

„Sanfte“ statt „harten“ Technikpfaden!

Hans P. Aubauer
Fakultät für Physik der Universität Wien, 1090-Wien
Hans.Peter.Aubauer@Univie.AC.AT

Wien, im Jänner 2007

1 Einleitung:

Zu den größten aktuellen Gefahren gehört der mangelnde Gedankenaustausch zwischen zwei Denkschulen: Auf der einen Seite Naturwissenschaftler, die in ihrer täglichen Arbeit den immer rascher voran schreitenden Zusammenbruch der natürlichen Grundlagen des Lebens beobachten, beschreiben und analysieren¹. Und auf der anderen Seite Ökonomen, oder von ihnen gedanklich abhängige Entscheidungsträger, die vor allem mehr Wirtschaftswachstum anstreben, weil sie nicht wissen, wie sie sonst ausreichende Beschäftigung schaffen, oder die Kosten eines Schutzes der Umwelt und sozial Bedürftiger erwirtschaften können. Wenn dann die Naturwissenschaftler die im „main stream“ denkenden Ökonomen darauf aufmerksam machen, dass eine Wirtschaft nicht dauernd innerhalb der unverrückbaren biophysikalischen Naturgrenzen wachsen könne, verweisen diese stets auf den „Technischen Fortschritt“. Dieser habe es bisher immer ermöglicht, natürliche Begrenzungen des Wirtschaftswachstums zu überwinden, die Naturnutzung auszuweiten und knapp gewordene natürliche Ressourcen (Energie, Materialien, Raum, Entsorgungskapazität etc.) durch noch nicht knappe zu ersetzen. Angeblich existieren demnach Naturgrenzen gar nicht. Denn warum sollte künftig und zeitlich unbegrenzt nicht möglich sein, was seither immer gelang?

Diese Frage soll hier eine Antwort finden. Denn wenn die Umweltbesorgten recht und die Umweltunbekümmerten unrecht haben sollten, drohen letzte Gelegenheiten eines mühearmen Überganges zu einem Lebensstil verpasst zu werden, der zukunftsfähig ist, weil er die natürlichen Lebensgrundlagen bewahrt. Tatsächlich waren es Techniken, mittels derer sich die Menschheit aus dem Tierreich heraus entwickeln konnte. Sie waren aber insofern „hart“, als sie die Naturausbeutung stets vermehrten. Und derartig „harte“ Techniken bedrohen nun ihr Überleben. Abwenden können dies nur „sanfte“ Techniken, die das menschliche Wohl ohne vermehrte Naturbelastung anzuheben vermögen, weil sie aus ein und derselben Menge natürlicher Ressourcen (Energie, Materialien, Entsorgungskapazität etc.) mehr Nutzen gewinnen können. Es bleibt aber sehr wenig Zeit, um die „sanften“ Techniken gegenüber den „harten“ rentabel zu machen!

Tabelle: Technikwirkungen in der Menschheitsgeschichte

	Auswirkungen von Techniken	Beispieltechniken
1	Kampf um natürliche Ressourcen zunächst gegen tierische, dann gegen menschliche Konkurrenten (Jagd- und Kriegswaffen)	Speer, Pfeil/Bogen, Armbrust, Schusswaffen
2	„Eroberung“ „unwirtlicher“ Landschaften	Kleidung, Gebäude, Feuer
3	Erweiterung der Materialbasis mittels „veredelter“ anorganischer Stoffe zusätzlich zu den organischen, nachwachsenden	Steine (Feuerstein), Metalle (Gold, Bronze, Eisen, u. s .w)
4	Übergang vom Jäger und Sammler zum	Pflanzenanbau (Pflug)/Bewässerung,

¹ Etwa die Destabilisierung des Klimas, oder der Ökosysteme; das Zerstören der ökologischen Vielfalt, der Biodiversität, oder fruchtbarer Böden; das weltweite Abholzen der Wälder, insbesondere der Regenwälder, die etwa die Hälfte aller Tierarten beherbergen; das Ausfischen der Meere, die Verschmutzung von Luft, Böden, Wasser; die Übernutzung der Frischwasserreserven.

	Ackerbauern und Viehzüchter (Neolithische Revolution)	Domestikation von Tieren
5	Ersatz menschlicher Muskelkraft durch erneuerbare Energien	Mechanische Energie: Zugtiere, Wind- und Wasserräder. Wärme-Energie: Verbrennung von Biomasse
6	Lasten- und Personentransporte über Land	Mittels Rad bewegte und von Zugtieren gezogene Wagen, Feuer Verkehrswege (u. a. Straßen, Brücken und Schienen)
7	Transporte über Wasser (insbesondere Überseesegelschiffahrt mittels Instrumenten zur Ortsbestimmung)	Schiff, Kompass, Astrolabium, Seekarten
8	Nutzung nicht erneuerbarer Energien (fossile und nukleare)	Verbrennungskraftmaschinen (Dampfmaschinen, Otto-, Dieselmotoren etc.), Kernreaktoren und Energieumwandlungsmaschinen (elektrische Generatoren und Motoren) etc.
9	Nutzung nicht erneuerbarer Materialien (fossile und mineralische, insbesondere metallische) mittels nicht erneuerbarer Energie	Bessemer Birne, anorganische Chemie
10	Transport von Personen und Gütern in allen Medien mittels von nicht erneuerbarer Energie angetriebener und aus nicht erneuerbaren Werkstoffen hergestellter Kraftfahrzeuge	zunächst Dampflokomotiven/Züge, Dampfschiffe, dann PKW's, LKW's, Flugzeuge, Raketen
11	Ertragssteigerung in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Fischfang mittels nicht erneuerbarer natürlicher Ressourcen	Agrarchemikalien, Agrar-, Forst- und Fischfangtechniken
12	Mechanisierung und Automatisierung handwerklicher Produktionstechniken	Web-, Spinn- (Spinning-Jenny) und Nähmaschinen, arbeitsteilige Fließbandproduktion
13	Zurückdrängung von Krankheiten und Anheben der mittleren Lebenserwartung	Hygiene, Blutdruckmessung, Impftechniken
14	Information, Kommunikation, Datenspeicherung und Rechnen,.	Papier, Schrift/Zahlen, Buchdruck, Schreibmaschine, Phonograph, Kino, elektrische und elektronische Techniken (Telefon, Radio, Fernsehen, Computer, Internet)
15	Veredelung fossiler und nachwachsender Materialien	Organische Kunststoffe
16	Effizienzsteigerung der Energie und Materialnutzung und Nutzung nachhaltig ausschöpfbarer erneuerbarer Ressourcen	Wärme-Kopplung, Wärmepumpen, Stirlingmotoren, Photovoltaik, Photothermik, Solartürme, Plusenergiehäuser, Verlängerung der Gebrauchsdauer von Gütern

2 Die technische Seite der Menschheitsgeschichte:

Die Tabelle soll illustrieren, wie die Entwicklung von Techniken entscheidend zur immer größer werdenden Überlegenheit der Menschheit gegenüber anderen Arten im Konkurrenzkampf um natürliche Ressourcen beigetragen hat. Entsprechend dem Konkurrenzausschlussprinzip der Ökologie (Campell, 1997) können aber zwei Arten nicht auf Dauer innerhalb desselben Lebensraums um dieselben Naturressourcen konkurrieren. Denn letztendlich rottet die dabei überlegene die unterlegene Art aus, oder verdrängt sie in einen anderen Lebensraum. Weil die Menschheit aber alle anderen Arten zum eigenen Überleben benötigt, droht ihr immer endgültiger werdender technischer „Sieg“ über die Natur in ihre größte Niederlage umzuschlagen. Sie ist im Begriff sich selbst auszurotten, wenn sie nicht unverzüglich die „harten“ die Natur verdrängenden Techniken durch „sanfte“ die Natur bewahrende Techniken ersetzt.

Die zweite Spalte der Tabelle skizziert die Auswirkungen der Techniken in ihrer Geschichte und die dritte einige konkrete Technik-Beispiele. Mittels Techniken konnten die Menschen das Tierreich (1. und 11. Zeile der Tabelle) und das Pflanzenreich (4. und 11. Zeile) grenzenlos ausbeuten, ihren Lebensbereich überall hin, u. a. in kalte Klimazonen ausdehnen (2. Zeile), die Material- (3., 9. und 15. Zeile) und Energiebasis (5. und 8. Zeile) ausweiten, von der Natur auch an entfernten Orten Besitz ergreifen (6., 7. und 10. Zeile), gesundheitliche Grenzen zurück drängen (13. Zeile) und die Fähigkeiten ihrer Hände (12. Zeile), sowie Hirne (14. Zeile) erweitern. Mit einer Ausnahme (16. Zeile) weiteten die Techniken dabei die Ausbeutung der Natur ohne Rücksicht darauf aus, ob ihr dies schaden könnte.

Die Evolution der Menschheit heraus aus der Fauna gelang, weil sie mit von einem überlegenen Gehirn gesteuerten Techniken alle körperlichen Nachteile gegenüber ihren tierischen Konkurrenten (etwa keine körperlichen Waffen, wie Hörner oder kräftige Eckzähne, oder große Muskelkraft) mehr als ausgleichen konnte. Das Zusammenspiel von Technik, Hirn, Händen und der Sprache machten sie (ökologisch argumentiert) insofern zu perfekten Generalisten (oder „Universalspezialisten“), als sie in die Lebensräume (oder Biotope) der an diese weitgehend angepassten tierischen Spezialisten eindringen konnten und diese dennoch² von dort verdrängen konnten, obwohl sie unangepasst waren. Die Technik war der Anpassung im Konkurrenzkampf stets kurzfristig überlegen! Und während ihre Anpassung an einen Lebensraum³ den Spezialisten das Überleben nur in diesem ermöglichte, machte die Technik den menschlichen Generalisten das Überleben in nahezu allen Lebensräumen möglich. Mit fortschreitendem harten Technikeinsatz konnte so die menschliche Besiedelung nach und nach auf nahezu alle Möglichkeiten ausgeweitet werden, auf diesem Erdplaneten zu leben, auf alle Klimazonen, Kontinente, Regionen und Höhenlagen. Mit Hilfe der Technik brach die Menschheit aus ihrem ursprünglichen Lebensraum der ostafrikanischen Savanne aus und in nahezu alle Lebensräume anderer Arten ein, um diese von dort zu verdrängen. Der Lebensraum der Tiere und Pflanzen und damit diese selbst wurden und werden immer mehr zurückgedrängt.

Mittels Techniken gelingt es Menschen die Grenze vorübergehend zu durchbrechen, die die Natur der Ausbreitung einer Art setzt. Im techniklosen Tierreich wächst die Population einer Art bis an die Grenze der „Ökologischen Tragfähigkeit“ (engl.: „carrying capacity“) ihres Lebensraumes an (Odum, 1971). Es ist die Grenze der Populationsdichte, die das Angebot nach fließender Ressourcen (vor allem der Nahrung) dieses Lebensraumes setzt. Mit dem Wachstum der Populationsdichte sinkt die Ressourcenmenge und damit auch Nahrung, die einem einzelnen Individuum zur Verfügung steht, schließlich bis zum Existenzminimum. Dort endet das Bevölkerungswachstum, weil die Todesrate wegen zunehmenden Ressourcenmangels bis an die Geburtenrate heran gewachsen ist. Die Art befindet sich in einer „Falle“, die T. R. Malthus um die Wende vom 18. zum 19. Jh. für Menschen beschrieben hat (Malthus, 1798; 1878). Techniken

² entsprechend dem Konkurrenzausschlussprinzip

³ z.B. nur von bestimmten Pflanzen lebende Giraffen oder Pandabären

ermöglichten es den Menschen immer wieder sich eine Zeit lang aus derartigen Malthusfallen zu befreien, aber nur, um in neue hinein zu geraten.

Es sind daher vor allem die Techniken, die das Verhältnis der Menschen zu ihrer Umwelt vom Verhältnis einer Tierart zu ihrer Umwelt unterscheiden. Keine Tierart kümmert sich um andere Arten oder um die Zukunft. Jede versucht sich so weit zu vermehren und auszubreiten, als dies nur irgend möglich ist. Es werden mehr Nachkommen geboren, als die Umwelt mit Ressourcen dauernd versorgen könnte. Ohne Techniken gelingt es den Tieren aber nicht ihre Anzahl längere Zeit über die Grenze der Ökologischen Tragfähigkeit anzuheben. Wenn die Population die Tragfähigkeit eine Zeit lang überschreitet, weil die Todesrate bei ihr unter der Geburtenrate liegt, kollabiert sie unter die Tragfähigkeitsgrenze, wie dies beispielsweise die Lemminge zeigen (Brehm, 1883; Shelford, 1943). Weil das den Arten verfügbare Angebot an natürlichen Ressourcen (im Wesentlichen) durch das Energieangebot der Sonne und den Ressourcenbedarf der anderen Arten strikt begrenzt ist, kommt es zu wundersamen Symbiosen zwischen ihnen. Eine Art kann nur überleben, wenn sie das erneuerbare Ressourcenangebot so nutzt, dass sie dabei nicht auf Dauer mit anderen Arten in Konkurrenz gerät (Campbell, 1997). Als Ergebnis dient jede Art schließlich dem Überleben der anderen Arten des Ökosystems, in dem sein Lebensraum eingebettet ist. Der Lebensraum der einen Art vergrößert den anderer. Nur Menschen breiten sich auf Kosten anderer Arten aus und drängen deren Konkurrenz bei der Nutzung von Naturressourcen zurück. Weil sie mit der Technik weitgehend grenzenlos Ressourcen nutzen können. Immer wieder überschreiten sie so die Grenzen der ökologischen Tragfähigkeit, die das Angebot erneuerbarer Ressourcen der Ausbreitung aller anderen Arten setzt.

Dies gilt vor allem, seit mit der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts in Fossilen gespeicherte Sonnenenergie abgebaut wird und so der „Energie-Engpass“ beseitigt wurde, den die begrenzte Sonneneinstrahlung der menschlichen Ausbreitung setzte (8. Zeile der Tabelle). Schon davor gelang es die Grenzen der menschlichen Muskelenergie durch erneuerbare Energien zu überwinden (5. Zeile der Tabelle). Aber erst die intensive Ausbeutung vor allem fossiler Energie ermöglichte eine Anhebung des Energieverbrauches weit über das Zehnfache innerhalb der letzten eineinhalb Jahrhunderte.

