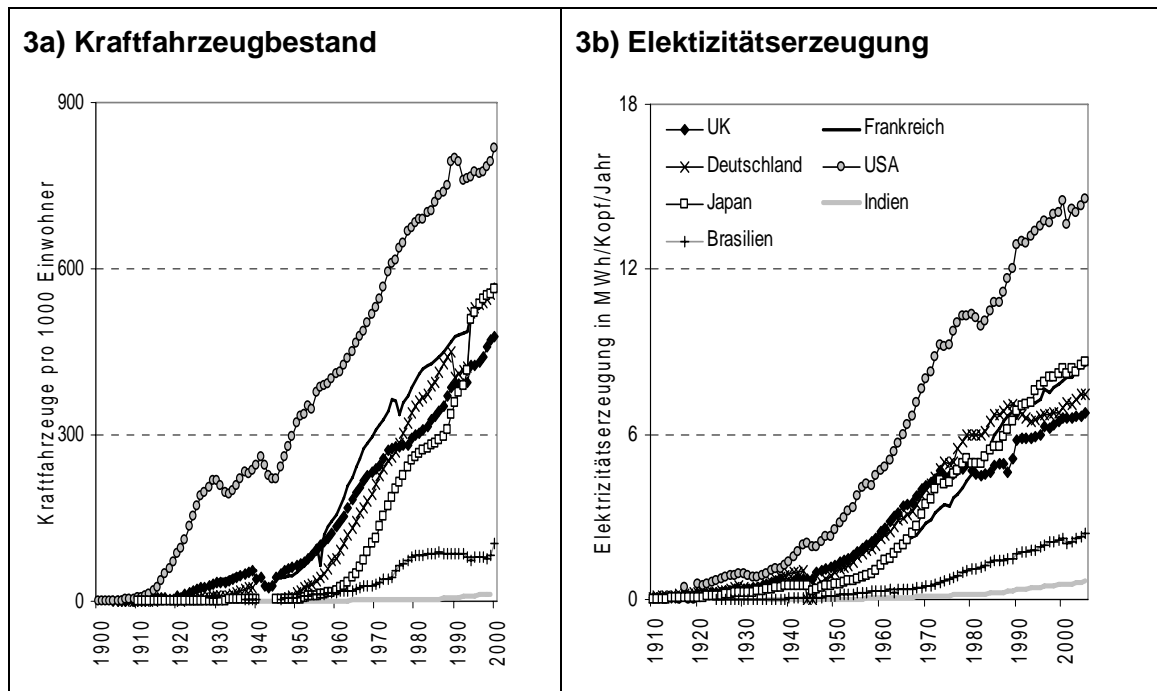
²⁶ Christian Pfister, *Energiepreis und Umweltbelastung. Zum Stand der Diskussion über das "1950er Syndrom"*, in: Wolfram Siemann (Hg.), *Umweltgeschichte Themen und Perspektiven*, München 2003, 61-86.

²⁷ Im Rahmen des *New Deal* wurden in den USA in den 1930er Jahren eine Mio. km Straßen und 77.000 Brücken gebaut und mit dem Federal Highway Aid Programm wurde das Land schließlich ab 1956 mit einem umfangreichen Autobahnssystem überzogen.

²⁸ Burkhardt Lutz, *Der kurze Traum immerwährender Prosperität. Eine Neuinterpretation der industriell-kapitalistischen Entwicklung im Europa des 20. Jahrhunderts*, Frankfurt am Main, New York 1989.

um 1970 kamen auf 1000 Einwohner über 300 Fahrzeuge, und in den USA war es gar der doppelte Wert (Abb. 3a). Das kostengünstige Automobil ermöglicht damit erstmals einen flächendeckenden Individualtransport, und die Automobilproduktion wird zum wichtigsten Industriezweig für die ökonomische Durchsetzung des neuen Systems. Dieses Transportsystem verursacht direkt und indirekt enorme Material- und Energieflüsse in der Produktion und im täglichen Betrieb:²⁹ Je Automobil werden in der Herstellung bis zu 30 t Materialien verbraucht. In den USA gingen noch in den 1990er Jahren 10-30% aller genutzten Metalle und zwei Drittel der Gummiproduktion in die Automobilindustrie. Auch Aufbau und Erhaltung der erforderlichen Verkehrsinfrastruktur braucht Material und Energie. Pro Kilometer Autobahn werden 40.000 Tonnen Zement, Stahl, Sand und Schotter benötigt und der Flächenbedarf für Straßen ist 10 bis 15 mal so hoch wie der für die Eisenbahn. Der Transportsektor löst in dieser Phase die Industrie als größten direkten Energieverbraucher ab. Der Kraftstoffverbrauch der KFZ-Flotte wird neben dem Energiebedarf für Raumwärme zum größten Einzelfaktor im gesellschaftlichen Energieverbrauch von Industrieländern

Abb. 3: Elektrizitätserzeugung und Kraftfahrzeugbestände im 20. Jahrhundert



Datenquellen: Eigene Berechnungen nach Mitchell 2003 und Maddison 2008.³⁰

Elektrifizierung

Elektrizität wird bereits seit dem späten 19. Jahrhunderts kommerziell genutzt. Ihre Erzeugung ist nicht an einen bestimmten Primärenergieträger gebunden. Strom wurde zuerst aus Wasserkraft erzeugt, dann in thermischen Kraftwerken aus Kohle und später aus Öl, Gas oder Müll, und schließlich seit den 1960er Jahren auch in Kernkraftwerken. Ausgehend von den USA, wurde die flächendeckende Elektrifizierung zu einer Grundvoraussetzung industrieller Entwicklung und Massenwohlfahrt im 20.

²⁹ Peter Freund und George Martin, *The Ecology of the Automobile*, Montreal 1993.

³⁰ Mitchell, *Statistics*; Maddison, *Statistics*.

Jahrhundert. Der Bedarf nach Elektrizität steigt ständig an, wobei die Zunahme direkt an wirtschaftliches Wachstum gekoppelt ist. In allen Industrieländern lässt sich ein kontinuierlicher Anstieg auf heute 8-10 MWh pro Kopf und Jahr beobachten (siehe Abb. 3b); in den USA ist der Stromverbrauch allerdings doppelt so hoch. Die Erzeugung von Strom braucht riesige Mengen an Energie, zumal bis zu 70% der Primärenergie bei der Stromerzeugung und Übermittlung verloren gehen. In Industrieländern werden 20 bis 25% der Primärenergie für die Stromerzeugung verwendet. Die einzelnen Länder gehen dabei unterschiedliche Wege und setzen je nach Ressourcenausstattung auf Wasserkraft (Österreich, Schweden), Kernenergie (Frankreich) und vor allem auf Kohle (dies trifft vor allem für die neu industrialisierenden Länder wie China oder Indien zu). Zwei Drittel der derzeitigen Weltkohleförderung gehen in daher in thermische Kraftwerke. Alle Technologien haben ihre spezifischen negativen Umwelteffekte: Wasserkraft stellt einen Eingriff in Ökosysteme dar und es gibt nur mehr wenige Flusssysteme, die in einem natürlichen Zustand sind; thermische Kraftwerke tragen einen großen Teil zu den globalen CO₂ Emissionen bei; Kernenergie ist mit hohen Risiken verbunden (Three Mile Island 1979 in den USA; Tschernobyl 1986 in der Ukraine) und dem ungelösten Problem der Lagerung langlebiger radioaktiver Abfälle. Heute werden etwa 15% der Elektrizität durch Kernenergie produziert, wobei die drei Nationen USA, Frankreich und Japan 56% der Kapazität halten.

Elektrizität ist universell und komfortabel einsetzbar und kann zur Beleuchtung, Wärmeerzeugung oder zur Verrichtung mechanischer Arbeit verwendet werden. Der Elektromotor erlaubt die Mechanisierung sehr diffiziler Prozesse. Er hat etwa die Zeitverwendung in Haushalten durch die Verbreitung von Geräten wie Waschmaschine, Geschirrspüler und Staubsauger revolutioniert und eine weitgehende Entkoppelung von physischer Arbeit und Produktionsprozessen in der Industrie ermöglicht. Und schließlich sorgten Transistor und Computerchip für eine Revolution in der Informations- und Kommunikationstechnologie (Telefon, Fernsehen und Computertechnologie).