Die Beseitigung des Energie-Engpasses, also die weitgehend grenzenlose Verfügbarkeit billiger Energie, entfernte auch den „Material-Engpass“ (9. Zeile). Schon seit tausenden Jahren gelingt es Metalle mit zunehmend höherem Schmelzpunkt aus Erzen zu gewinnen und so die Grenzen des Angebotes erneuerbarer Materialquellen durch Abbau nicht erneuerbarer Materialvorräte zu überwinden (3. Zeile). Dies erfordert aber sehr viel Energie. Die war aber begrenzt. So war die Metallgewinnung ein wesentlicher Grund für die Zurückdrängung der Wälder. Erst seit der ausreichenden Verfügbarkeit von Energie werden endliche Rohstoffvorräte, vor allem Eisen, intensiv abgebaut und auch ein Großteil der Elemente des chemischen Periodensystems unter großem Energieeinsatz verwertet. Beispielsweise muss der Platinbedarf eines PKW-Katalysators von unter einem Gramm aus mehreren Tonnen Gesteinsmaterial geholt werden.

Mit dem Energie- und dem Material-Engpass konnte auch der „Nahrungs-Engpass“ entfernt werden, der Malthus Anlass zu seinen Schriften gab (Malthus, 1798; 1878). Wenn es den Menschen schon seit Millionen von Jahren gelang das Tierreich und seit tausenden Jahren das Pflanzenreich intensiv zur Ernährung zu nutzen, so war doch das Nahrungsangebot bis zur industriellen Revolution immer noch durch den landwirtschaftlichen Bodenertrag begrenzt. Seither wird dieser Ertrag durch den Einsatz endlicher, nicht erneuerbarer Energien und Materialien kurzfristig vervielfacht (11. Zeile), jedoch auf Kosten des dauernd verfügbaren Ertrages. Über 90% der auf den Äckern pflanzlich gewonnenen Energie fließt davor in deren Gewinnung. Die Böden degradieren, ohne dass dies angesichts des so industriell hoch geschraubten Ertrages bemerkbar ist. Die Gesellschaft ist „bodenlos“ geworden. Fruchtbare Böden werden leichtfertig verbaut und damit der Ressourcennutzung weitgehend für immer entzogen, obwohl sie neben fruchtbaren Wasserflächen die wichtigste Naturressource der

Zukunft sind. Weil sie überflüssig erscheinen und unter den verantwortungslosen vorherrschenden Rahmenbedingungen nur einen Bruchteil des Gewinns des verbauten Zustandes abwerfen (Aubauer, 2004).

Mit dem Energie- und dem Material-Engpass verschwand auch der Entfernungs-Engpass (10. Zeile). Mit nicht erneuerbaren Energien angetriebene und aus nicht erneuerbaren Materialien gefertigte Fahrzeuge durchqueren inzwischen alle Land- Wasser- und Luftwege, bis in den Weltraum. Damit existieren keine Grenzen mehr, die lokale ökologische Tragfähigkeiten der Ausweitung der Naturausbeutung setzen könnten. Sie werden mit der Hilfe von Naturressourcen überschritten, die aus beliebig entfernten Orten des Erdplaneten heran transportiert werden. Begonnen hat auch diese Entwicklung schon viel früher: Als die Menschen mit ihrer Sesshaftwerdung vor etwa zehntausend Jahren nicht mehr zu den Naturressourcen wanderten, sondern diese mit von Tieren gezogenen Wagen zu sich in ihre Ortschaften transportierten (6. Zeile). Vor allem aber, als es im 15. Jh. gelang, mit Geräten der Ortsbestimmung die Meere fernab aller Küsten mit Schiffen zu überqueren (7. Zeile). Intensiviert wurde dieser Verkehr aber erst seit der industriellen Revolution. Sie brachte schließlich nicht nur eine „bodenlose“ sondern auch eine „distanzlose“ Gesellschaft. Sie ermöglicht die kolonialen Lebensstile in den „reichen“ Ländern mit den Naturressourcen aus „armen“ Ländern. Aber auch eine Ausdehnung der Arbeitsteilung in den produzierenden Fabrikhallen der beginnenden Industrialisierung über die ganze Welt. Die Lasten- und die Personentransporte explodieren.

Zu Beginn ihrer Geschichte waren die Menschen vielleicht ebenso Beute von Tieren, wie die Tiere Beute von Menschen. Ökologisch formuliert waren sie sowohl Karni-, als auch Herbivoren, die wegen ihrer körperlichen Unterlegenheit möglicherweise auch erbeutet wurden. Ihre Ausbreitung war wie die jeder anderen Art auch durch Nahrungsmangel begrenzt, weil sich die individuell verfügbare Nahrungsmenge mit wachsender Bevölkerungsdichte bis zum Existenzminimum verringerte. Mit Jagdtechniken gelang es ihnen die Grenzen dieser ihrer Malthusfalle zu überschreiten. Tiere wurden vermehrt Beute von Menschen und immer weniger umgekehrt. Die steigende Wirksamkeit der Jagd wurde jedoch zunehmend wieder dadurch wettgemacht, dass sie die Beute seltener machte. Von einer Malthusfalle schlitterten sie in eine andere. Zunächst wurde dies durch noch wirksamere Jagdtechniken und schließlich durch den Übergang vom Sammeln von Pflanzen zu deren landwirtschaftlichen Anbau überkompensiert. Das so ausgelöste Bevölkerungswachstum endete schließlich in einer weiteren Malthusfalle. Für die Natur war dies aber oft zu spät: Zu viele am Existenzminimum lebende Menschen überlasteten die Natur schließlich so sehr, dass sie zusammenbrach. Nicht immer kollabierte damit auch die Anzahl der Menschen. Denn oft wanderten sie in noch nicht von ihnen überlastete Gebiete aus, oder steigerten mittels weiterer „technischer Fortschritte“ die Ausbeutung der Natur so stark, dass dies deren Zusammenbruch überkompensieren konnte. So könnte die bisherige menschliche Geschichte durch den erfolglosen Versuch gekennzeichnet werden, dem Elend des Malthus-Existenzminimums durch „harte“ Techniken dauernd und endgültig zu entkommen. Denn der wachsende Bedarf an Natur von immer mehr Menschen auf der einen Seite und das wegen ihres Zusammenbruches sinkende Angebot der überlasteten Natur auf der anderen Seite erzwingen immer wieder die individuelle existenzminimale Naturversorgung der Malthusfalle, nach zeitlich immer länger werdenden Perioden.

Das Durchbrechen der Energie-, Material-, Nahrungs- und Entfernungs-Engpässe vermittelt erschöpflicher Naturvorräte nährt nun die höchst gefährliche Illusion endgültig aus den von Malthus beschriebenen Fallen zu befreien und seine Schriften (Malthus, 1798; 1878) zu widerlegen. Gefährlich, weil die in der bisherigen Geschichte recht kurze Periode zwischen dem Zusammenbruch der Natur und dem von ihm ausgelösten Zusammenbruch der Ressourcenversorgung sehr stark verlängert wurde (Haberl, 1992). Denn noch nie war die Ressourcen-Ausbeutung so viel größer, als das dauernd aufrecht erhaltbare, nachhaltige Ressourcen-Angebot der Tragfähigkeit. Die ökologische Tragfähigkeit sinkt, wenn sie überschritten wird und umso schneller, je mehr und länger dies der Fall ist, ohne dass dies

bemerkbar wird, weil sie so stark überschritten wird. Sobald der Verbrauch an Naturressourcen ihr nachhaltiges, dauernd verfügbares Angebot überschreitet, sinkt es, ohne sofort begreifbar zu sein, weil dies von der ausgeweiteten Ressourcenausbeutung verdeckt wird - wie ein Bergwerk, dem man angesichts einer sich rasch ausweitenden Förderung nicht anmerkt, dass diese gerade deswegen umso schneller ihr Ende finden muss. Der Zusammenbruch der Ressourcenversorgung wird umso wahrscheinlicher und drastischer, wenn nicht eilends überall die Naturüberlastung ein Ende findet. Dies kann mit der Beladung eines Schiffes verglichen werden, dessen Höchstlademarke dem nachhaltigen Angebot der Tragfähigkeit entspricht (Daly, 1992). Sobald das Schiff über diese Lademarke hinaus beladen wird, sinkt es und könnte überhaupt keine Landung mehr transportieren, wenn es nicht innerhalb kürzester Zeit bis zur beim Sinken sinkender Höchstlademarke entladen würde. .

3 Die Wirkungsweise „harter“ Techniken:

Grundsätzlich verändern Techniken den Arbeits- und den Ressourcenaufwand, die erforderlich sind, um eine bestimmte Dienstleistung (etwa Nahrungsversorgung) herstellen zu können. In den meisten Fällen senken sie den Arbeits- bzw. Zeitaufwand⁴, in einigen Fällen auch den Ressourcenaufwand. Meistens steigt dieser jedoch: So weist der Anthropologe M. Harris darauf hin, dass der Einsatz der Lanze bei der Jagd auf die Ajuerado-Kaninchen im Tehuacan-Tal Mexikos um 8000 v. Chr. zunächst die Energiebilanz auf 3,2:1 an hob (Harris, 1995): Ein körperlicher Energie-Einsatz der Jagd von 1 Kalorie brachte 3,2 Kalorien an Energie-Gewinn der Beute. Die Verwendung der Lanze sparte Körper- sowie Nahrungs-Energie und damit den zur Dienstleistung Nahrungsversorgung nötigen Ressourcenaufwand⁵. Die Anzahl der erjagten Kaninchen hätte abnehmen können, weil wegen der Energieeinsparung bei der Jagd weniger von ihnen nötig wurden, um den Hunger ein und derselben Menschengruppe zu stillen. Sie stieg aber. Denn der Lanzeninsatz senkte auch den zur Jagd eines Beutetieres nötigen Zeitaufwand. Ohne Lanzen konnte während eines Tages nur eine beschränkte Kaninchenzahl erbeutet werden. Mit den Lanzen stieg diese Zahl. Wenn daher die täglich zur Jagd verwendete Zeit nicht der Zeiteinsparung entsprechend gesenkt wurde, stieg die Anzahl erjagter Tiere. Möglicherweise wurden so aber mehr Tiere erjagt, als nachwachsen, so dass deren Anzahl sank und wieder soviel Energieaufwand zur Erbeutung von einem von ihnen nötig wurde, als vor dem Lanzeninsatz. Einerseits hungerten die Menschen wieder, andererseits war die Naturbelastung größer geworden. Die Nachteile des Lanzeninsatzes überkompensierten schließlich seine Vorteile. Schlimmer als dies: Ohne Lanzen war das Nahrungsangebot und damit auch die in einem bestimmten Gebiet lebende Menschenzahl begrenzt. Sie konnte nicht über die verfügbare Nahrungsmenge, geteilt durch den zum Überleben nötigen Nahrungsbedarf eines (mittleren) Menschen hinaus wachsen. Die Lanzen beseitigten diese Bevölkerungsbegrenzung durch Hunger. Die Menschenzahl wuchs. Mit den Lanzen nahm nicht nur die Anzahl der Tiere, die ein Jäger erbeuten konnte, sondern auch die Anzahl der Jäger zu. Dies verringerte die Zahl der Beutetiere so stark, dass das Nahrungsangebot trotz des Lanzeninsatzes wieder das Niveau vor ihm erreichte. Der Bevölkerung erschien nur die Wahl durch Pandemien und Rivalitäten um Nahrung wieder auf ihre ursprüngliche Größe zusammenzuberechnen, auszuwandern, oder auf noch wirksamere Jagdtechniken umzusteigen, die die Natur noch mehr überlasteten. Tatsächlich sank die Energiebilanz des Lanzeninsatzes wieder auf 1:1. Harris wörtlich (Harris, 1995): *„...Auflauern im Hinterhalt mit der Lanze erbrachte anfangs ein Verhältnis von 3,2:1, fiel aber in der Abejas-Periode auf ein Verhältnis von 1:1 zurück und kam dann aus der Mode. Die Jagd auf Rotwild mit dem Wurfspeer ergab zu Beginn ein Verhältnis von 8:1 und sank auf etwa 4:1, als die Tiere seltener wurden. Später führten Pfeil und Bogen auf einen neuen Rekord von 8:1 oder 9:1, aber zu jener Zeit war Wild bereits so knapp geworden, dass es nur unbedeutend zur Kost beitragen konnte. Während sie ihren langen und vergeblichen Verzögerungskampf gegen die Folgen der Ausdünnung von Tierarten führten, verlagerten die Menschen von Tehuacan nach*

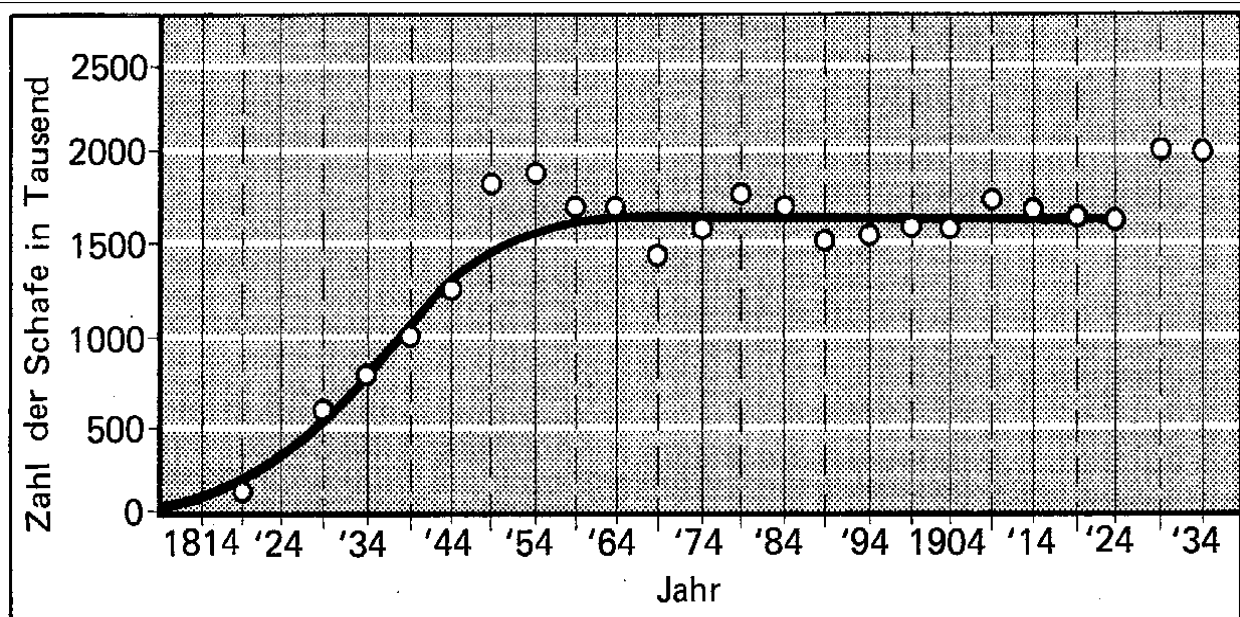
⁴ und heben die Arbeitsproduktivität.