Die grüne Revolution

Wie gezeigt wurde, konnten die USA im 19. Jahrhundert dank ihrer hochproduktiven Landwirtschaft die Schwächen des englischen Transformationsmodells (nämlich Schwierigkeiten in der Nahrungsversorgung einer dichten und wachsenden Bevölkerung) erfolgreich kompensieren und zu ihrem Vorteil nutzen. Es stellte sich aber heraus, dass diese landwirtschaftliche Produktivität kein langfristiges Potential hatte und bereits nach wenigen Jahrzehnten auf massive ökologische Beschränkungen stieß: Die hohen Flächenerträge bei geringem Arbeitseinsatz waren nur möglich, weil die erstmals umgepflügten Prärieböden riesige Reservoirs an über historische Zeiträume akkumulierten Pflanzennährstoffen enthielten. Diese Reservoirs nahmen in den ersten Jahrzehnten nach dem Pflügen allerdings schnell ab. Die Erträge begannen zu sinken und massive Erosionsprobleme stellten sich ein.³¹ Unter der Voraussetzung der günstigen Verfügung über Erdöl konnte nun mit einem Bündel von Technologien, die an diese neue Energieressource gekoppelt sind, ein neues Erfolgsmodell für die Landwirtschaft geschaffen werden. Der Traktor erlaubte die Substitution aller tierischen und eines Großteils der menschlichen Arbeitskraft in der Landwirtschaft, ähnlich wie die Motorsäge die Geschwindigkeit des Baumfällens um einen Faktor 100-1000 gegenüber der Axt erhöhte (und so das rasante Abholzen von Regenwäldern

³¹ Geoff Cunfer, *On the Great Plains: Agriculture and Environment*, College Station 2005.

ermöglichte). Zum anderen half die auf Petroleum und Erdgas basierende Agrochemie die chronische Nährstofflimitation der Landwirtschaft aufzuheben. Im Haber-Bosch-Verfahren wurden ab den 1920er Jahren unter hohem Energieeinsatz riesige Mengen an Luftstickstoff für die Landwirtschaft verfügbar gemacht.³² Die durchschnittlichen Stickstoffgaben im Ackerbau wurden dadurch auf mehrere 100 kg gesteigert. Gemeinsam mit mineralischen Kalium- und Phosphatdüngern, Pflanzenschutzmitteln, Erfolgen in der Pflanzen- und Tierzucht konnten Flächenerträge und Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft innerhalb kürzester Zeit vervielfacht werden.³³

Ausgehend von den USA und getragen von deren global agierenden Agrarkonzernen, verbreiteten sich diese neuen landwirtschaftlichen Methoden unter der Bezeichnung ‚die grüne Revolution‘ über die ganze Welt.³⁴ In Europa fanden sie ihre Anwendung nach dem 2. Weltkrieg und erlaubten, den Anteil landwirtschaftlich tätiger Bevölkerung auf 5% oder weniger zu senken. Die ‚grüne Revolution‘ erfasste auch große Teile der Landwirtschaft in den Ländern des Südens und schuf eine Voraussetzung dafür, dass die globale Nahrungsproduktion mit der Vervielfachung der Weltbevölkerung im 20. Jahrhundert Schritt halten konnte.

Die Industrialisierung der Landwirtschaft führte zu einer massiven Umgestaltung der Agrarlandschaft, die erst maschinengerecht gemacht werden musste, und zu einer Reihe spezifischer Umweltprobleme: Es wurden große Feldeinheiten geschaffen, aus denen man alle Raine, Gehölze und geländemorphologischen Hindernisse entfernte. Die Bearbeitung mit schwerem Gerät förderte Bodenverdichtung und Erosion, und großflächige Monokulturen erforderten einen hohen Einsatz an Agrochemikalien, die Böden und Grundwasser belasteten. Auch der Stellenwert der Landwirtschaft im gesellschaftlichen Stoffwechsel und im Energiesystem veränderte sich grundlegend. Die industrialisierte Landwirtschaft hat einen hohen Energieaufwand. Heute wird mehr Energie in die Agrarproduktion investiert, als letztlich in Form von Nahrung gewonnen wird. Mitverantwortlich dafür ist die große Menge hochwertiger Agrarprodukte, die man an Nutztiere verfüttert. Insgesamt hat sich damit die Landwirtschaft im Laufe der sozialmetabolischen Transformation von der wichtigsten Quelle gesellschaftlich nutzbarer Energie zu einer Energiesenke gewandelt.³⁵ Die Gesellschaft hat sich mit der industriellen Transformation für den wichtigsten Teil ihres Stoffwechsels, nämlich die Ernährung der Bevölkerung, von reichlich fließenden externen Energiequellen abhängig gemacht.

Ungeachtet dessen schuf die ‚grüne Revolution‘ die Voraussetzung für ein neues Verhältnis zwischen den industriellen Zentren und der globalen Peripherie. Es schwand der Bedarf der dicht besiedelten europäischen Länder nach kolonialen Territorien (ein Bedarf, der in dem von den USA getragenen Entwicklungsmodell ohnehin nie gegeben war); unter klarer politischer und militärischer Führung durch die USA galt als erste Priorität, der Gefahr einer planwirtschaftlichen, sozialistischen oder

³² Vaclav Smil, *Enriching the Earth. Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, Cambridge, MA 2001.

³³ David B. Grigg, *The Transformation of Agriculture in the West*, Oxford 1992.

³⁴ Der Begriff der *green revolution* wurde erstmals von 1968 von William S. Gaud, dem Direktor der US-Amerikanischen Entwicklungshilfe Agentur USAID geprägt. Siehe auch Murray J. Leaf, *Green Revolution*, in: Shepard Krech III u.a. (Hg.), *Encyclopedia of World Environmental History*, London-New York 2004, 615-619.

³⁵ David Pimentel/Marcia Pimentel, *Food, Energy and Society*, London 1979.

staatskapitalistischen Entwicklung vorzubeugen und das kapitalistische Wirtschaftsmodell westlicher Prägung weltweit durchzusetzen.

V. Was nun? Die Grenzen der Dynamik industrieller Transformation seit den 1970er Jahren. Gegenwart und Zukünfte.

Der Anfang vom Ende des USA-dominierten Ölregimes?

Zu Beginn der 1970er Jahre entstand in den USA, auf dem ersten zivilen Großcomputer der Welt, ein komplexes Simulationsmodell des globalen Zusammenhangs von gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Dynamik mit ihren naturalen Voraussetzungen und Folgen unter dem provokanten Titel *Die Grenzen des Wachstums*.³⁶ Die Plausibilität der Ergebnisse dieser Studie von Dennis und Donella Meadows wurde im Folgejahr durch die so genannte erste Ölpreiskrise der Weltwirtschaft unterstrichen. Als Reaktion auf den Yom Kippur Krieg hatten die OPEC Staaten ihre Erdölförderung gedrosselt und von einem Tag auf den anderen stieg der Ölpreis von 3 auf über 5 Dollar pro Barrel. Weitere Ölpreiskrisen folgten in den Jahren 1979 (erster Golfkrieg) und 1990 (zweiter Golfkrieg). Für die USA kam hinzu, dass sie 1970/71, wie im übrigen schon 1956 von M.K. Hubbert³⁷ vorhergesagt, ihren *peak oil* überschritten hatten, also das Maximum ihrer eigenen Ölförderung, und so zunehmend von einem wirtschaftlichen Profiteur des Ölregimes zu einem Nettozahler wurden – zumal auch die mit hohem Aufwand geführten Kriege im Nahen Osten nicht den Erfolg hatten, eine langfristige amerikanische Kontrolle der Ölquellen sicherzustellen. Auch die als neue Energiehoffnung auf die mit großen Investitionen geförderte Kernenergie erfüllte sich nicht so recht. Kernenergie war nicht nur teurer und entwickelte sich technologisch langsamer als erwartet, sie erlitt auch noch in dieser Zeit einen Rückschlag durch den schweren Reaktorunfall auf Three Mile Island (1979).

Weltweit wurden in der Folge wurde eine Reihe von Maßnahmen gesetzt, die den Ölverbrauch reduzierten und den Anstieg des Energieverbrauchs insgesamt deutlich verlangsamen. Es kam zu einem abrupten Einbruch im Material- und Energieverbrauchs in den Industrieländern und zu einem Ende des rasanten Wachstums des gesellschaftlichen pro-Kopf Material- und Energieverbrauchs (Abb. 4 a und b). Ab diesem Zeitpunkt hat sich, für die folgenden drei Jahrzehnte, der Energie- und Materialumsatz in den Industrieländern auf hohem Niveau stabilisiert, und eine weitere Annäherung Europas und Japans an das doppelt so hohe US-amerikanische Niveau blieb aus. Ausgehend von Japan kam es auch zu einer Neuorientierung der Schlüsselindustrie des Ölregimes, der Autoindustrie, in Richtung kleinerer und kraftstoffsparender Fahrzeuge, die sich weltweit durchsetzten. Die US-amerikanische Autoindustrie allerdings blieb auf ihrem angestammten ressourcenintensiven Kurs bis zum Zusammenbruch weiter Teile dieser Industrie in der Krise 2008.

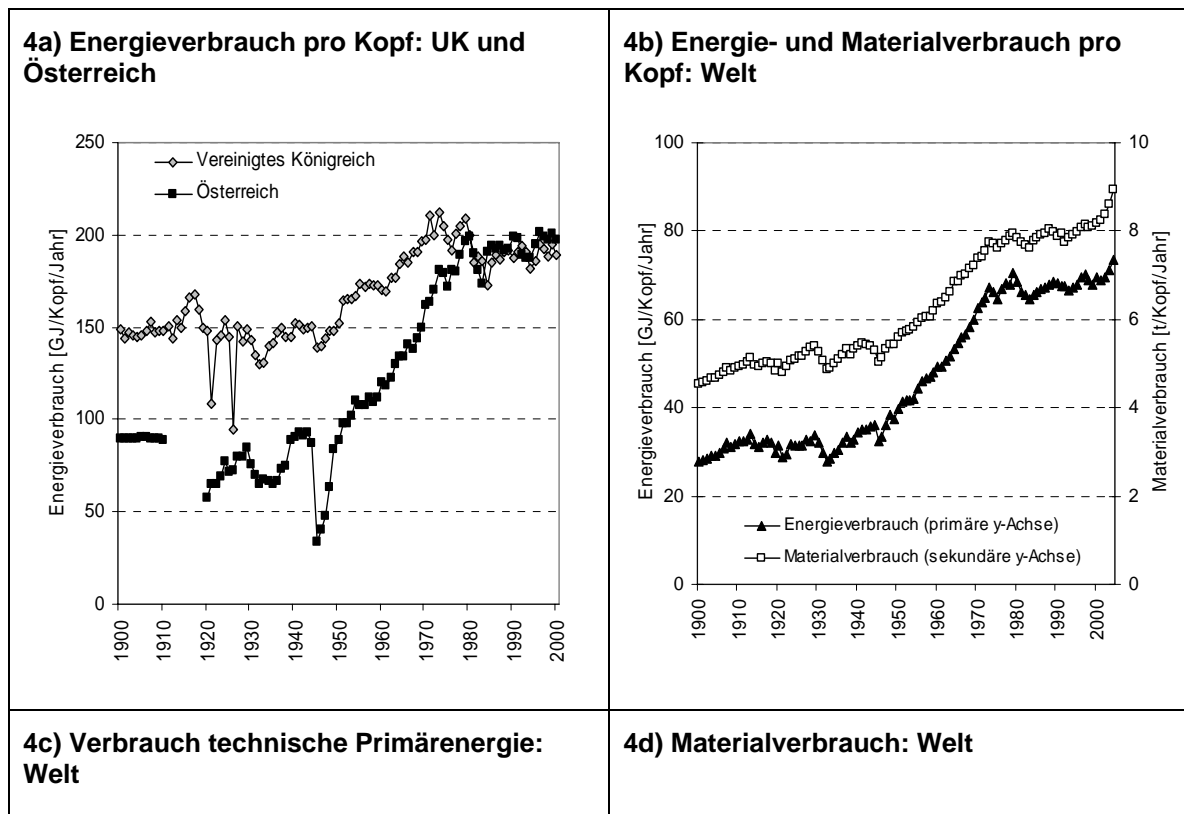
Man kann also diese frühen Siebzigerjahre, kulturell eingeläutet von der weltweiten Studentenrevolte 1968, und militärisch von der Niederlage in Vietnam, als eine Zeit der Wende lesen, in der ein langfristiges von den USA vorangetriebenes sozialmetabolisches Regime des verschwenderischen Umgangs mit Naturressourcen seinem Ende zuing. Zugleich hob ein neues Regime, das der Informations- und

³⁶ Dennis L. Meadows u.a., *Die Grenzen des Wachstums*. Bericht an den Club of Rome, München 1972.

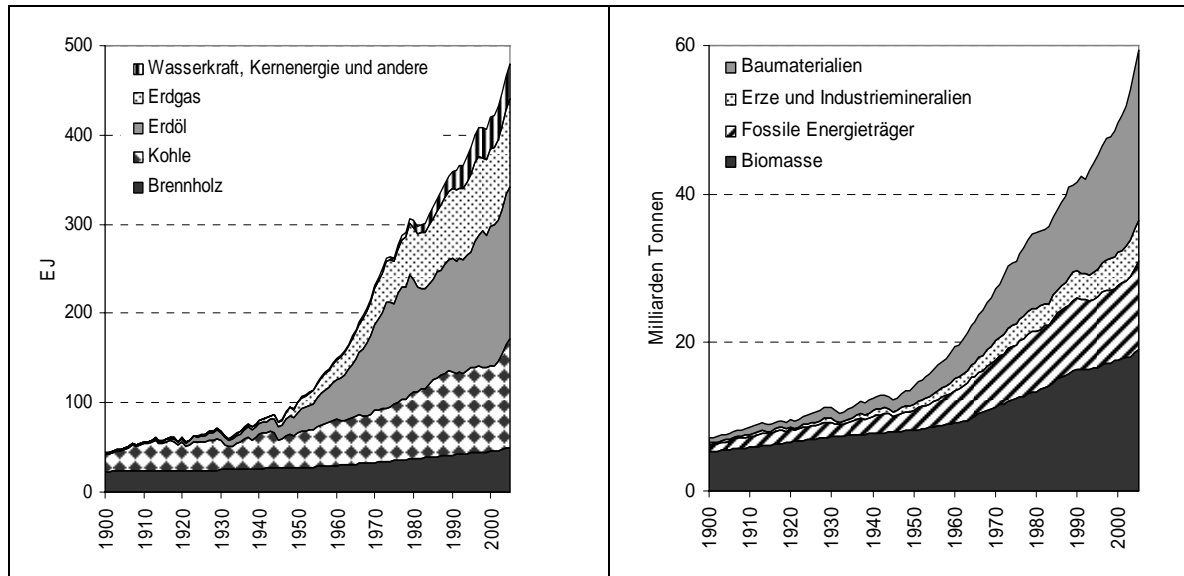
³⁷ Kenneth S. Deffeyes, *Hubbert's Peak, The Impending World Oil Shortage*, Princeton 2001.

Kommunikationstechnologien, gerade an, welches die Chance in sich barg, wichtige menschliche Bedürfnisse mit weniger Ressourcen zu befriedigen. Wenn man diese Zeit so liest, dann muss man zu dem Schluss kommen, dass jedenfalls die USA selbst ihre Zeichen nicht ausreichend verstanden haben und mit aller Macht noch die nächsten Jahrzehnte versuchten, auf dem *business-as-usual* Pfad ihres bisherigen Regimes fortzufahren. Während ihnen auf diesem Pfad der Triumph gegönnt war, den Zusammenbruch des Sowjetreiches zu erleben³⁸, entstand dank des Öl-Regimes eine neue potentiell feindselige Peripherie von vorindustriellen, aber infolge von Ölvorkommen plötzlich ungeheuer reich gewordenen Ländern, von denen viele – ein historisches Zusammentreffen – eine kulturelle Tradition missionarisch-aggressiver religiöser Überzeugung teilten, die sie gegen die USA wendeten.

Abb. 4: Die Entwicklung des globalen energetischen und materiellen gesellschaftlichen Stoffwechsels



³⁸ Aus einer sozialmetabolischen Perspektive entsprach die Sowjetunion und die mit ihr wirtschaftlich und politisch verbundenen Länder noch weitgehend dem englischen Kohle-Stahl-Eisenbahn-Regime, zeichnete sich allerdings durch einen besonders hohen Ressourcenverbrauch bei geringen Einkommen aus.