⁵ wenn die zur Herstellung der Lanze nötigen Ressourcen vernachlässigt werden

und nach ihre primären Existenzsicherungs Bemühungen von Tieren auf Pflanzen. Die Intensivierung der Pflanzenproduktion führte zu einem langsam ansteigenden Anteil von Zuchtpflanzen unter dem „breiten Spektrum“ das anfänglich allein durch Sammlertätigkeit angeeignet wurde... Die Arbeitseffektivität dieser unterschiedlichen Systeme der Nahrungsgewinnung stieg von 10:1 über 30:1 auf 50:1. ...Trotz einer...pro Arbeitsstunde um das Fünffache gesteigerten Produktivität der Bewässerungs-Agrikultur mündete die gesamte neuntausendjährige Abfolge von Intensivierungen, Umwelterschöpfungen und technischen Neuerungen in einen übergreifenden, umfassenden Niedergang des Ernährungszustands ...“. Die neolithische Revolution des Überganges vom Jagen und Sammeln zu Ackerbau und Viehzucht wurde durch die Erschöpfung des Tierreiches erzwungen, die immer wirksamere Jagdtechniken mit sich brachten. Immer wirksamere Agrartechniken, Agrarchemikalien und die Gentechnik lassen Analoges für das Pflanzenreich befürchten. Beispielsweise ist es schwer auszuschließen, dass allein der Einsatz des Pfluges (der Schlüsseltechnik der Landwirtschaft) auch im günstigsten Fall zur Bodenerosion und Minderung der „Ökologischen Tragfähigkeit“ beiträgt. Denn er beseitigt eine Zeit lang die den Boden vor Wasser- und Winderosion schützende Vegetation.

Harte Techniken schalten die Grenzen aus, mit denen die Natur sich und eine Art vor der Überlastung durch ihre übermäßige Ausbreitung schützt. Denn mit der Überlastung würde auch die natürliche Lebensgrundlage der Art zerstört. Beispielsweise wuchs eine um 1800 auf der Insel Tasmanien ausgesetzte Schafherde zunächst sehr rasch (exponentiell) und dann immer langsamer (asymptotisch) gegen eine Tragfähigkeits-Grenze von 1,7 Millionen Schafen an⁶. Das Bild 1 zeigt Ergebnisse von Davidson (Davidson, 1938). Die Kreise kennzeichnen die Durchschnittswerte von 5-Jahresperioden:

Bild 1: Das Wachstum einer Schafherde auf einer begrenzten Weide



Das 1/1,7 Millionstel des jährlichen Grasertrages der tasmanischen Weide entsprach dem Nahrungsbedarf eines mittleren Schafes am Existenzminimum. Mit der Herdengröße wuchs die Nahrungsknappheit und mit ihr nahm die Sterberate der Schafe genau bis zu ihrer Geburtenrate zu. Nicht weiter, weil dies das Herdenwachstum beendete. Mit dem Wachstum der Herde gab es immer mehr Mitschafe, die einem Schaf die Nahrung weg fraßen, bis es wegen der

⁶ Die Schafe hatten keine Räuber, da der Tasmanische Wolf um 1800 bereits ausgerottet war.

gesundheitlichen Folgen des Nahrungsmangels im Mittel genau ein Nachkommen hatte. Der Gras-Bedarf der Schafe wuchs bis, aber nicht über das dauernd aufrecht zu erhaltende Angebot der Weidelandschaft. Ein mittleres Schaf benötigt eine bestimmte Weidefläche, einen bestimmten „Ökologischen Fußabdruck“ zum Überleben (Wackernagel u.a., 1999; Living planet report 2006). Der „Ökologische Fußabdruck“ aller Schafe, also die zu ihrer dauernd aufrecht zu erhaltenden Ressourcenversorgung erforderliche biologisch produktive Fläche entsprach bei der Tragfähigkeit von 1,7 Millionen Schafen genau der vorhandenen Weidefläche. Die Herde der Schafe wuchs in eine Malthusfalle, die ihr Überleben sicherte, indem sie die Tasmanische Weide vor der Überlastung durch ihr unmäßiges Wachstum bewahrte. Wenn ihre Anzahl durch das künstliche Einbringen zusätzlicher Schafe von außen auf die Weide über deren „Ökologische Tragfähigkeit“ von 1,7 Millionen hinaus angehoben worden wäre, wäre ihre Nahrungsversorgung unter das Existenzminimum gesunken. Ihre Sterberate wäre über ihre Geburtenrate gestiegen und ihre Zahl im günstigsten Fall wieder auf 1,7 Millionen gefallen. Günstigstenfalls, denn die zusätzlichen Schafe hätten die Weide überlasten und ihren Ertrag senken können.

In ihrer Geschichte gerieten auch die menschlichen Kulturen immer wieder in solche „Malthusfallen“. Der Ressourcenbedarf der in einer Gegend lebenden Menschen wurde durch das in ihr vorhandene Ressourcenangebot begrenzt (Aubauer, 2004). Bis auf einige Wenige, die im Überfluss lebten, vegetierte die überwiegende Mehrheit am Existenzminimum dahin. Der Einsatz der gesamten zur Arbeit verfügbaren Tageszeit reichte nicht aus, um gerade mehr als die zum Überleben nötigen natürlichen Ressourcen zu beschaffen. Krankheiten und Tötungen als Folge der Ressourcenknappheit und von Ressourcenverteilungskämpfen hoben die Sterberate auf die sehr hohe Geburtenrate an. In vielen Kulturen blieb die Bevölkerungszahl so über mehr als tausend Jahre begrenzt (Diamond, 2006). Veränderungen brachten nur neue Techniken. Das Motiv ihrer Erfindung, Entwicklung und ihres Einsatzes war die Hoffnung auf eine Erlösung aus dem Elend der Malthusfalle, aus der individuellen Knappheit an natürlichen Ressourcen, insbesondere an Nahrung. Die Techniken waren aber insofern „hart“, als sie stets die Naturausbeutung ausweiteten - ob es die Techniken des Ackerbaues, der Bewässerung, des Transportes oder der Nutzung erneuerbarer sowie nicht erneuerbarer Energie- und Rohstoffquellen waren.

Die meisten der Techniken senkten den zur Gewinnung natürlicher Ressourcen erforderlichen Zeitaufwand: u. a. der von Tieren gezogene Pflug gegenüber dem Grabstock bzw. der Hacke; der tierisch gezogene Wagen gegenüber dem menschlichen Rücken; die Rodung durch Feuer gegenüber der Rodung durch Hand. Sehr wenige von ihnen verringerten die zur Herstellung einer Dienstleistung nötige natürliche Ressourcenmenge (höhere Ressourceneffizienz); die meisten von ihnen vergrößerten diese (niedrigere Ressourceneffizienz): u. a. erschloss die Bewässerung der Landwirtschaft zusätzlichen Boden; die Schifffahrt ermöglichte die Ausbeutung anderer Kontinente; die Verbrennungskraftmaschinen befähigten zur Ausbeutung der in Fossilien gespeicherten Sonnenenergie. Die höhere Zeiteffizienz der neuen Techniken wurde aber nicht genutzt, um innerhalb eines kleineren Zeitaufwandes ein und dieselbe Ressourcenmenge aus der Natur zu holen. Dies hätte auch nicht aus der Malthusfalle erlöst. Sie wurde verwendet, um innerhalb ein und derselben Zeit mehr Ressourcen zu gewinnen. Dies beseitigte zunächst die individuelle Ressourcenknappheit und das mit ihr verbundene Elend. Damit verschwanden aber auch die Begrenzungen des Bevölkerungswachstums. Die Anzahl der Menschen wuchs wieder, bis die einem einzelnen von ihnen verfügbare Ressourcenmenge erneut das Existenzminimum erreichte. Das Bevölkerungswachstum machte den „Fortschritt der Technik“ zunichte und führte von einer in eine neue Malthusfalle. Das Ergebnis war mehr Menschen in der Malthusfalle und mehr Naturausbeutung.

Oft wuchs diese Naturausbeutung über die Ökologische Tragfähigkeit hinaus, sodass diese nach einer Zeitverzögerung zusammenbrach. Beutetiere wurden durch Überjagung ausgerottet. Böden versalzten als Folge der Bewässerung, oder erodierten wegen ihrer

Übernutzung. Der Einsatz der neuen Technik brachte weniger Naturressourcen, als vor ihrem Einsatz. Die Sterberate stieg über die Geburtenrate und „Todesgipfel“ (Sieferle, 1982) senkten die Bevölkerungsdichte katastrophal auf das tiefere Niveau der verringerten ökologischen Tragfähigkeit. Die neue Technik brachte den Tod für einen Teil und das Elend des Existenzminimums für den anderen Teil der Bevölkerung. Aufbauend auf Ideen von Vorgängern und der Menschheitsgeschichte bis zu seiner Lebenszeit (1766-1834) wurde dies von T. H. Malthus beschrieben. Er empfahl das Wachstum der Bevölkerung freiwillig⁷ zu begrenzen, weil es sonst unfreiwillig durch elende Hungerfolgen begrenzt wird (Malthus, 1798; 1878). Malthus konnte die Auswirkungen der industriellen Revolution nicht mehr erleben, die ihn scheinbar widerlegen: Heute leben mehr als sechs Mal so viele Menschen, als zu seiner Zeit, ohne dass eine Knappheit an natürlichen Ressourcen ihre Zahl unmittelbar zu begrenzen scheint. Die Knappheit wird von der Industrie aber nur in die Zukunft verschoben und dabei drastisch verschärft (Haberl u. a., 1992). Getragen wird die industrielle Revolution von harten Techniken, die die intensive Ausbeutung nicht erneuerbarer Energie- und Materialvorräte ermöglichen. Sie erlauben es jährlich um mehrere Größenordnungen mehr Naturressourcen abzubauen, als davor aus erneuernden Quellen gewonnen werden konnten. Einerseits ist dieser Ressourcenüberschuss, der die Malthus-These vermeintlich widerlegt, nur vorübergehend. Denn die Menge nicht erneuerbarer Ressourcen ist nun einmal nur endlich. Wenn sie aufgebraucht sind, fehlen sie⁸. Andererseits verstellt der Überschuss übermäßig ausgebeuteter und sich erschöpfender Ressourcenvorräte den Blick für den gleichzeitig stattfindenden Zusammenbruch der dauernd verfügbaren Versorgung erneuerbarer Ressourcenquellen. Je mehr der Ressourcen gegenwärtig mittels angeblich „fortschrittlicher“, aber harter Techniken ausgebeutet werden, umso weniger stehen zukünftig zur Verfügung, weil etwa die Böden degradieren, die Biosphäre verschmutzt, Nutztierarten und Nutzpflanzensorten verschwinden die Ökosysteme wegen Artenarmut instabiler, die Unwetter häufiger, die Meere leer gefischt und die Wälder weltweit abgeholzt werden, etc.

Immer wahrscheinlicher werden weitgehend vollständige Naturzusammenbrüche: Beispielsweise findet sich etwa doppelt so viel Kohlenstoff als Methanhydrat-Eis in Sedimenten gespeichert, wie in Erdöl, Erdgas, oder Kohle. Es ist nicht mehr auszuschließen, dass eine unverminderte Fortsetzung der anthropogenen Erderwärmung (bis über 5 Grad Erdmitteltemperatur) durch Treibhausgasemissionen harter Techniken dieses Eis schmilzt und die extrem großen Methanmengen in die Atmosphäre frei setzt. Ein Methanmolekül trägt etwa dreißig Mal so viel zur Erderwärmung bei, wie ein Kohlendioxidmolekül. Damit könnte der (positive) Regelkreis einer Erderwärmung ausgelöst werden, die sich selbst verstärkt und auch dann nicht aufgehalten werden kann, wenn alle menschlichen Treibhausgasemissionen von heute auf morgen auf Null gesenkt würden. Und eine einfache Schlussrechnung⁹ ergibt, dass der Meeresspiegel um mehr als 70 Meter steigen würde, wenn dies alles Eis der Antarktis und Grönlands schmelzen würde. Die dann sehr klein gewordenen Landflächen würden wegen Temperaturschwankungen, Unwettern und Dürre kaum Menschen ernähren können. Was Malthus für ein kleines, damals isoliertes Land wie Irland beschrieben hat (Malthus, 1798; 1878), gilt immer noch - für die ganze im Weltraum isolierte Welt.

Vor dem Hintergrund des Überschusses des Fleisches von Mammuts, die sie zum Teil massenhaft dank überlegener Jagdtechniken abschlachteten und damit schließlich ausrotteten, konnten sich die Steinzeitjäger sicherlich nur schwer eine Zeit ohne Mammuts vorstellen. So

⁷ durch Enthaltensamkeit.