Datenquellen: nach Krausmann u.a. 2008 und Krausmann u.a. 2009.³⁹

Metabolismus und Umwelt im 21. Jahrhundert

Insgesamt hat die zweite Phase der metabolischen Transition auf globaler Ebene in den letzten 100 Jahren zu einer Steigerung des Materialdurchsatzes von 8 auf 60 Milliarden Tonnen geführt, der Primärenergieverbrauch ist von 50 auf 480 EJ gestiegen (Abb. 5 c und d). Die Vervielfachung des gesellschaftlichen Stoffwechsels wurde zum Teil vom ausgeprägten Wachstum der Weltbevölkerung, die sich in diesem Zeitraum etwa vervierfacht hat, angetrieben. Einen wesentlichen Beitrag leistete aber auch die Steigerung der pro Kopf in den Industrieländern verbrauchten Mengen an Material und Energie. In ausgereiften Industrieländern beträgt der durchschnittliche jährliche Materialdurchsatz in der Regel zwischen 15 und 30 Tonnen, der Energiedurchsatz 200 bis 450 GJ pro Kopf und der Anteil der Biomasse am Materialumsatz unter 30% (Tabelle 1). Mit der metabolischen Transition erfolgte zudem eine enorme Diversifizierung der genutzten Materialien.⁴⁰

Der industrielle Stoffwechsel hat zu einer großen Zahl von regionalen und eine Reihe von globalen Umweltproblemen geführt und die gesellschaftliche Dominanz über natürliche Systeme auf ein völlig neues Niveau gehoben. Am Beginn des 21. Jahrhunderts gibt es praktisch keine vom Menschen unberührten Ökosysteme mehr, viele Arten und Ökosysteme sind verschwunden oder vom Aussterben bedroht.⁴¹ Für viele Umweltprobleme, meist klassische Verschmutzungsprobleme, die durch Industrialisierung und rasantes physisches Wachstum entstanden sind, konnten mit steigendem Reichtum in den Industrieländern durchaus auch technische Lösungen gefunden werden. Es wurden Entsorgungssysteme installiert, problematische Stoffe und Gifte aus dem Verkehr gezogen oder durch Filter, Abbauverfahren und ähnliche Maßnahmen kontrolliert unschädlich gemacht. Rachel Carson hatte in ihrem 1962

³⁹ Fridolin Krausmann u.a., Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom, in: *Ecological Economics* 65 (2008) H. 1, 187-201; Krausmann, Growth.

⁴⁰ In elektronischen Geräten wie PCs oder Mobiltelefonen werden bis zu 60 verschiedene Metalle, darunter äußerst seltene, verarbeitet. Deren Recycling ist angesichts der kleinen Dosen und feinen Verteilung chancenlos. Siehe Lorenz M. Hilty, *Information Technology and Sustainability. Essays on the Relationship between Information Technology and Sustainable Development.*, Norderstedt 2008, 168.

⁴¹ Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being, Volume 1: Current State and Trends*, Washington, Covelo, London 2005.

erschienenen Buch *Silent Spring* die gesundheitlichen und ökologischen Folgen der weitverbreiteten Anwendung von DDT in der Landwirtschaft, einem höchst effizientem Insektizid, aufgedeckt;⁴² Anfang der 1970er Jahre wurde das Gift schließlich (wenigstens in den Industrieländern) verboten. Ein anderes Beispiel ist saurer Regen und das dadurch verursachte Waldsterben: Schwefeldioxid wird durch die Verbrennung fossiler Energieträger in großen Mengen freigesetzt und führt durch die Bildung von Schwefelsäure zu saurem Regen. In den 1970er Jahren rückte dieses bereits lange bekannte Phänomen ins Zentrum des umweltpolitischen Diskurses, man befürchtete großflächiges Waldsterben und die Versauerung von Gewässern. Das führte schließlich zu rigiden Luftreinhaltesetzen, und relativ rasch setzten sich Filtertechnologien bzw. die Entschwefelung von Energieträgern durch; die Emissionen wurden weitgehend reduziert. Und schließlich sei auch noch das Ozonloch erwähnt: Bereits 5 Jahre nach der Entdeckung des Ozonloches im Jahr 1985 wurde ein weitreichendes Verbot der Verwendung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen erlassen und auch umgesetzt, seither schließt sich das Ozonloch langsam. Solcherart konnten einige große Umweltprobleme erfolgreich eingedämmt oder ganz eliminiert werden – dabei spielte die neu entstandene Umweltpolitik eine große Rolle.

Mit Umweltpolitik allein ist jedoch jenen grundlegenden Umweltproblemen, die sich mit der metabolischen Transition einstellen, nicht beizukommen. Insgesamt haben die vom Menschen verursachten Materialflüsse mittlerweile eine ähnliche Größenordnung erreicht wie die Materialmengen, die in biogeochemischen Prozessen des Planeten umgesetzt werden: Man schätzt, dass sich die Menschheit am Beginn des 21. Jahrhunderts zum Beispiel bereits fast 30% der jährlich nachwachsenden Biomasse aneignet und damit einen großen Teil der Lebensgrundlage aller tierischen Organismen.⁴³ Dies gilt in einer Situation und zu einem Zeitpunkt, wo erst rund eine Milliarde Menschen gemäß einem industriellen Stoffwechselprofil leben, während die übrigen 5 Milliarden ein solches zu erreichen trachten und zum Teil in größter Armut existieren. Tabelle 1 zeigt die großen Unterschiede, die auf globaler Ebene in den sozialmetabolischen Profilen verschiedener Länder existieren und weist auf die enge Koppelung zwischen Volkseinkommen (gemessen in BIP pro Kopf) und den dargestellten Indikatoren für Ressourcen- und Umweltverbrauch hin. Zwischen den wohlhabenden Industrieländern und den ärmsten Ländern der Welt klafft ein Unterschied von ein bis zwei Größenordnungen und im allgemeinen gilt, je höher das pro Kopf BIP eines Land umso höher ist auch der Umweltverbrauch.

⁴² Rachel Carson, *Silent Spring*, Boston 1962.

⁴³ Helmut Haberl u.a., Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (2007) 12942-12947.

Tabelle 1: Sozialmetabolische Profile von ausgewählter Länder im Jahr 2000

	BIP pro Kopf (Enkommen) \$/Kopf/Jahr	Material- verbrauch t/Kopf/Jahr	Energie- verbrauch GJ/Kopf/Jahr	CO ₂ Emissionen tC/Kopf/Jahr	Stromverbrauch GJ/Kopf/Jahr	Kraftfahrzeuge #/1000 EW	Ökologischer Fussabdruck ha/Kopf
USA	31.618	28	440	5,6	52	761	9,6
Japan	23.804	16	202	2,5	31	551	4,4
Frankreich	23.735	17	252	1,6	29	548	5,6
Deutschland	23.391	20	225	2,7	25	553	4,5
UK	22.560	12	214	2,6	24	418	5,6
Korea	14.010	15	208	2,5	20	223	4,1
Argentinien	11.012	22	227	1,0	9	204	2,3
Mexiko	8.231	15	117	1,0	7	144	2,6
Brasilien	6.646	16	139	0,5	8	92	2,1
China	3.491	7	55	0,6	4	10	1,6
Indien	2.234	6	37	0,3	2	11	0,8

Datenquellen: World Bank Group 2007 (Bruttoinlandsprodukt in USD des Jahres 2000, Kaufkraftbereinigt); Krausmann u.a. 2008 (Material- und Energieverbrauch); Marland u.a. 2007 (CO₂ Emissionen); IEA 2007 (Stromverbrauch); United Nations 2004 (Kraftfahrzeugbestand); Global Footprint Network (ökologischer Fußabdruck)⁴⁴

Nicht nur die USA haben Anfang der Siebzigerjahre die Zeichen der Zeit nicht richtig erkannt – das gleiche kann man von den übrigen Industrieländern sagen. Es ist nicht gelungen, mit einem neuen metabolischen Profil der Informations- und Kommunikationsgesellschaft die alten Ressourcen vernichtenden Strukturen des industriellen Regimes zu substituieren, sondern die Neuerungen wurden lediglich hinzugefügt. Damit wurde vorerst auch die Chance vertan, aufstrebenden Entwicklungsländern ein neues Modell technologischer und wirtschaftlicher Entwicklung vorzuführen, das um einen ökologisch weitaus geringeren Preis ein hohes Maß an Lebensqualität zu bieten hätte. Nun spitzt sich global die Dynamik der gesellschaftlichen Naturverhältnisse auf große Krisen, wenn nicht Katastrophen, zu. Ein Aufholprozess von derzeit zwei Drittel der Weltbevölkerung auf das gegenwärtige metabolische Niveau der entwickelten Industriegesellschaften würde, selbst wenn man hohe Effizienzgewinne annimmt, fast eine Verdreifachung der jährlichen Ressourcenentnahme bis 2050 bedeuten. Dies im Bezug auf Nahrung für machbar zu erklären schafft die dafür zuständige internationale Organisation der UNO, die FAO, nur unter Vernachlässigung limitierender Faktoren wie Energieverteuerung, Wassermangel und Bodenerosion.⁴⁵ Im Bezug auf technische Energie bedeutet ein