⁸ Dies widerspricht nicht dem Gesetz der Energie- und Materialerhaltung. Energie wird durch ihren „Verbrauch“ „entwertet“ und verschwindet dabei nicht. Nutzbare Exergie wird beim Verbrauch in nutzlose Anergie verwandelt. Materialien verschwinden auch nicht durch ihren „Verbrauch“. Sie werden dabei nur miteinander und mit Umweltmedien verbunden und verdünnt, so dass utopisch große Energiemengen (eigentlich Exergiemengen) nötig wären, um sie wieder in einer zur Nutzung ausreichenden Reinheit herzustellen. Heutige Abfallhalden können deswegen keine Rohstoffquellen der Zukunft sein.

⁹ die mittlere Eisdicke der Antarktis und Grönlands mal deren Landfläche, geteilt durch die Summe aller Meeresflächen. Vernachlässigt wird dabei die thermische Ausdehnung des Meerwassers.

bedrohen harte Technikpfade das Überleben. Nach Harris zeigten alle hoch organisierten Zivilisationen der Geschichte Wachstumsgrenzen und brachen durch die wechselseitige Abhängigkeit von drei Faktoren nach anfänglichem Wachstum immer wieder zusammen (Harris, 1995): Produktion, Reproduktion und Ressourcen. Bislang habe noch jede Zivilisation ihre technischen Kenntnisse genutzt, um die Produktion und ihre Bevölkerung auszuweiten und sei damit durch die Naturüberlastung in neue Ressourcenknappheiten geraten. Weiterer „technischer Fortschritt“ brachte nur vorübergehende Erlösung. Deswegen sind heute grundsätzlich neue Entwicklungsrichtungen erforderlich, die die harten geschichtlichen Technikpfade verlassen, die sich um die Existenz von Naturgrenzen nicht kümmern und neue sanfte Entwicklungspfade zu beschreiten, die möglichst viel Gesamtwohlfinden innerhalb der Naturgrenzen bringen, die zwar vorübergehend, aber nicht dauernd überwunden werden können. Der Übergang von „harten“ zu „sanften“ Technikpfaden wird im 5. Abschnitt skizziert. Erst sollten aber die Ziele „sanfter“ Alternativen gefunden werden.

4 Optimale Werte für Ressourcenverbrauch und Bevölkerungsdichte:

Einerseits ist es sicherlich nicht „optimal“, wenn maximal viele Menschen in der Malthusfalle am Existenzminimum leben. Ihr Wohlstand kann als Null angegeben werden. Andererseits kann es nicht „optimal“ sein, wenn es keine Menschen gibt, oder die vorhandene Natur auf nur ganz wenige von ihnen aufgeteilt wird. Auch ohne Menschen ist der menschliche Wohlstand gleich Null. Dazwischen existiert eine optimale Bevölkerungsdichte N_{opt} beim größten Wohlstand W aller N Bürger, die von einem begrenzten Ressourcenangebot R leben.

Wenn die Schafe im Beispiel des 3. Abschnittes (Bild 1) in der Lage gewesen wären, ihr Herdenwachstum und ihre Anzahl selbst bei etwa der Hälfte der Weide-Tragfähigkeit (etwa einer halben Million Schafen) zu begrenzen, wäre ihnen diese Begrenzung von außen durch das Hunger-Elend erspart geblieben. Ihren Wohlstand (sofern man von einem solchen bei Schafen sprechen kann) hätten sie sehr weit über den des Existenzminimums bei der Tragfähigkeit (1,7 Million Schafe) anheben können. Den Schafen fehlt sicherlich sowohl diese Einsicht, als auch die Möglichkeit einer Bevölkerungsbegrenzung durch Veränderung ihrer Rahmenbedingungen. Eigentlich sollte das aber nicht für Menschen gelten:

Die optimale Bevölkerungsdichte N_{opt} bei maximalem Wohlstand W_{max} für alle kann aus einer Modifikation der Cobb-Douglas-Produktionsfunktion¹⁰ (Samuelson u. a., 1987) abgeleitet werden. Dabei wird die Abhängigkeit des Wohlstandes $w(r)$ eines mittleren Bürgers von seinem Ressourcenverbrauch r näherungsweise mit der Funktion

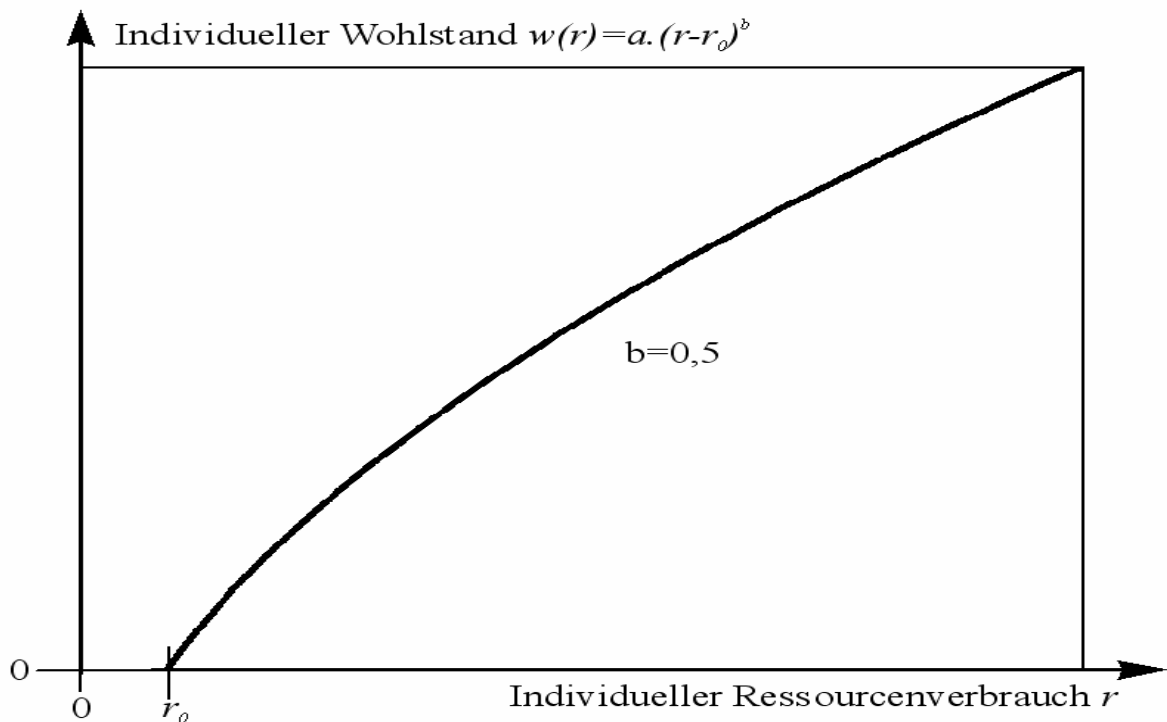
$$w(r) = a \cdot (r - r_0)^b ; \quad b \leq 1 ; \quad W = N \cdot w. \quad (1)$$

beschrieben. Der individuelle Ressourcenverbrauch r findet indirekt über den Kauf von Produkten und Dienstleistungen statt, die den Wohlstand $w(r)$ liefern. Es lässt sich annehmen, dass jede von ihnen zum Teil mit Hilfe von Ressourcen hergestellt wurde (Aubauer, 2006a; 2006b). Der Verbrauch r entspricht dann der Summe dieser Ressourcenteile jener Güter und Dienste, die ein mittlerer Bürger (jährlich) kauft. Der Mindestressourcenverbrauch am Existenzminimum soll dabei mit r_0 bezeichnet werden. Der Wohlstand beim Existenzminimum für $r = r_0$ ist Null: $w(r=r_0)=0$. Im Wesentlichen drückt Gleichung (1) aus, dass der Wohlstand w mit dem Ressourcenverbrauch r wächst, dass aber der Grenzwohlstand¹¹ ($\partial w / \partial r$) mit dem Verbrauch r sinkt (Samuelson u. a., 1987). Dies zeigt das Bild 2, in dem (wie in allen folgenden Diagrammen) willkürlich der Wert 0,5 für den Parameter b gewählt wurde: $b=0,5$:

¹⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Cobb-Douglas-Funktion>

¹¹ Der Wohlstandszuwachs, der mit ein und demselben Zuwachs an Ressourcenverbrauch erreicht wird,

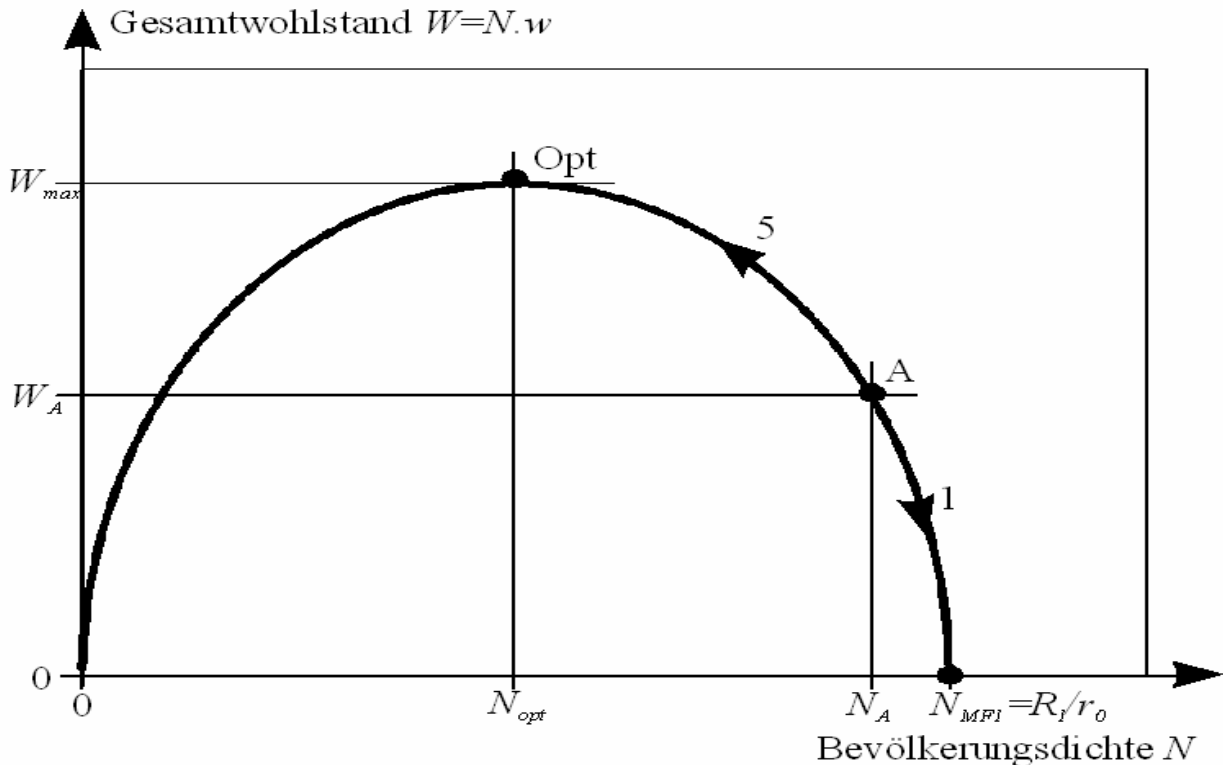
Bild 2: Der individuelle Wohlstand in Abhängigkeit vom individuellen Ressourcenverbrauch



Die Parameter a und b wachsen mit der Ressourcenproduktivität (w/r). Zu berücksichtigen ist, dass der Ressourcenverbrauch aller N Bürger ($N \cdot r$) durch das dauernd aufrecht zu erhaltende natürliche Ressourcenangebot R_I begrenzt ist:

$$R_I = N \cdot r. \quad (2)$$

Der gesamte Wohlstand $W(N)$ aller N Bürger folgt dann aus dem Produkt des Wohlstandes $w(r)$ eines mittleren Bürgers mit deren Anzahl N : $W(N) = N \cdot w(r = R_I/N)$. Bild 3 zeigt den Wohlstand W aller Bürger in Abhängigkeit von deren Anzahl N (bzw. Bevölkerungsdichte), wie er aus einer Substitution der Gleichung (2) in die Gleichung (1) entsteht:

Bild 3: Der von der Bevölkerungsdichte N abhängige Gesamtwohlstand

Wenn für den Parameter b ein Wert über (unter) 0,5 gewählt wird, liegt das Wohlstandsmaximum im Bild 3 rechts (links) von der Mitte. Die Malthusfalle ergibt sich, wenn die Bevölkerungsdichte N den maximalen Wert $N = N_{MFI}$ erreicht, der innerhalb der begrenzten Ressourcenangebotes R_I möglich ist, weil der Ressourcenverbrauch r auf das Existenzminimum $r = r_0$ abgesunken ist, so dass die Bevölkerung nicht mehr über den Wert N_{MFI} hinaus wachsen kann: $N_{MFI} = R_I / r_0$. Der Wohlstand W sinkt in dieser Malthusfalle auf Null [$W(r = r_0 = R_I / N_{MFI}) = 0$] genau so, wie für $N = 0$, wenn es keine Menschen gibt. Maximal groß ist der Wohlstand W dagegen bei $W_{max} = W(N_{opt}, r_{opt})$ für die in Bild 3 gezeigten optimalen Werte der Bevölkerungsdichte $N = N_{opt}$ und des Ressourcenverbrauches $r = r_{opt}$, oder für $N_{opt} = (R / r_0)(1 - \beta)$ und für $r_{opt} = (R / N_{opt}) = r_0 / (1 - \beta)$. Dies folgt aus der Extremwertbedingung:

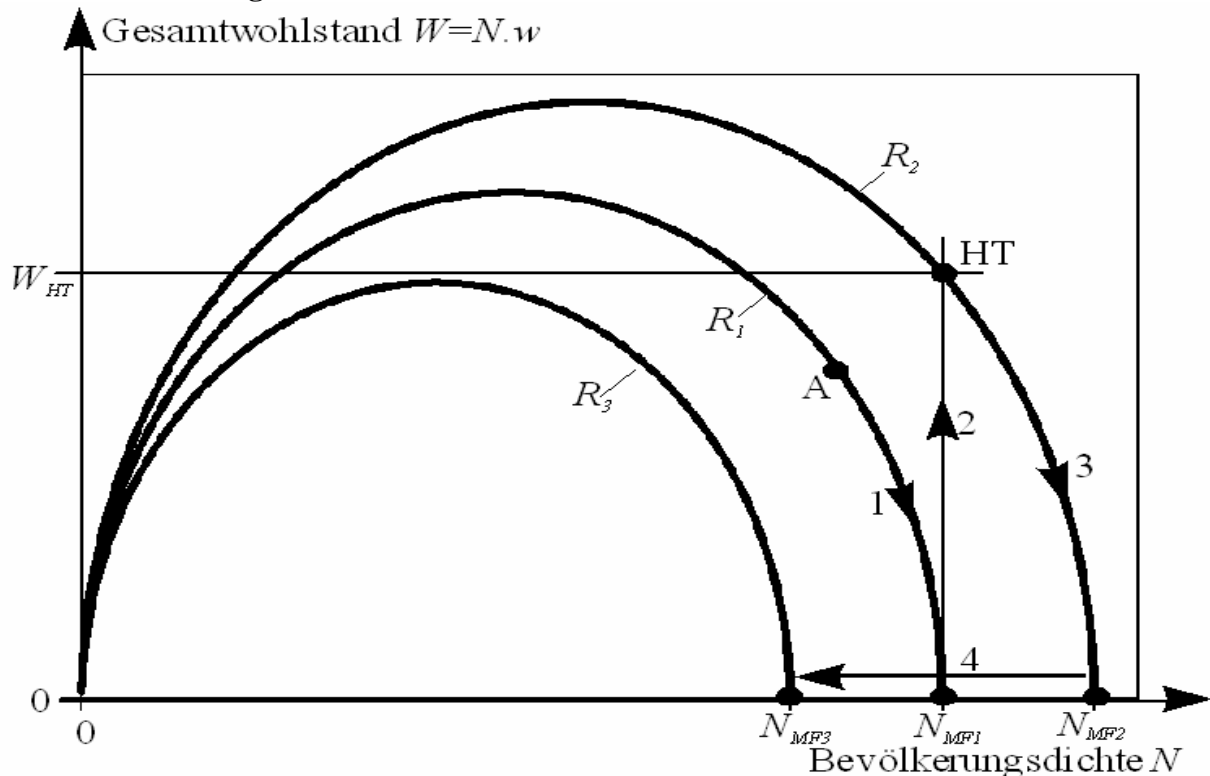
$$\left. \frac{\partial W}{\partial N} \right|_{N=N_{opt}, r=r_{opt}} = 0; \quad W_{opt} = \alpha \cdot \beta^\beta \cdot R \cdot \left[\frac{(1 - \beta)}{r_0} \right]^{(1 - \beta)}. \quad (3)$$

Für eine Bevölkerungsdichte über dem Optimum ($N > N_{opt}$) ist der Wohlstand W zu klein ($W < W_{max}$), weil die individuell verfügbare Ressourcenmenge r zu niedrig ist. Für eine Bevölkerungsdichte unter dem Optimum ($N < N_{opt}$) ist der Wohlstand W zu klein ($W < W_{max}$), weil die Bevölkerungsdichte N zu niedrig ist.

Wenn das Wachstum der Bevölkerung N nicht gesellschaftlich begrenzt wird, wächst sie vom Wert $N = N_A$ des im Bild 3 mit „A“ bezeichneten Ausgangspunktes auf den Wert $N = N_{MFI}$ des dort mit „ N_{MFI} “ gekennzeichneten Punktes der Malthusfalle und wird dort durch Ressourcenmangel begrenzt. Dies soll der Pfeil 1 im Bild 3 anzeigen. Der Wohlstand sinkt dabei vom ursprünglichen Wert $W = W_A$ des Ausgangspunktes „A“ auf Null.

Harte Techniken (HT) würden die Menschen aus dieser Malthusfalle befreien, indem sie den gesamten Ressourcenverbrauch vom Wert $R=R_1$ auf den Wert $R=R_2$ anheben. Dies soll der Pfeil 2 im Bild 4 illustrieren, der den Übergang vom Punkt „ N_{MF1} “ zum Punkt „HT“ angibt:

Bild 4: Veränderungen des Gesamtwohlstandes W durch harte Techniken



Der Wohlstand steigt dabei von Null im Punkt N_{MF1} auf W_{HT} im Punkt „HT“. Ohne Selbstbegrenzung ihres Wachstums würde die Bevölkerung jedoch wieder von $N=N_{MF1}$ des Punktes HT entlang des Pfeils 3 auf den Wert $N=N_{MF2}$ in eine neue Malthusfalle beim Punkt „ N_{MF2} “ wachsen. Wenn der Ressourcenverbrauch $R=R_2$ über der Ökologischen Tragfähigkeit liegt, bricht er nach einer Verzögerungsperiode auf den Wert $R=R_3$ zusammen. R_3 ist kleiner als R_2 ($R_3 < R_2$) und möglicherweise sogar kleiner als R_1 ($R_3 < R_1$). Dabei sterben katastrophal ($N_{MF2} - N_{MF3}$) Menschen, denn die Gesellschaft kollabiert von der zweiten Malthusfalle „ MF_2 “ in die dritte Falle „ MF_3 “ (entlang des Pfeils 4). Die harten Techniken brachten kurzfristig Nutzen und langfristig diesen Nutzen übersteigende Schäden. Offensichtlich ist dies auf der Osterinsel im achtzehnten Jahrhundert geschehen. Weil die Wälder abgeholzt waren, fehlte das Holz zum Schiffbau, um die Insel, auf der das Ressourcenangebot praktisch auf Null gesunken war ($R_3=0$) verlassen zu können (Cohen, 1996). Die dort lebenden Menschen konnten nicht auswandern und starben vollständig aus. Gewalttätige Auseinandersetzungen verschärfen davor die Umweltkonflikte, waren aber sicherlich nicht ihre primäre Ursache. Dies droht nun der im Weltraum isolierten Menschheit¹².

Die geschichtlichen Technikpfade sind praktisch ausschließlich hart und können durch die Spiralen der Pfeile 1 bis 4 des Bildes 4 beschrieben werden. Die Bevölkerung wuchs bis zur elenden Malthusgrenze der Ressourcenversorgung, befreite sich aus dem Elend durch Ausweitung der Naturausbeutung, wuchs gegen die erweiterten Grenzen der Ressourcenversorgung, kollabierte manchmal durch Naturzusammenbrüche, befreite sich wieder durch noch mehr Naturabbau u. s. w. „Technischer Einfallsreichtum“ ermöglichte den Umstieg von der Nutzung knapp gewordener Naturprodukte auf andere. Dies entlastete aber nicht das Angebot der knapp gewordenen Produkte: Das Tierreich wurde überjagt und dezimiert. Seit dem

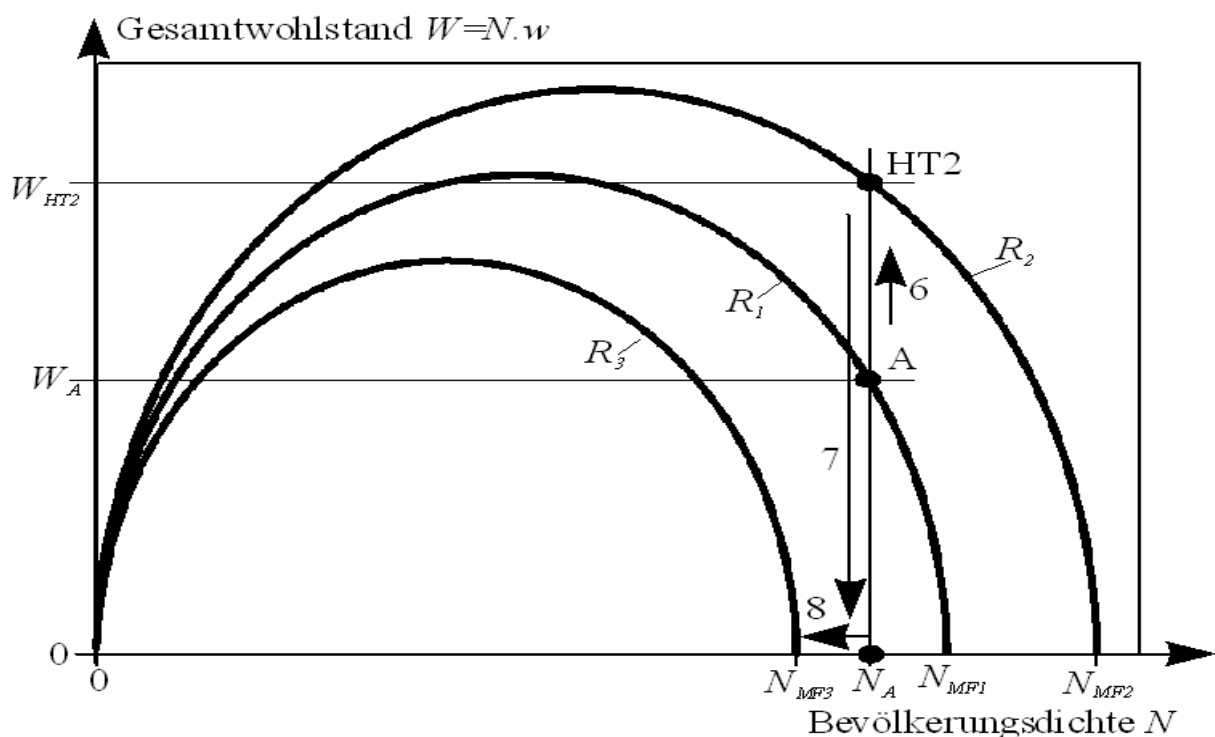
¹² Vorschläge auf andere Planeten auszuwandern sind unseriös.

Umstieg auf die Pflanzennutzung mit der „Neolithischen Revolution“ kann es sich aber nicht erholen. Heute werden sowohl Tier-, als auch Pflanzenarten knapp: Die Stabilität des Klimas sinkt, seine Variabilität steigt, die Böden degradieren und die Vielfalt sowohl an Nutzpflanzensorten als auch an Wildpflanzen- und Wildtierarten sinkt. Nachdem die erneuerbare Energie des Pflanzenreiches, insbesondere Holz knapp wurde, stieg man auf die Ausbeutung nicht erneuerbarer Energievorräte um, ohne dass sich die Quellen und Senken der erneuerbaren erholen können. Fleisch wird auf eine Weise „produziert“, die die Bodenfruchtbarkeit für Pflanzen senkt. Gleichzeitig werden die Meere ausgefischt. Oft konnten Zusammenbrüche, wie auf der Osterinsel, nur dadurch vermieden werden, dass die Menschen aus Gebieten, in denen sie die natürlichen Lebensgrundlagen zerstört hatten in neue Gebiete auswanderten, in denen dies noch nicht der Fall war. Nun ist aber praktisch der gesamte Planet besiedelt. Die Techniken verringern das dauernd verfügbare Ressourcen-Angebot, auf das alle potentiell in Zukunft Lebenden angewiesen sind.

Was kennzeichnet „sanfte technische Entwicklungspfade“, die derartige Spiralen in immer schlimmere Malthusfallen vermeiden und hohen Wohlstand nicht nur für die Lebenden, sondern auch für die zukünftigen Generationen bringen? Anstelle des Abgleitens in die Malthusfalle „ N_{MF1} “ entlang des Pfeils 1 des Bildes 3 hätte eine Begrenzung der Bevölkerung beim Wert $N=N_A$ den Wohlstand des Ausgangspunktes „A“ beim Wert $W=W_A$ erhalten und den Zusammenbruch auf Null in den Punkten „ N_{MF1} “, „ N_{MF2} “ und „ N_{MF3} “ vermieden (Bilder 3 und 4). Darüber hinaus hätte mit einer Absenkung der Geburten- und Zuwanderungsrate (Daly, 2006) die Bevölkerungsdichte vom Wert $N=N_A$ auf den optimalen Wert $N=N_{opt}$ verringert werden können, wodurch der Gesamtwohlstand von $W=W_A$ entlang des Pfeiles 5 auf $W=W_{max}$ im Bild 3 angestiegen wäre. Die Begrenzung der Bevölkerung hätte damit für alle mehr und dauerhafteren Wohlstand gebracht, als der Einsatz harter Techniken.

Bei einem Beibehalten der Bevölkerungsdichte $N=N_A$ des Ausgangspunktes hätte der Einsatz harter Technik zwar den Wohlstand entlang des Pfeils 6 des Bildes 5 zunächst über den des Ausgangspunktes W_A hinaus auf W_{HT2} des Punktes HT2 anheben können:

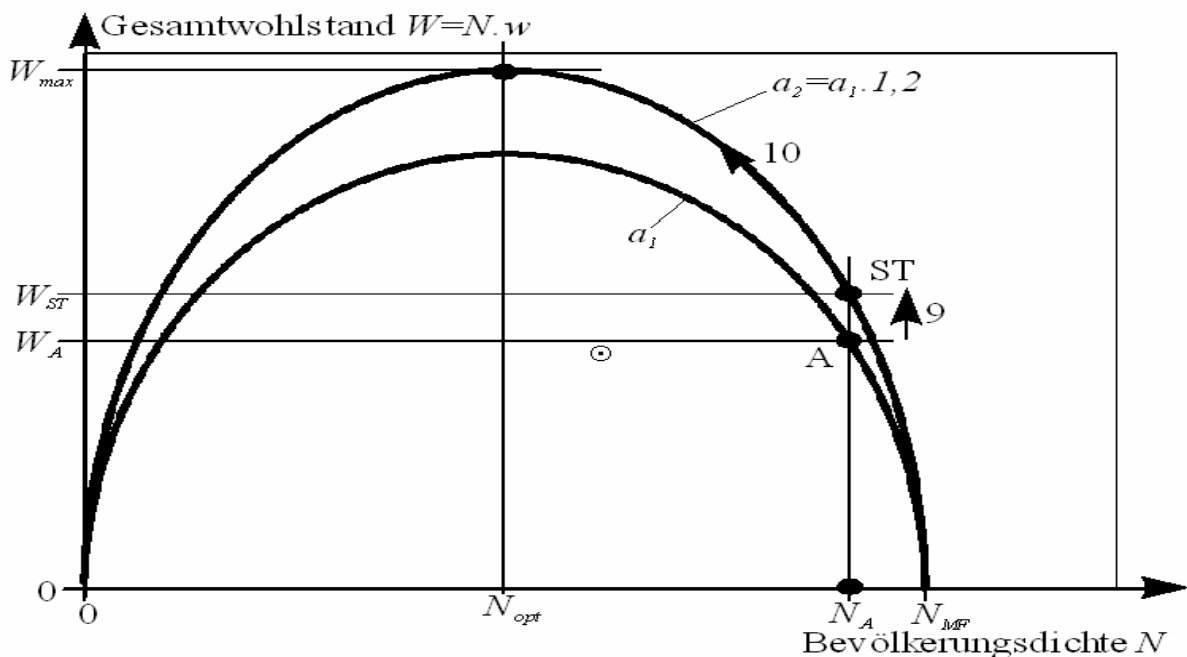
Bild 5: Veränderungen des Gesamtwohlstandes W durch harte Techniken bei konstanter Bevölkerungsdichte N



Weil damit aber die gesamte Natursausbeutung von R_1 auf R_2 und damit möglicherweise über die ökologische Tragfähigkeit hinaus gesteigert worden wäre, wäre sie wegen des Naturkollapses auf R_3 zurück gesunken. Dies hätte den Wohlstand entlang der Pfeile 7 und 8 wieder auf den Wert Null reduziert. Wieder hätte der harte Technikeinsatz nach einer Verzögerungsperiode schließlich den Verlust allen Wohlstandes gebracht.

Eine „sanfte“ Technik hätte dagegen die Ressourceneffizienz, oder die Parameter a oder b in der Gleichung (1) angehoben. Aus ein und derselben Ressourcenmenge wäre mehr Wohlstand gewonnen worden. Das Bild 6 illustriert die Folgen einer Anhebung der Ressourceneffizienz um 20% ($a_2 = a_1 \cdot 1,2$):

Bild 6: Wohlstandsgewinn durch sanfte Techniken



Die „sanfte“ Technik hätte den Wohlstand bei einer konstanten Bevölkerungsgröße N_A von W_A des Ausgangspunktes A entlang des Pfeils 9 auf W_{ST} des Punktes ST angehoben, wobei der Gesamtressourcenverbrauch dabei beim Wert $R=R_1$ geblieben wäre. Die Naturüberlastung wäre vermieden worden und der Wohlstandsgewinn ($W_{ST} - W_A$) durch die „sanfte“ Technik und die Bevölkerungsbegrenzung endgültig geblieben. Er hätte aber höher ausfallen können, wenn zusätzlich die Bevölkerung durch Begrenzung ihres Zuwachses nach einer Übergangsperiode vom Wert N_A des Ausgangspunktes A auf N_{opt} abgesenkt worden wäre. Das hätte den Wohlstand endgültig und für immer entlang des Pfeils 10 des Bildes 5 von W_A auf W_{max} angehoben. „Sanfte Technikpfade“ können also den Wohlstand dauernd anheben und sind durch eine Begrenzung des Bevölkerungswachstums, sowie eine Anhebung der Ressourceneffizienz gekennzeichnet, wie dies die Pfeile 9 und 10 im Bild 6 illustrieren. Harte Technikpfade können vorübergehend Wohlstandsgewinne bringen, wie dies die Pfeile 2 im Bild 4 und 6 im Bild 5 demonstrieren. Langfristig droht der Wohlstand aber entlang der Pfeile 3 und 4 des Bildes 4 oder entlang der Pfeile 7 und 8 des Bildes 5 auf Null zusammenzubrechen, wenn die harten Pfade die Natur überlasten oder die Bevölkerung gegen natürliche Grenzen wächst. Als Einwand könnten Kriege als zentrales Übel ins Treffen geführt werden, die oft hohe Menschen- und damit Soldatenzahlen attraktiv erscheinen ließen. Die Möglichkeiten einer gerechten Verteilung der Naturressourcen (Aubauer, 2006a; 2006b), und neuer Verteidigungstechniken entkräften aber dieses Argument.

5 „Sanfte“ Technikpfade:

„Sanfte“ Pfade heben das Wohlbefinden der Lebenden an, ohne das Wohlbefinden der potentiell zukünftig Lebenden zu gefährden, ganz entsprechend der Definition der „Nachhaltigen Entwicklung“¹³. Die Technik soll das Wohl aller, wirklich aller Menschen anheben, also auch derer, die potentiell in Zukunft, also in hundert, in tausend oder hunderttausend Jahren leben - und das ist die überwiegende Mehrheit aller Menschen¹⁴: „Sanfte“ Techniken heben das menschliche Wohlbefinden unter der Berücksichtigung der Tatsache an, dass dem nach fließenden Angebot natürlicher Ressourcen Grenzen gesetzt sind und dass diese Grenzen enger werden, sobald sie überschritten werden. Wenn beispielsweise gegenwärtig jährlich überall mehr Fische gefangen werden, als nachwachsen, sodass Arten ausgerottet werden, sinkt auf Dauer und praktisch unumkehrbar die alljährlich zu erntende Menge. Noch wirksamere Fangtechniken können dies kurzfristig und vorübergehend ausgleichen. Die dauernd zu erbeutende Fischmenge sinkt dadurch aber noch stärker, bis dies auch durch noch so intensive Steigerungen der Wirkung der Fangtechniken nicht mehr ausgeglichen werden kann. Eine Fortsetzung des harten Fischfang-Pfades bringt schließlich kapitalintensive hoch technisierte Schiffe, die nutzlos geworden sind, weil sie kaum Gewässer mit Fischen mehr finden. Schon vor diesem Zustand sind sie aber unwirtschaftlich geworden, weil ihr Betrieb mehr kostet, als mit dem Verkauf der von ihnen erbeuteten Fische Erlöst werden kann.

Jede Zunahme an Nutzen, den dagegen „sanfte“ Technikpfade ermöglichen, kommt aus einer Zunahme der Ressourcenproduktivität, daraus, dass aus ein und derselben Naturressource mehr Nutzen gewonnen wird, aber auch aus einer Begrenzung der Bevölkerung und nicht aus vermehrten Naturbelastungen. Wichtiger als die momentan gefangene Menge an Fischen ist ihre Arterhaltung. Auf Dauer können so mit traditionellen weitgehend sanften Fischfangtechniken mehr Fische mit weniger Kosten erbeutet werden und der Wohlstand wesentlich stärker angehoben werden (Bild 6). Die zukünftig nötigen „sanften“ Technikpfade unterscheiden sich damit grundsätzlich von den in der Geschichte üblichen „harten“. Sie berücksichtigen die Zukunft und ersetzen die Konfrontation der menschlichen Gesellschaft mit ihren natürlichen Grundlagen durch eine Symbiose zwischen ihnen.

Illustriert werden kann dies auch an Hand des Energiesystems: Ein „sanfter“ Energiepfad setzt vor allem auf eine Verringerung der Primärenergie menge, die erforderlich ist, um ein und dieselbe Energiedienstleistung (etwa eine bestimmte Raumtemperatur pro Quadratmeter Wohnfläche, oder eine Verkehrsleistung in Personen- oder Tonnenkilometern) herzustellen. Damit soll es nach einer „optimal“ langen Übergangsperiode gelingen der Natur nicht mehr Primärenergie zu entnehmen, als aus der erneuerbaren Sonnenquelle eingestrahlt wird. Auf Dauer ist schließlich nur sie allein verfügbar. Die gesamte im Jahr auf die Erdoberfläche eingestrahlte Sonnenenergie menge ist sehr groß ($5,6 \cdot 10^{24}$ J) und überschreitet die jährlich verbrauchte Energiemenge ($4 \cdot 10^{20}$ J) um Größenordnungen. Dennoch lässt sich davon nicht viel mehr nutzen, als es die Lebewesen mittels Photosynthese ohnehin schon tun. Der Engpass bleibt die biologisch produktive Boden- und Wasserfläche. Mit ihr muss einerseits die dezentral einfallende Sonnenenergie „gesammelt“ werden, andererseits aber auch die zur Herstellung der „Sammeltechniken“ notwendigen Materialien aus nachwachsenden Quellen gewonnen werden. Über die Photosynthese wird im Mittel etwa 1% der eingestrahlten Sonnenenergie fixiert ($3,2 \cdot 10^{21}$ J). Den höchst entwickelten Tandem-Solarzellen gelingt dies mit Wirkungsgraden über

¹³ „Sustainable development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“ (Hauff, 1987).

¹⁴ Natürliche Grenzen der Existenz der Menschheit auf der Erde sind erst in einigen Milliarden Jahren erkennbar. Grenzen bestehen etwa aus dem Verlust von Wasserstoff an das Universum oder durch die Entwicklung der Sonne zu einem „Roten Riesen,.. Auf Dauer kann die Erde sicherlich nicht mehr Menschen mit ihren erneuerbaren Ressourcen am Leben erhalten, als die 10^9 , die im Jahr 1820 gelebt haben. Sie haben damals die erneuerbaren Ressourcen restlos genutzt, die nicht erneuerbaren jedoch noch nicht intensiv genutzt. Zukünftig könnten also mindestens $(10^9)^2 = 10^{18}$ Menschenlebensjahre leben. Das sind mehr als eine Million so viel, als die $3 \cdot 10^{11}$ Lebensjahre, die die $3 \cdot 10^9$ Menschen im Zeitalter während des 19. Jh. lebten. Die überwältigende Mehrheit der Menschen lebt daher potentiell in der Zukunft.

30%¹⁵. Der Vorteil dieses hohen energetischen Wirkungsgrades wird aber durch einen Materialengpass wieder wettgemacht: Tandemzellen bestehen aus sehr seltenen anorganischen, sich erschöpfenden Rohstoffen. Deswegen sind sie den Pflanzen grundsätzlich unterlegen. Die Menschheit kann nicht mittels Techniken ausreichend lange mit Elektrizität versorgt werden, die seltenste Materialien in hochkomplexer Form miteinander verbinden. Dies setzt auch den modischen „Nanotechnologien“ Grenzen. Zum Teil verbinden sie seltene Materialien in komplexer Weise und behindern dabei deren Wiederverwertung. So könnten sie nicht ausreichend lange Nutzen bringen.

Materialengpässe sind es auch, die einer energetischen Nutzung der großen Sand- und Wasserwüsten im Wege stehen. Über den weitgehend unfruchtbaren Teilen des Landes oder der Meere sind weder Fläche noch Sonne knapp. Dennoch fehlen die Materialien, um sie dauernd mit die Sonnenenergie sammelnden Strukturen (z.B. Photovoltaikanlagen, Solartürmen, Wellenenergiekraftwerken, Wärmekraftmaschinen) überziehen zu können. Und über den fruchtbaren biologisch produktiven Boden- und Wasserflächen gerät die flächenintensive Sonnenverwertung in Konkurrenz mit der Photosynthese, die die rasch knapp werdende natürliche Grundlage allen Lebens ist. Sie allein bringt die für jegliche Ernährung nötige Biomasse. Eine Ressource, die auch zur wesentlichsten Grundlage der Material- und Energieversorgung werden wird, weil von der Ausbeutung sich erschöpfender Ressourcen stufenweise Abstand genommen werden sollte. Daraus entsteht die vordringliche Priorität, den Energiebedarf ($4 \cdot 10^{20}$ J) mittels „sanfter“ Techniken zumindest um eine Größenordnung auf das dauernd aufrecht zu erhaltende Angebot erneuerbarer Quellen abzusenken.

Dabei existieren immer noch zusätzliche Möglichkeiten die Sonnenenergie direkt (etwa über photovoltaische oder photothermische Techniken) oder indirekt (etwa über die Wind-, Wasserkraft oder Biomasse) oder die Erdwärme verstärkt dort zu nutzen, wo dies die Photosynthese nicht behindert (bereits versiegelte Flächen wie etwa Dächer oder Lärmschutzbauten von Autobahnen). Den Flächen- und Materialengpässen entkommen könnten aber auch aus organischen nachwachsenden Materialien (Kohlenwasserstoffpolymeren) zusammengesetzte „organische Photozellen“, die das Sonnenlicht mit höherem Wirkungsgrad nutzen, als Pflanzen. Deren Entwicklung steht erst am Anfang, auch weil Fördermittel immer noch hauptsächlich in extrem harte Techniken, wie die Kernenergie fließen.

Vorrang sollte die Vergrößerung der Ressourcenproduktivität oder die Anhebung des Ertrages (genauer: der Energiedienstleistungen) sein, die mit ein und demselben Energieeinsatz erzeugt werden kann. Dabei geht es vor allem um Techniken (wie Wärme-Kraftkoppelungen, Wärmepumpen, Niedertemperatur-Stirling-Motoren), die den Wirkungsgrad der Exergie anheben¹⁶. Üblicherweise kümmert man sich nur um hohe Wirkungsgrade der Energie und ignoriert, dass sie diese dabei „entwert“ und ihr Exergieanteil gesenkt wird. Als Beispiel könnte die sehr weit verbreitete elektrische Widerstandsheizung dienen: Sie wandelt ein Joule höchst wertiger elektrische Energie (Exergieanteil bei 100%) in ein Joule niedrig wertiger Raumwärme (Exergieanteil unter 10%) um. Ihr Energiewirkungsgrad beträgt 100%, ihr Exergiewirkungsgrad dagegen unter 10%. Wärmepumpen können indessen aus einem Joule Elektrizität mehrere Joule Raumwärme erzeugen. Ihr Energiewirkungsgrad kann über mehreren hundert Prozent liegen, weil sie die Temperatur von Umgebungswärmen anheben, bis diese nutzbar werden.

Vorrang eines harten Energiepfades hat im Gegensatz dazu die Ausweitung der Energiemengen, die der Natur entnommen werden. Wie beim harten Fischfang wird so versucht Ertragsrückgänge überzukompensieren. Der Energieverbrauchszuwachs wird dabei als schicksalhaft unveränderlich angesehen. Die Notwendigkeit und Möglichkeiten seiner

¹⁵ Sie bestehen aus mehreren übereinander liegenden extrem dünnen Solarzell-Schichten (mit p-n-Übergängen), die jeweils ein bestimmtes Frequenzintervall aus dem breiten solaren Spektrum in elektrische Energie umwandeln, das übrige Sonnenspektrum aber weitgehend unvermindert durchlassen. Bis zur nächsten Solarzell-Schicht, die ein anderes Frequenzband verwertet. Derart kann ein großer Teil des Solarspektrums in Elektrizität verwandelt werden.