⁴⁴ The World Bank Group. World Development Indicators 2007 (CD-ROM), Washington 2007; Fridolin Krausmann u.a., The global socio-metabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories, in: Journal of Industrial Ecology 12 (2008) H. 5/6, 637-656; G. Marland u.a., Global, Regional, and National CO₂ Emissions, in: Trends: A Compendium of Data on Global Change, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2007; International Energy Agency (IEA), Energy; United Nations, Statistical Yearbook 2001, New York 2004; Global Footprint Network, Global Data Tables, http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_for_nations/, 06/2006.

⁴⁵ Food and Agriculture Organisation (FAO), World agriculture: towards 2030/2050 - Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups, Rome 2006.

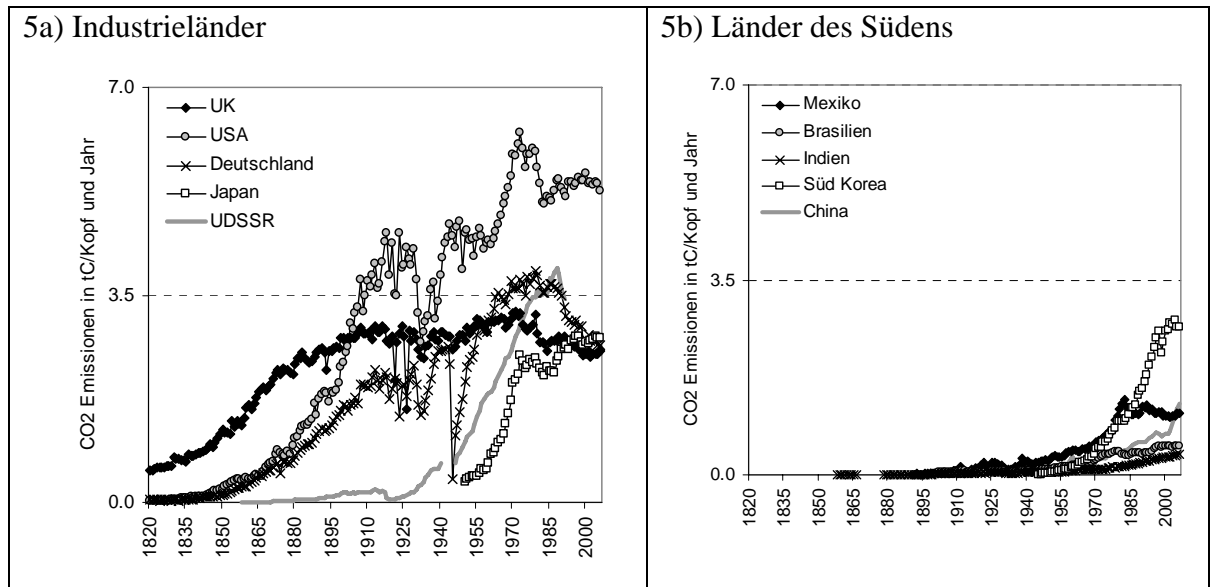
solcher Weg eine Rückkehr zur Kohle, ein Trend, der sich global schon abzeichnet, hohe Kosten verursachen wird oder klimapolitisch in die Katastrophe führt. Was die Süß- und Trinkwasserreserven anlangt, ist schon jetzt die Lage in vielen Weltregionen sehr schlecht, und die Zukunft hängt am seidenen Faden des Klimawandels. Im Bezug auf andere Ressourcen wie Metalle und seltene Erden würde sich die Konkurrenz so sehr verschärfen, dass zunehmende kriegerische Auseinandersetzungen drohen. Derzeit befindet sich die Welt genau auf einem solchen Entwicklungspfad – und in einer Weltwirtschaftskrise, die vielleicht eine Trendwende erzwingt.

Ein politischer Anlauf zu einer solchen Trendwende wurde mit dem Kyoto-Protokoll unternommen und dem Versuch, die Emissionen des Hauptprodukts des industriellen Stoffwechsels, nämlich Kohlendioxid, global einzuschränken. CO₂ und andere sogenannte Treibhausgase sind verantwortlich für eine in der Menschheitsgeschichte noch nie dagewesene Veränderung biogeochemischer Kreisläufe mit gravierenden Auswirkungen auf das globale Klimasystem. Steigende Emissionen von Treibhausgasen sind eine direkte Folge zunehmender Verbrennung fossiler Energieträger. Derzeit werden weltweit über 8 Giga Tonnen (Gt) Kohlenstoff emittiert, das entspricht einer weltweiten Pro Kopf Rate von 1.5 Tonnen pro Jahr. Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der CO₂ Emissionen in einer Reihe ausgewählter Industrie- und Entwicklungsländer. Die Entwicklung der Emissionsraten spiegelt sehr gut die Phasen der globalen metabolischen Transition wieder: Die Emissionsrate in England lag um 1750, also in der Frühphase der industriellen Revolution, bei etwa 250 kg Kohlenstoff (C) pro Kopf.⁴⁶ Sie verdoppelte sich bis 1800 auf 500 kg und bis 1850 noch einmal auf 1000 kg. Die europäischen Nachzügler und die USA erreichten den Schwellenwert von 250 kg erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts, brauchten aber deutlich weniger Zeit für die nächsten Verdoppelungen auf 500 und schließlich 1000 kg.

Eine zweite Aufholjagd setzte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein, als aufstrebende Industrienationen in Europa (UDSSR), Ostasien (Japan und später auch Nord- und Südkorea) und Lateinamerika (Mexiko) ihre CO₂ Emissionen innerhalb von nur zwei bis drei Jahrzehnten von 250 kg C pro Kopf und Jahr auf über 1000 kg steigerten. Für den weitaus größten Teil der Welt steht dieser Prozess allerdings noch aus: Große Ökonomien wie Indien oder Brasilien weisen am Beginn des 21. Jahrhunderts noch immer sehr niedrige Emissionsraten von unter 500 kg pro Kopf und Jahr auf. In den Industrieländern werden heute im Mittel 3,5 t C pro Kopf und Jahr emittiert, in allen anderen Ländern weniger als 0,5 t pro Kopf und Jahr. Um die globale durchschnittliche Erwärmung auf die geforderte Obergrenze von plus 2 Grad zu beschränken, ist eine Reduktion der durchschnittlichen Emissionsrate pro Kopf auf 0,5 t erforderlich.

⁴⁶ Kohlendioxid (CO₂) Emissionen werden meist in Tonnen Kohlenstoff (C) angegeben. Eine Tonne C entspricht 3,67 Tonnen CO₂

Abbildung : CO₂ Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und aus der Zementproduktion in ausgewählten Ländern. Angaben in Tonnen Kohlenstoff (C) pro Kopf und Jahr. a) Industrieländer b) Länder des Südens



Quelle: Eigene Berechnungen nach Marland 2007 (CO₂ Emissionen); Maddison 2008 (Bevölkerung).⁴⁷

Schluss

Am Beginn des 21. Jahrhunderts gibt es die unterschiedlichsten Vorstellungen darüber, mit welchen Mitteln der globalen ökologischen Krise beizukommen ist - oder das Vorhanden-Sein einer solche Krise wird überhaupt bezweifelt. Da gibt es die Hoffnung auf technologische Lösungen, die es erlauben sollen, den bisher beschrittenen ökonomischen Wachstums-Pfad mehr oder weniger ungestört weiter zu gehen. Man setzt darauf, dass, ähnlich wie in der Vergangenheit, technologische *end of pipe* Lösungen greifen werden, und will das Klimaproblem durch sogenanntes *Geo-engineering*⁴⁸ in den Griff bekommen: Dazu zählen die Versuche, die Aufnahmekapazität der Ozeane für Treibhausgase durch großflächige Düngung zu steigern, durch künstliche Wolkenbildung die Reflexion der Sonneneinstrahlung zu erhöhen oder durch *Carbon Capture and Storage (CCS)*⁴⁹ emittiertes Kohlendioxid einzufangen und unterirdisch einzulagern.