¹⁶ „Exergie“ ist der arbeitsfähige Teil der Energie bzw. der Anteil, der sich maximal in mechanische kinetische Energie umwandeln lässt.

Absenkung werden ignoriert (Aubauer, 1977; 1984; 1995; 2006a, 2006b). Verräterisch wird dabei mit einer Vielfalt der Energietechniken argumentiert, die angeblich notwendig sei: Auch bei ihrer extremen Ausschöpfung könne das Angebot erneuerbarer Energiequellen nur einen Bruchteil des rasch wachsenden Energiebedarfes abdecken. Daher müsse von allen zusätzlichen Möglichkeiten Gebrauch gemacht werden, Energie aufzubringen. Neben den erneuerbaren Energien, deren Entwicklung höchst wünschenswert sei, müssten auch alle nicht erneuerbaren fossilen und nuklearen Energien ausgebeutet werden. Sonst würden die Gesellschaften in eine Energieverknappung geraten, mit der die Wirtschaften und damit auch der Wohlstand zusammenbrechen würden. Denn mit der Verknappung der Energie würde auch ihr Preis und damit die zu ihrer Bereitstellung nötige Geldmenge steigen - Geld, das wo anders fehlen würde. Energie müsse billig bleiben. Das sei nur möglich, wenn die Aufbringung von Energie in dem Maß erweitert werde, wie der Verbrauch billiger Energie zunehme.

Entscheidend ist daher der Preis der Energie bzw. der Naturressourcen, genauer: die Differenz zwischen dem Preis des Produktionsfaktors Natur und des Produktionsfaktors Arbeit. Hart“ ist der Energiepfad, wenn (wie gegenwärtig) die Energie billig und die Arbeit teuer sind. Dies macht die Techniken der Ausnützung der Energiesparpotentiale, als auch die erneuerbarer Energiequellen unrentabel gegenüber hohem Energieverbrauch. Der Bedarf billiger Energie wächst zwangsläufig über ihr Angebot hinaus. Innerhalb der Ideologie des „harten“ Pfades meint man darauf allein mit einer Ausweitung des Energieangebotes reagieren zu können. Wenn dies gelingt, wenn zu Lasten der Umwelt vermehrt billige Energie gewonnen werden kann, werden diese „Erfolge“ durch einen Anstieg des Energiebedarfes erneut untergraben. Die Energieverschwendung wächst: die zur Erledigung ein und derselben Tätigkeiten zurück zu legenden Distanzen (die Zwangsmobilität), der Treibstoffverbrauch pro mittlerer Verkehrsleistung, der Raumwärme- und Warmwasserbedarf pro Person, der zur Herstellung und Gebrauch eines (mittleren) Gutes nötige Energieverbrauch nehmen immer mehr zu. Der harte Energiepfad schafft sich die Energieknappheit und damit seine Rechtfertigung, die scheinbare Notwendigkeit vermehrter Energieaufbringung zur Vermeidung einer Energieverteuerung selbst - bis die Umwelt und Wirtschaft zusammenbrechen, weil zusätzlich zur intensiv überlasteten Umwelt der Preis der intensiv verschwendeten Energie sprunghaft ansteigt. Die billige Energie senkt die Energieeffizienz und steigert den Verbrauch an Energie so lange bis die ausgeplünderte Natur (analog zum Fischfang) keine billige und nur mehr teure Energie liefern kann. Das Zusammentreffen der Verschwendung und raschen Verteuerung von Energie überlastet die Wirtschaft. Denn die Energieaufbringung zieht einen großen Teil der verfügbaren Geldmittel an sich und entzieht sie der übrigen Wirtschaft. Das mittlere Preisniveau steigt sprunghaft an. Denn der eine Produktionsfaktor (Energie) wird teuer, ohne dass der andere Produktionsfaktor (Arbeit) billiger wird. Der mittlere Reallohn und Wohlstand sinken dementsprechend drastisch.

„Sanft“ ist der Energiepfad, wenn das Preisverhältnis zwischen Energie und Arbeit bei unverändert hohen Löhnen, Einkommen, Wohlstand und Sozialprodukt verändert wird (Aubauer, 1977; 1984; 1995; 2006a; 2006b)¹⁷. Der eine Produktionsfaktor (Energie) wird insofern aufkommensneutral verteuert, als der andere Produktionsfaktor (Arbeit) gleichzeitig so verbilligt wird, dass das mittlere Realpreisniveau aller Güter und Dienstleistungen unverändert bleibt. Techniken, Strukturen und Verhaltensweisen, die die Energieeffizienz steigern (z.B. Wärmekraftkopplungen, Wärmedämmung, Senken der Zwangsmobilität, Anheben der Produktlebensdauer) und die Sonnenenergie verwerten, werden rentabel. Energieverschwendende Techniken unrentabel. Arbeits- und wissensintensive Verhaltensweisen und Produkte wie Dienstleistungen werden billig, energieintensive dagegen teuer. Die teure knappe Energie wird durch die billige üppige Arbeit¹⁸ ersetzt. Energieverschwendung und Arbeitslosigkeit verschwinden. Der Energiebedarf sinkt schließlich auf das Angebot aus erneuerbaren Sonnenquellen. Ein ökologisch und sozial verträglicher Lebensstil stellt sich ein, der seine natürlichen Grundlagen bewahrt.

¹⁷ Die „Lohnebenkosten“ verschwinden nicht nur, sondern werden auch stark negativ.

¹⁸ bei gleichzeitig hohen Löhnen und Einkommen.

6 Der Übergang von „harten“ zu „sanften“ Technikpfaden:

Ausschlaggebend ist dabei die „Amortisationszeit“ von Techniken, oder die Periode, innerhalb derer sich Investitionen in sie wieder zurückzahlen. Wenn diese Amortisationszeit außerhalb der Gebrauchs- oder Lebensdauer der Technik liegt, ist sie unrentabel und zahlt sich nicht aus. Wenn sie innerhalb liegt, stellt sich Rentabilität und ein Gewinn ein, der umso größer ist, je größer die Differenz zwischen Gebrauchsdauer und Amortisationszeit ist. Solange natürliche Ressourcen billig und die Arbeit teuer ist, sind „harte“ Techniken, Verhaltenweisen und Produkte rentabel, „sanfte“ dagegen unrentabel. Politiken, die die Ressourcen verteuern und die Arbeit verbilligen (ohne das mittlere Preisniveau zu verändern) verdrängen die „harten“ durch die „sanften“ Alternativen, weil sie die „sanften“ rentabel und „harten“ unrentabel machen (Aubauer, 2006a; 2006b).

Allgemein amortisiert sich eine Investition I in eine sanfte Technik, die den Energieverbrauch vom Wert q auf den Wert $(q-dq)$ senkt (etwa eine Solaranlage, eine Wärmedämmung oder der Ersatz einer Widerstandsheizung durch eine Wärmepumpe) innerhalb einer Amortisationszeit von A Jahren, wenn P der Energiepreis und z der Zinssatz ist:

$$A \cdot P \cdot q = A \cdot P \cdot (q - dq) + I + I \cdot z \cdot (1 + A) / 2. \quad (4)$$

In der Gleichung (4) werden die Energiekosten vor der Investition auf ihrer linken Seite ($A \cdot P \cdot q$) den Energiekosten nach der Investition auf ihrer rechten Seite [$A \cdot P \cdot (q - dq)$] gleich gesetzt, wobei die Investitionskosten I und ihre Finanzierungskosten¹⁹ [$I \cdot z \cdot (1 + A) / 2$] auf der rechten Seite der Gleichung dazu kommen. Dies ergibt die Amortisationszeit A der Gleichung (5)

$$A = (2 + z) / [(2 \cdot dq \cdot P) / I - z]. \quad (5)$$

A sinkt mit dem Verhältnis (P/I) aus dem Energiepreis P und den Investitionskosten I . Die Kosten I enthalten die Arbeitskosten. Niedrige Energiepreise P und hohe Arbeitspreise ergeben ein niedriges Verhältnis (P/I) und lange Amortisationszeiten A . Sanfte Techniken, die den Energieverbrauch senken, werden unrentabel. Hohe Energiepreise P und niedrige Arbeitspreise bringen ein großes Verhältnis (P/I) , die Rentabilität sanfter Techniken und einen Gewinn gleich $(G - A) \cdot P$, wenn G die Gebrauchsdauer symbolisiert.

Schon anlässlich der Energieverknappungen in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden daher Übergangspolitiken vom „harten“ zum „sanften“ Pfad vorgeschlagen, die die Arbeit relativ zur Energie ohne Inflation verbilligen (Aubauer, 1977; 1984, 1995). Die endlichen fossilen und nuklearen Energien blieben dennoch billig relativ zur Arbeit. Investitionen in Techniken der Verbesserung der Energieverwertung und der solaren Energienutzung zahlen sich kaum aus, weil deren Amortisationszeit A meist unter ihrer Gebrauchsdauer G bleibt. Der Energieverbrauch vervielfachte sich. Schlimmer als dies: Mit der Politik der Energieliberalisierung der letzten Jahre wird „Energie“ wie jedes andere Gut gesehen, dessen Absatz angeblich gesteigert werden müsse. Beispielsweise sinkt der (für eine Kilowattstunde bezahlte) Preis (stark degressiv) mit dem Verbrauch (in Kilowattstunden). Die Großverbraucher haben einen niedrigen, die Kleinverbraucher einen hohen Strompreis. Stromsparen bleibt unwirtschaftlich. Nicht die Befriedigung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen (z.B. Raumtemperatur oder Verkehrsleistung in Tonnen- oder Personenkilometern) mit möglichst wenig Energie, sondern die Maximierung des Energieverbrauches wird angestrebt. Die verbrauchte Erdölmenge steigt immer mehr über jene, die sich mit niedrigen Kosten gewinnen lässt. Zumindest mittelfristig werden Erdölpreis stark ansteigen (Green, 2006). Immer wichtiger wird daher der vorgeschlagene Übergang zu höherer Energie- und Ressourceneffizienz durch aufkommensneutrale Verteuern der Naturressource

¹⁹ errechnet aus der Summe einer arithmetischen Reihe.

erschöpfliche Energie relativ zur Menschenressource Arbeit und Wissen (Aubauer, 1977; 1984; 1995; 2006a; 2006b). Ohne ihn machen die erwartbar steigenden Energiepreise sowohl „sanfte“ Techniken der Energiebedarfesreduktion, als auch „harte“ Kernenergietechniken rentabel, die Übergängen zu „sanften“ Alternativen die finanziellen Mittel entziehen. Der „harte“ und der „sanfte“ Pfad schließen einander aus, weil und dasselbe Geld nur entweder für die eine, oder die andere Alternative ausgegeben werden kann.

Dabei winkt die unheilvolle Illusion einer endgültigen Beseitigung von Energieknappheiten durch die Anzapfung des großen Energiereservoirs der Kernfusion. Die (in Energie umgerechneten) Vorkommen des „Brennstoffs“ der üblichen Spaltungsreaktoren (Uran²³⁵) sind nicht viel größer als die des Erdöls. Der Übergang zu den wesentlich umweltschädlicheren Brutreaktoren ermöglicht die Nutzung des in größerer Menge vorkommenden Uran²³⁸, wobei das besonders schädliche Plutonium „erbrütet“ wird, ein wichtiger Ausgangsstoff für Atombomben. Vertreter des harten Pfades argumentieren, dass so mit der Kernspaltungsenergie Energieknappheiten beseitigt werden könnten, bis dies mit Hilfe der Kernfusion „endgültig“ gelinge. Denn die „Brennstoffe“ der Kernfusion (Deuterium und Lithium) sind in so großer Menge zu finden, dass der Energiebedarf der Menschheit über tausend Jahre lang befriedigt werden könnte²⁰. Da dies sehr lang erscheint, wird die extrem „harte“ Kernfusionstechnik wesentlich intensiver gefördert, als „sanfte“ Energietechniken. Wobei die Öffentlichkeit gezielt mit dem Argument getäuscht wird, dass Sonnenenergie und Kernfusion ein und dasselbe seien²¹. Die Aussicht auf eine endgültige Vermeidung aller Energieengpässe nährt die trügerische Illusion die harten Technikpfade der Geschichte „für immer“ beibehalten zu können. Mit ausreichend viel Energie könnten für immer Material- und Nahrungsengpässe vermieden werden. Sogar die Knappheit fruchtbaren Bodens könne beseitigt werden, indem etwa Biomasse auf Erdschichten gewonnen werden könnte, die übereinander in mehrstöckigen Gebäuden gelagert und mit künstlichem ultraviolettem Licht bestrahlt werden²². Dies alles würde aber die menschliche Belastung der Natur noch weiter über deren Belastungsfähigkeit anheben und den Zusammenbruch der überlasteten Natur noch weiter beschleunigen. Der dadurch ausgelöste Zusammenbruch der Wirtschaft könnte möglicherweise noch ein wenig in die Zukunft verschoben werden. Sein Eintritt würde aber umso wahrscheinlicher und folgenschwerer gemacht. Mit großer Sicherheit würde das Ende der Nutzungsmöglichkeiten der Kernfusion in tausend Jahren auch das Ende der menschlichen Existenz bringen, zumindest aber das Ende einer würdigen Existenz. Tausend Jahre erscheinen lang, sind aber nur etwa ein Millionstel der Periode, die die Menschheit auf diesem Planeten leben könnte, ohne sich selbst zu zerstören¹⁰.