Andere setzen auf Effizienzgewinne, durch die Produkte und Dienstleistungen mit deutlich weniger Energie- und Materialaufwand bereitgestellt werden könnten, wodurch ermöglicht werden soll, den gesellschaftlichen Stoffwechsel von wirtschaftlicher Entwicklung zu entkoppeln.⁵⁰ Im Verbund mit einer sparsameren Lebensweise und der Nutzung von neuen und kohlenstofffreien Energiequellen, von Windkraft über Solarstrom bis zur Kernenergie, soll wirtschaftliches Wachstum möglich bleiben,

⁴⁷ Marland, CO₂ Emissions; Maddison, Statistics.

⁴⁸ National Academy of Sciences, Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation, and the Science Base, Washington, DC, 1992, 433-464.

⁴⁹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Working Group III, IPCC special report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge u.a. 2005, 442 ff.

⁵⁰ Ernst Ulrich von Weizsäcker u.a., Faktor Vier - Doppelter Wohlstand, halbiertes Naturverbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome, München 1995.

während gleichzeitig der Druck auf das Weltklima und die Umwelt im allgemeinen reduziert würde. Und schließlich gibt es auch radikalere Vorstellungen, die eine völlige Abkehr vom gängigen Wachstumsparadigma (*de-growth*) und damit ein neues Gesellschaftsmodell fordern, denn nur so könnten die physischen Lebensgrundlagen für eine wachsende Weltbevölkerung auf Dauer erhalten bleiben.⁵¹

Die historische Perspektive liefert hier keine eindeutigen Antworten, aber sie liefert wichtige Einsichten. Es wird deutlich, dass der hohe Material- und Energiebedarf der Industriegesellschaft strukturell bedingt sind und sich nicht einfach durch sparsameres Haushalten reduzieren lassen. Wirtschaftliche Entwicklung und Stoffwechsel sind im industriellen sozialmetabolischen Regime aufs engste miteinander verknüpft, und die teilweise enormen Effizienzgewinne haben in der Vergangenheit nie zu einer Reduktion im Stoffwechsel geführt, sondern eher weiteres Wachstum angetrieben.⁵² Die historische Perspektive zeigt zwar, dass in der Vergangenheit oft technologische Lösungen gegriffen haben, aber eben auch, dass mit technischen Lösungen immer wieder neuartige Probleme entstehen und sich eine Risikospirale weiter dreht. Letztlich wird die Gesellschaft zur Kenntnis nehmen müssen, dass physisches Wachstum begrenzt ist und dass es daher darum geht, menschliche Lebensqualität von weiterem Material- und Energieverbrauch zu entkoppeln. Das wird nicht allein über technologische Lösungen zu haben sein, sondern bedarf tiefgreifender gesellschaftlicher Veränderungen. Solche Veränderungen werden sich einstellen, unabhängig davon, ob das die relevanten politischen und ökonomischen Akteure wollen oder nicht. Die Vertreter des Konzepts nachhaltiger Entwicklung sind der Meinung, dass es klüger wäre, eine solche Wende proaktiv zu betreiben.

Dank

Wir möchten uns herzlich bei Rolf Peter Sieferle, der diesen Text freundlicherweise durchgesehen hat, für seine hilfreichen Kommentare bedanken. Dank gebührt weiters Michael Neundlinger, der uns bei der Sammlung und Aufbereitung des verwendeten Datenmaterials unterstützt hat.

⁵¹ Im April 2008 fand in Paris die erste wissenschaftliche Konferenz zum Thema *degrowth* „Economic De-growth for ecological sustainability and social equity“ statt. Siehe <http://events.it-sudparis.eu/degrowthconference/en/>.

⁵² Robert U. Ayres/Benjamin Warr, *The economic growth engine: How energy and work drive material prosperity*, Cheltenham, UK and Northampton MA, US 2009.

Band 1

Umweltbelastungen in Österreich als Folge menschlichen Handelns. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut. Fischer-Kowalski, M., Hg. (1987)

Band 2*

Environmental Policy as an Interplay of Professionals and Movements - the Case of Austria. Paper to the ISA Conference on Environmental Constraints and Opportunities in the Social Organisation of Space, Udine 1989. Fischer-Kowalski, M. (1989)

Band 3*

Umwelt & Öffentlichkeit. Dokumentation der gleichnamigen Tagung, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut in Wien, (1990)

Band 4*

Umweltpolitik auf Gemeindeebene. Politikbezogene Weiterbildung für Umweltgemeinderäte. Lackner, C. (1990)

Band 5*

Verursacher von Umweltbelastungen. Grundsätzliche Überlegungen zu einem mit der VGR verknüpfbaren Emittenteninformationssystem. Fischer-Kowalski, M., Kissler, M., Payer, H., Steurer A. (1990)

Band 6*

Umweltbildung in Österreich, Teil I: Volkshochschulen. Fischer-Kowalski, M., Fröhlich, U.; Harauer, R., Vymazal R. (1990)

Band 7

Amtliche Umweltberichterstattung in Österreich. Fischer-Kowalski, M., Lackner, C., Steurer, A. (1990)

Band 8*

Verursacherbezogene Umweltinformationen. Bausteine für ein Satellitensystem zur österr. VGR. Dokumentation des gleichnamigen Workshop, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut, Wien (1991)

Band 9*

A Model for the Linkage between Economy and Environment. Paper to the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991. Dell'Mour, R., Fleissner, P., Hofkirchner, W., Steurer A. (1991)

Band 10

Verursacherbezogene Umweltindikatoren - Kurzfassung. Forschungsbericht gem. mit dem Österreichischen Ökologie-Institut. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H.; Steurer, A., Zangerl-Weisz, H. (1991)

Band 11

Gezielte Eingriffe in Lebensprozesse. Vorschlag für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut. Haberl, H. (1991)

Band 12

Gentechnik als gezielter Eingriff in Lebensprozesse. Vorüberlegungen für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut. Wenzl, P.; Zangerl-Weisz, H. (1991)

Band 13

Transportintensität und Emissionen. Beschreibung österr. Wirtschaftssektoren mittels Input-Output-Modellierung. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut. Dell'Mour, R.; Fleissner, P.; Hofkirchner, W.; Steurer, A. (1991)

Band 14

Indikatoren für die Materialintensität der österreichischen Wirtschaft. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut. Payer, H. unter Mitarbeit von K. Turetschek (1991)

Band 15

Die Emissionen der österreichischen Wirtschaft. Systematik und Ermittelbarkeit. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut. Payer, H.; Zangerl-Weisz, H. unter Mitarbeit von R.Fellinger (1991)

Band 16

Umwelt als Thema der allgemeinen und politischen Erwachsenenbildung in Österreich. Fischer-Kowalski M., Fröhlich, U.; Harauer, R.; Vymazal, R. (1991)

Band 17

Causer related environmental indicators - A contribution to the environmental satellite-system of the Austrian SNA. Paper for the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H., Steurer, A. (1991)

Band 18

Emissions and Purposive Interventions into Life Processes - Indicators for the Austrian Environmental Accounting System. Paper to the ÖGBPT Workshop on Ecologic Bioprocessing, Graz 1991. Fischer-Kowalski M., Haberl, H., Wenzl, P., Zangerl-Weisz, H. (1991)

Band 19

Defensivkosten zugunsten des Waldes in Österreich. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung. Fischer-Kowalski et al. (1991)

Band 20*

Basisdaten für ein Input/Output-Modell zur Kopplung ökonomischer Daten mit Emissionsdaten für den Bereich des Straßenverkehrs. Steurer, A. (1991)

Band 22

A Paradise for Paradigms - Outlining an Information System on Physical Exchanges between the Economy and Nature. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H. (1992)

Band 23

Purposive Interventions into Life-Processes - An Attempt to Describe the Structural Dimensions of the Man-Animal-Relationship. Paper to the Internat. Conference on "Science and the Human-Animal-Relationship", Amsterdam 1992. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1992)

Band 24

Purposive Interventions into Life Processes: A Neglected "Environmental" Dimension of the Society-Nature Relationship. Paper to the 1. Europ. Conference of Sociology, Vienna 1992. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1992)

Mit * gekennzeichnete Bände sind leider nicht mehr erhältlich.



Band 25

Informationsgrundlagen struktureller Ökologisierung. Beitrag zur Tagung "Strategien der Kreislaufwirtschaft: Ganzheitl. Umweltschutz/Integrated Environmental Protection", Graz 1992. Steurer, A., Fischer-Kowalski, M. (1992)

Band 26

Stoffstrombilanz Österreich 1988. Steurer, A. (1992)

Band 28*

Naturschutzaufwendungen in Österreich. Gutachten für den WWF Österreich. Payer, H. (1992)

Band 29*

Indikatoren der Nachhaltigkeit für die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung - angewandt auf die Region. Payer, H. (1992). In: KudlMudl SonderNr. 1992: Tagungsbericht über das Dorfsymposium "Zukunft der Region - Region der Zukunft?"

Band 31*

Leerzeichen. Neuere Texte zur Anthropologie. Macho, T. (1993)

Band 32

Metabolism and Colonisation. Modes of Production and the Physical Exchange between Societies and Nature. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1993)

Band 33

Theoretische Überlegungen zur ökologischen Bedeutung der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion. Haberl, H. (1993)

Band 34

Stoffstrombilanz Österreich 1970-1990 - Inputseite. Steurer, A. (1994)

Band 35

Der Gesamtenergieinput des Sozio-ökonomischen Systems in Österreich 1960-1991. Zur Erweiterung des Begriffes "Energieverbrauch". Haberl, H. (1994)

Band 36

Ökologie und Sozialpolitik. Fischer-Kowalski, M. (1994)

Band 37*

Stoffströme der Chemieproduktion 1970-1990. Payer, H., unter Mitarbeit von Zangerl-Weisz, H. und Fellinger, R. (1994)

Band 38*

Wasser und Wirtschaftswachstum. Untersuchung von Abhängigkeiten und Entkoppelungen, Wasserbilanz Österreich 1991. Hüttler, W., Payer, H. unter Mitarbeit von H. Schandl (1994)

Band 39

Politische Jahreszeiten. 12 Beiträge zur politischen Wende 1989 in Ostmitteleuropa. Macho, T. (1994)

Band 40

On the Cultural Evolution of Social Metabolism with Nature. Sustainability Problems Quantified. Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1994)

Band 41

Weiterbildungslehrgänge für das Berufsfeld ökologischer Beratung. Erhebung u. Einschätzung der Angebote in Österreich sowie von ausgewählten Beispielen in Deutschland, der Schweiz, Frankreich, England und europaweiten Lehrgängen. Rauch, F. (1994)

Band 42

Soziale Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung. Fischer-Kowalski, M., Madlener, R., Payer, H., Pfeffer, T., Schandl, H. (1995)

Band 43

Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen. Sozio-ökonomische Aneignung von Nettoprimärproduktion in den Bezirken Österreichs. Haberl, H. (1995)

Band 44

Materialfluß Österreich 1990. Hüttler, W., Payer, H.; Schandl, H. (1996)

Band 45

National Material Flow Analysis for Austria 1992. Society's Metabolism and Sustainable Development. Hüttler, W., Payer, H., Schandl, H. (1997)

Band 46

Society's Metabolism. On the Development of Concepts and Methodology of Material Flow Analysis. A Review of the Literature. Fischer-Kowalski, M. (1997)

Band 47

Materialbilanz Chemie-Methodik sektoraler Materialbilanzen. Schandl, H., Weisz, H. Wien (1997)

Band 48

Physical Flows and Moral Positions. An Essay in Memory of Wildavsky. A. Thompson, M. (1997)

Band 49

Stoffwechsel in einem indischen Dorf. Fallstudie Merkar. Mehta, L., Winiwarter, V. (1997)

Band 50+

Materialfluß Österreich- die materielle Basis der Österreichischen Gesellschaft im Zeitraum 1960-1995. Schandl, H. (1998)

Band 51+

Bodenfruchtbarkeit und Schädlinge im Kontext von Agrargesellschaften. Dirlinger, H., Fliegenschnee, M., Krausmann, F., Liska, G., Schmid, M. A. (1997)

Band 52+

Der Naturbegriff und das Gesellschaft-Natur-Verhältnis in der frühen Soziologie. Lutz, J. Wien (1998)

Band 53+

NEMO: Entwicklungsprogramm für ein Nationales Emissionsmonitoring. Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Jorde, T. (1998)

Band 54+

Was ist Umweltgeschichte? Winiwarter, V. (1998)

Mit + gekennzeichnete Bände sind unter
<http://www.uni-klu.ac.at/socec/inhalt/1818.htm>
Im PDF-Format downloadbar.

Band 55+

Agrarische Produktion als Interaktion von Natur und Gesellschaft: Fallstudie SangSaeng. Grünbühel, C. M., Schandl, H., Winiwarter, V. (1999)

Band 57+

Colonizing Landscapes: Human Appropriation of Net Primary Production and its Influence on Standing Crop and Biomass Turnover in Austria. Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Loibl, W., Schulz, N. B., Weisz, H. (1999)

Band 58+

Die Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover in Österreich durch die menschliche Gesellschaft. Erb, K. H. (1999)

Band 59+

Das Leitbild "Nachhaltige Stadt". Astleithner, F. (1999)

Band 60+

Materialflüsse im Krankenhaus, Entwicklung einer Input-Output Methodik. Weisz, B. U. (2001)

Band 61+

Metabolismus der Privathaushalte am Beispiel Österreichs. Hutter, D. (2001)

Band 62+

Der ökologische Fußabdruck des österreichischen Außenhandels. Erb, K.H., Krausmann, F., Schulz, N. B. (2002)

Band 63+

Material Flow Accounting in Amazonia: A Tool for Sustainable Development. Amann, C., Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Grünbühel, C. M. (2002)

Band 64+

Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950-1995, Eine humanökologische Untersuchung. Darge, E. (2002)

Band 65+

Biomasseeinsatz und Landnutzung Österreich 1995-2020. Haberl, H.; Krausmann, F.; Erb, K.H.; Schulz, N. B.; Adensam, H. (2002)

Band 66+

Der Einfluss des Menschen auf die Artenvielfalt. Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion als Pressure-Indikator für den Verlust von Biodiversität. Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Schulz, N. B., Plutzer, C., Erb, K.H., Krausmann, F., Loibl, W., Weisz, H.; Sauberer, N., Pollheimer, M. (2002)

Band 67+

Materialflussrechnung London. Bongardt, B. (2002)

Band 68+

Gesellschaftliche Stickstoffflüsse des österreichischen Landwirtschaftssektors 1950-1995, Eine humanökologische Untersuchung. Gaube, V. (2002)

Band 69+

The transformation of society's natural relations: from the agrarian to the industrial system. Research strategy for an empirically informed approach towards a European Environmental History. Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Schandl, H. (2003)

Band 70+

Long Term Industrial Transformation: A Comparative Study on the Development of Social Metabolism and Land Use in Austria and the United Kingdom 1830-2000. Krausmann, F., Schandl, H., Schulz, N. B. (2003)

Band 72+

Land Use and Socio-economic Metabolism in Pre-industrial Agricultural Systems: Four Nineteenth-century Austrian Villages in Comparison. Krausmann, F. (2008)

Band 73+

Handbook of Physical Accounting Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA – EFA – HANPP. Schandl, H., Grünbühel, C. M., Haberl, H., Weisz, H. (2004)

Band 74+

Materialflüsse in den USA, Saudi Arabien und der Schweiz. Eisenmenger, N.; Kratochvil, R.; Krausmann, F.; Baart, I.; Colard, A.; Ehgartner, Ch.; Eichinger, M.; Hempel, G.; Lehrner, A.; Müllauer, R.; Nourbakhch-Sabet, R.; Paler, M.; Patsch, B.; Rieder, F.; Schembera, E.; Schieder, W.; Schmiedl, C.; Schwarzlmüller, E.; Stadler, W.; Wirl, C.; Zandl, S.; Zika, M. (2005)

Band 75+

Towards a model predicting freight transport from material flows. Fischer-Kowalski, M. (2004)

Band 76+

The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption. Weisz, H., Krausmann, F., Amann, Ch., Eisenmenger, N., Erb, K.H., Hubacek, K., Fischer-Kowalski, M. (2005)

Band 77+

Arbeitszeit und Nachhaltige Entwicklung in Europa: Ausgleich von Produktivitätsgewinn in Zeit statt Geld? Proinger, J. (2005)

Band 78+

Sozial-Ökologische Charakteristika von Agrarsystemen. Ein globaler Überblick und Vergleich. Lauk, C. (2005)

Band 79+

Verbrauchsorientierte Abrechnung von Wasser als Water-Demand-Management-Strategie. Eine Analyse anhand eines Vergleichs zwischen Wien und Barcelona. Machold, P. (2005)

Band 80+

Ecology, Rituals and System-Dynamics. An attempt to model the Socio-Ecological System of Trinket Island. Wildenberg, M. (2005)

Band 81+

Southeast Asia in Transition. Socio-economic transitions, environmental impact and sustainable development. Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., Grünbühel, C., Haas, W., Erb, K.H., Weisz, H., Haberl, H. (2004)
Helmut Haberl

Band 83+

HANPP-relevante Charakteristika von Wanderfeldbau und anderen Langbrachesystemen. Lauk, C. (2006)

Band 84+

Management unternehmerischer Nachhaltigkeit mit Hilfe der Sustainability Balanced Scorecard. Zeitlhofer, M. (2006)

Band 85+

Nicht-nachhaltige Trends in Österreich: Maßnahmenvorschläge zum Ressourceneinsatz. Haberl, H., Jasch, C., Adensam, H., Gaube, V. (2006)

Band 87+

Accounting for raw material equivalents of traded goods. A comparison of input-output approaches in physical, monetary, and mixed units. Weisz, H. (2006)



Band 88+

Vom Materialfluss zum Gütertransport. Eine Analyse anhand der EU15 – Länder (1970-2000).

Rainer, G. (2006)

Band 89+

Nutzen der MFA für das Treibhausgas-Monitoring im Rahmen eines Full Carbon Accounting-Ansatzes; Feasibilitystudie; Endbericht zum Projekt BMLFUW-UW.1.4.18/0046-V/10/2005. Erb, K.-H., Kastner, T., Zandl, S., Weisz, H., Haberl, H., Jonas, M., (2006)

Band 90+

Local Material Flow Analysis in Social Context in Tat Hamelt, Northern Mountain Region, Vietnam. Hobbes, M.; Kleijn, R. (2006)

Band 91+

Auswirkungen des thailändischen logging ban auf die Wälder von Laos. Hirsch, H. (2006)

Band 92+

Human appropriation of net primary production (HANPP) in the Philippines 1910-2003: a socio-ecological analysis. Kastner, T. (2007)

Band 93+

Landnutzung und landwirtschaftliche Entscheidungsstrukturen. Partizipative Entwicklung von Szenarien für das Traisental mit Hilfe eines agentenbasierten Modells. Adensam, H., V. Gaube, H. Haberl, J. Lutz, H. Reisinger, J. Breinesberger, A. Colard, B. Aigner, R. Maier, Punz, W. (2007)

Band 94+

The Work of Konstantin G. Gofman and colleagues: An early example of Material Flow Analysis from the Soviet Union. Fischer-Kowalski, M.; Wien (2007)

Band 95+

Partizipative Modellbildung, Akteurs- und Ökosystemanalyse in Agrarintensivregionen; Schlußbericht des deutsch-österreichischen Verbundprojektes. Newig, J., Gaube, V., Berkhoff, K., Kaldrack, K., Kastens, B., Lutz, J., Schlußmeier B., Adensam, H., Haberl, H., Pahl-Wostl, C., Colard, A., Aigner, B., Maier, R., Punz, W.; Wien (2007)

Band 96+

Rekonstruktion der Arbeitszeit in der Landwirtschaft im 19. Jahrhundert am Beispiel von Theyern in Niederösterreich. Schaschl, E.; Wien (2007)

Band 98+

Local Material Flow Analysis in Social Context at the forest fringe in the Sierra Madre, the Philippines. Hobbes, M., Kleijn, R. (Hrsg); Wien (2007)

Band 99+

Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in Spain, 1955-2003: A socio-ecological analysis. Schwarzlmüller, E.; Wien (2008)

Band 100+

Scaling issues in long-term socio-ecological biodiversity research: A review of European cases. Dirnböck, T., Bezák, P., Dullinger S., Haberl, H., Lotze-Campen, H., Mirtl, M., Peterseil, J., Redpath, S., Singh, S., Travis, J., Wijdeven, S.M.J.; Wien (2008)

Band 101+

Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in the United Kingdom, 1800-2000: A socio-ecological analysis. Musel, A.; Wien (2008)

Band 102 +

Wie kann Wissenschaft gesellschaftliche Veränderung bewirken? Eine Hommage an Alvin Gouldner, und ein Versuch, mit seinen Mitteln heutige Klimapolitik zu verstehen. Fischer-Kowalski, M.; Wien (2008)

Band 103+

Sozialökologische Dimensionen der österreichischen Ernährung – Eine Szenarienanalyse. Lackner, Maria; Wien (2008)

Band 104+

Fundamentals of Complex Evolving Systems: A Primer. Weis, Ekke; Wien (2008)

Band 105+

Umweltpolitische Prozesse aus diskurstheoretischer Perspektive: Eine Analyse des Südtiroler Feinstaubproblems von der Problemkonstruktion bis zur Umsetzung von Regulierungsmaßnahmen. Paler, Michael; Wien (2008)

Band 106+

Ein integriertes Modell für Reichraming. Partizipative Entwicklung von Szenarien für die Gemeinde Reichraming (Eisenwurzen) mit Hilfe eines agentenbasierten Landnutzungsmodells. Gaube, V., Kaiser, C., Widenberg, M., Adensam, H., Fleissner, P., Kobler, J., Lutz, J., Smetschka, B., Wolf, A., Richter, A., Haberl, H.; Wien (2008)

Band 107+

Der soziale Metabolismus lokaler Produktionssysteme: Reichraming in der oberösterreichischen Eisenwurzen 1830-2000. Gingrich, S., Krausmann, F.; Wien (2008)

Band 108+

Akteursanalyse zum besseren Verständnis der Entwicklungsoptionen von Bioenergie in Reichraming. Eine sozialökologische Studie. Vrzak, E.; Wien (2008)

Band 109+

Direktvermarktung in Reichraming aus sozial-ökologischer Perspektive. Zeitlhofer, M.; Wien (2008)

Band 110+

CO₂-Bilanz der Tomatenproduktion: Analyse acht verschiedener Produktionssysteme in Österreich, Spanien und Italien. Theurl, M.; Wien (2008)

Band 111+

Die Rolle von Arbeitszeit und Einkommen bei Rebound-Effekten in Dematerialisierungs- und Dekarbonisierungsstrategien. Eine Literaturstudie. Bruckner, M.; Wien (2008)

Band 112+

Von Kommunikation zu materiellen Effekten - Ansatzpunkte für eine sozial-ökologische Lesart von Luhmanns Theorie Sozialer Systeme. Rieder, F.; Wien (2008)

Band 113+

(in Vorbereitung)

Band 114+

Across a Moving Threshold: energy, carbon and the efficiency of meeting global human development needs. Steinberger, J. K., Roberts, J.T.; Wien (2008)

Band 115
(in Vorbereitung)

Band 116+
Eating the Planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely– a scoping study. Erb, K-H., Haber, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzer, C., Steinberger, J.K., Müller, C., Bondeau, A., Waha, K., Pollack, G.; Wien (2009)

Band 117+
Gesellschaftliche Naturverhältnisse: Energiequellen und die globale Transformation des gesellschaftlichen Stoffwechsels. Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M.; Wien (2010)

Band 118
(in Vorbereitung)

Band 119+
Das nachhaltige Krankenhaus: Erprobungsphase. Weisz, U., Haas, W., Pelikan, J.M., Schmied, H., Himpelmann, M., Purzner, K., Hartl, S., David, H.; Wien (2009)

Band 120
LOCAL STUDIES MANUAL
A researcher's guide for investigating the social metabolism of local rural systems. Singh, S.J., Ringhofer, L., Haas, W., Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M.; Wien (2010)

Band 121
Sociometabolic regimes in indigenous communities and the crucial role of working time: A comparison of case studies. Fischer-Kowalski, M., Singh, S.J., Ringhofer, L., Grünbühel C.M., Lauk, C., Remesch, A.; Wien (2010)