Die mittelfristig erwartbare Energieverteuerung („peak oil“) bietet die allerletzte Chance von „harten“ auf „sanfte“ Techniken umzusteigen. Diese ausreichend beschriebene Weichenstellung (Aubauer, 1977; 1984; 1995; 2006a; 2006b) sollte wegen des Zeitdrucks rasch, eindeutig und klar erfolgen. Kombinationen von „harten“ und „sanften“ Techniken verzögern den Umstieg. Je später er erfolgt, umso schwieriger ist er, bis zu einem „Zeitpunkt ohne

²⁰ Der Jahresverbrauch eines Fusionskraftwerks mit einer Leistung von 1000 MW beträgt etwa 100 kg Deuterium und 150 kg Tritium (aus 300 kg Lithium gewonnen). Deuterium ist zu ca. 0,015% im natürlichen Wasser enthalten und somit fast unbegrenzt verfügbar. Tritium wird im Blanket des Fusionsreaktors durch Neutroneneinfang aus Lithium erbrütet: Lithium ist etwa gleichmäßig in der Erdkruste vorhanden. Sein Gesamtvorrat wird auf 100 Millionen Tonnen geschätzt. Damit reichen die Brennstoffvorräte auf der Erde aus, um den Weltenergiebedarf über mehr als ein Jahrtausend zu decken.

²¹ Unter anderem vertrat dies 2006 ein Teil der österreichischen Bundesregierung in der Öffentlichkeit: Tatsächlich entsteht die auf die Erde eingestrahlte solare Energie durch Kernfusion in der Sonne in einer (mittleren) Entfernung von 149,6 Millionen km von der Erde. Kernfusionskraftwerke auf der Erde wären unzweifelhaft entscheidend schädlicher und teurer als die kostenlos eingestrahlte Sonnenenergie: Darüber hinaus entsteht auch bei der Kernfusion in großem Ausmaß radioaktiver Abfall durch die Neutronenbestrahlung von Werkstoffen.

²² Beispielsweise ist in Rotterdam eine 1 km lange und 6 Stockwerke hohe Intensivlandwirtschaftsanlage geplant: <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/bstuecke/15696/index.html>.

Wiederkehr“, ab dem er überhaupt unmöglich wird, weil selbst verursachte Katastrophen die erforderliche Handlungsfreiheit rauben. Halbherzige Politiken verpassen ganz einfach letzte Gelegenheiten.

Wenn beispielsweise eine Wertschöpfungsabgabe oder „Maschinensteuer“ vorgeschlagen wird, die vermehrt den Kapital- und weniger den Arbeitseinsatz besteuern soll²³. Nicht aber der Kapital- oder Maschineneinsatz und ihre Wertschöpfung sind Übel, die durch ihre Besteuerung begrenzt werden müssen! Übel sind nicht alle Wertschöpfungen und Techniken, sondern nur solche, die natürliche Ressourcen verschwenden. Übel sind „Rationalisierungen“, die mittels dieser unerwünschten harten Techniken im Überfluss vorhandene teure Arbeit und Wissen durch knappe billige Ressourcen ersetzen und damit beides die Umweltbelastung und Arbeitslosigkeit erhöhen. Erwünscht sind beispielsweise sanfte Techniken wie die der Plusenergiehäuser²⁴, oder Wärme-Kraftkopplungen, die den Ressourcenverbrauch durch Arbeit/Wissen ersetzen. Nicht der Kapital-, sondern der Natureinsatz bzw. Ressourcenverbrauch sollte daher simultan zu einer immer billiger gemachten Arbeit verteuert werden (Aubauer, 2006a; 2006b). Dies diskriminiert die harten gegenüber den sanften Techniken und nicht alle von ihnen.

Halbherzigkeit ist auch bei Wirtschaftseingriffen unangebracht: Förderungen sollten in „sanfte“ Techniken einer höheren Ressourcenproduktivität fließen und aus unverantwortbaren harten Technik-Sackgassen, wie der Weiterentwicklung der Kernspaltungs- und Kernfusionstechniken restlos abgezogen werden! Hat ein Land aber überhaupt genug Freiraum, um einen derart gravierenden Wandel von „hart“ zu „sanft“ einleiten zu können? Es kann gezeigt werden, dass es auch dann gewinnt, wenn es sich im Alleingang für den ökologisch und sozial verträglichen „sanften“ Pfad entscheidet. Denn es entkommt der oben skizzierten „Ressourcenknappheitsfalle“, steigt aus dem sich rasch verschärfenden globalen Verteilungskampf um immer knapper werdende natürliche Ressourcen aus und entwickelt das Wissen und Können ressourceneffiziente Güter herstellen zu können, die vor dem Hintergrund sich auch weltweit stetig verteuern Ressourcen bevorzugt gekauft werden. Wenn ein Land schon allein entlang des „sanften“ Pfades gewinnt (Aubauer, 2006b), bleibt es nicht allein.

Als Einstieg in einen „sanften“ Pfad bietet sich eine stufenweise wachsende aufkommensneutrale Besteuerung der in großen Strömen in die Wirtschaft fließenden Primärenergie²⁵ an. Die gesamte Steuerbelastung soll sich nicht ändern und der Wirtschaft keine zusätzlichen Geldmittel entzogen werden (Aubauer 2006b). Das Aufkommen aus der Energiebesteuerung würde verwendet, um die Steuern jedes Bürgers (entsprechend einer negativen Kopfsteuer) um ein und denselben Betrag zu verringern (wobei jene, die keine Steuern zahlen, diesen Betrag direkt erhielten). Mit der Verteuern der Energie soll ihr Verbrauch und damit auch die Naturbelastung verringert werden, indem Techniken, die dies bewirken rentabel werden. Denn in erster Ordnung ist die Nutzung von Energie der von Natur proportional (Wiesinger, 2005). Vor einem derartigen Hintergrund würden sich Investitionen in eine Wärmedämmung eher auszahlen, als in eine leistungsfähigere Heizung. Die Veränderung der Raumstruktur zugunsten kürzerer Wege, die im Alltag zurückgelegt werden müssen (weniger Zwangsmobilität) würde weniger kosten, als der Kauf immer schnellerer und damit scheinbar Zeit sparender Kraftfahrzeuge. Heimisches Obst würde finanziell attraktiver werden, als importiertes und über tausende Kilometer Luftfracht transportiertes. Dies jedoch nur unter der Voraussetzung, dass entsprechend dem Bestimmungs- oder Ziellandlandprinzips (des Handels) im Inland hergestellte Produkte dieselben Marktchancen erhielten, wie im Ausland produzierte und importierte.

²³ Die durch die zunehmende Verlagerung von personalintensiver Produktion hin zur Automatisierung verbundenen Abgänge in der Sozialversicherung sollen damit ausgeglichen werden. Denn die direkte Belastung der Personalkosten für die Sozialversicherung trägt zur Arbeitslosigkeit bei.

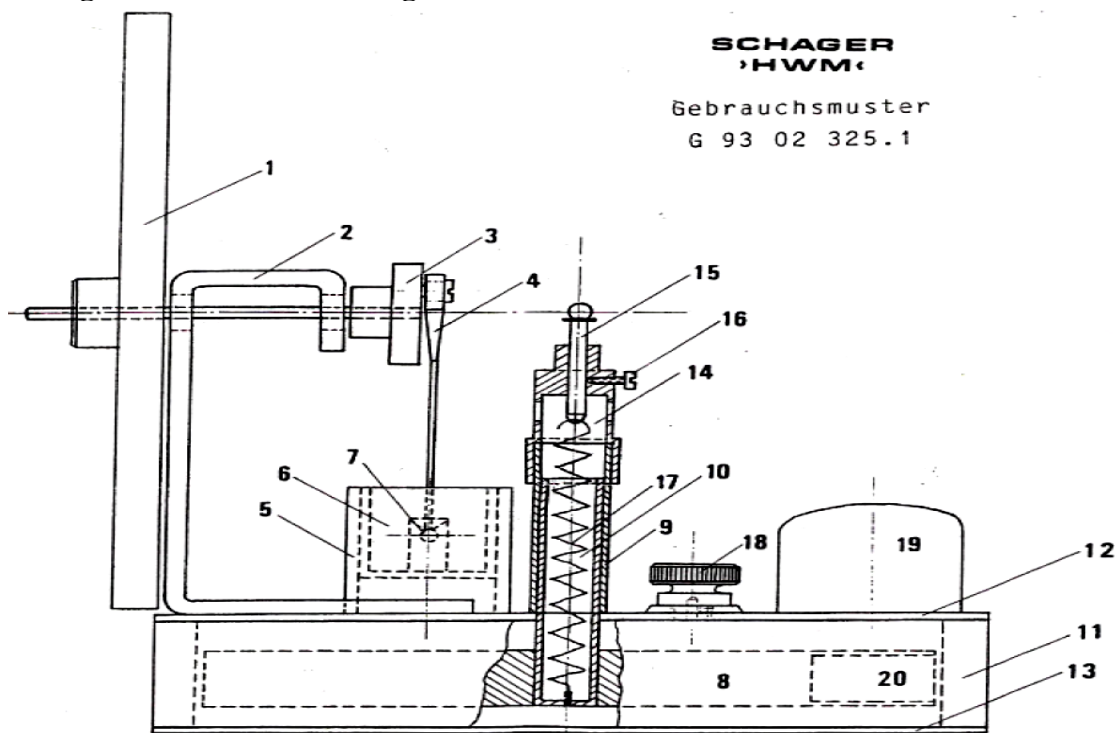
²⁴ Aus Solaranlagen auf den Dächern und Wänden der Häuser wird mehr Energie gewonnen, als in ihnen gebraucht wird.

²⁵ sowie „der „grauen“ Energie der Importe

Neben der direkten Förderung wichtiger technischer Ideen, wie der Stirlingmotoren, oder organischen Photovoltaik, damit sie als „sanfte Schlüsseltechniken“ eine Pionierfunktion bei der Ausbreitung weiterer „sanfter“ Techniken abgeben, ist es daher vor allem die indirekte Förderung durch eine Veränderung des Finanzrahmens (Aubauer, 2006b), die das Umsteigen von „harten“ zu „sanften“ Techniken rentabel und damit möglich machen. Statt sich im Detail genau zu überlegen, welches „sanfte Schlüsseltechniken“ sein könnten und diese dann direkt zu fördern, erscheint es effektiver auf den Einfallsreichtum der Techniker zu vertrauen, die menschlichen Bedürfnisse mit „sanften“ technischen Konstruktionen vor dem Hintergrund teurer Natur und billiger Arbeit zu befriedigen, statt dies mit „harten“ Alternativen vor dem gegenwärtigen Hintergrund billiger Natur und teurer Arbeit zu tun.

Längst sind beispielsweise die Vorzüge von „Stirling-, oder „Heißluftmotoren“ bekannt²⁶. In nahezu allen technischen Parametern sind sie den „inneren Verbrennungsmotoren“, wie Otto- oder Dieselmotoren weit überlegen. Sie können mit dem großen Angebot von Umweltwärmen, Sonnenenergie und einer Vielzahl von Kraftstoffen betrieben werden, nutzen diese effizienter, sind (weil die Kraftstoffe gleichmäßig brennen und nicht explodieren) wesentlich leiser, haben keine oder wesentlich weniger Schadabgase, können ohne Getriebe nach vorwärts und rückwärts laufen, haben wie Elektromotoren und Dampfmaschinen ein Drehmoment, das mit sinkender Drehzahl zunimmt, so dass sie selbst startend sind, haben nur Takte die Arbeit leisten und nicht wie bei den üblichen Kraftfahrzeugmotoren drei von vier Takten, die Arbeit kosten. Mit dem im Bild 7 als Konstruktion gezeigten Modell eines Stirling Motors lässt sich demonstrieren, dass sogar die Körperwärme ausreicht, um ihn anzutreiben²⁷.

Bild 7: Schager-Modell eines Stirling Motors



²⁶ Der Stirlingmotor ist eine Wärmekraftmaschine, in der ein hermetisch abgeschlossenes Arbeitsmedium (meistens ein Gas wie Luft oder Helium) durch Temperaturänderungen in regelmäßigen Zyklen von außen erwärmt und wieder abgekühlt wird, um mechanische Energie zu erzeugen. Der geschlossene Kreisprozess kann mit einer beliebigen externen Wärmequelle betrieben werden.

²⁷ Er beginnt zu laufen, sobald er auf die Hand gestellt wird, wobei er von den Wärmen mit der Temperaturdifferenz zwischen dem unteren (Nr. 13) und oberen (Nr. 12) Verdrängerdeckel angetrieben wird.

Die Zahlen im Bild 7 bezeichnen: 1-Schwungrad, 2-Lagerwinkel, 3-Kurbel, 4-Pleuel, 5-Arbeitszylinder, 6-Arbeitskolben, 7-Kugelgelenk, 8-Verdränger, 9- Zylinder des Verdrängerkolbens, 10-Verdrängerkolben, 11-Verdrängerzylinder, 12-oberer Verdrängerdeckel, 13-unterer Verdrängerdeckel, 14-Federhaus, 15-Feder-Haltestift, 16-Feststellschraube, 17-Rückholfeder, 18-Lüftungsschraube, 19-Gegenmasse, 20-Typenschild.

Stirling-Motoren können auch als Wärmepumpen betrieben werden und in der Kombination beider als Wärmetransformatoren dienen. Diese Transformatoren können die Temperatur von Umgebungswärmen ohne Fremdenergie bis zur Vorlauftemperatur von Heizungsanlagen anheben oder bis zu der von Kühlaggregaten senken. Bei der Nutzung von Sonnenenergie erreichen Stirlingmotoren die energetischen Wirkungsgrade von Photovoltaikanlagen, sind aber bezüglich der Werkstoffe anspruchslos. Niedertemperaturstirlingmotoren könnten etwa vorwiegend aus Holz gebaut werden. Der Grund warum sich Stirlingtechniken gegen ihre technisch weit unterlegene Konkurrenz nicht durchsetzen und immer noch ein wirtschaftliches Nischendasein fristen, liegt erstens daran, dass sich ihre Vorteile innerhalb der herrschenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht bezahlt machen und zweitens daran, dass sehr viel Geld in die falsche direkte Förderung ihrer maschinenbaulich längst überholten Konkurrenz geflossen ist und fließt, das sich amortisieren muss. Dem Ersteren kann eben nur durch die Veränderung des relativen Preisunterschiedes zwischen den natürlichen Ressourcen (hier Energie) und der Arbeit begegnet werden. Dem Letzteren dadurch dass „sanfte“ statt „harter“ Techniken direkt gefördert werden.

Über den Energiebereich hinaus sollten Veränderungen des wirtschaftlichen Rahmens aber unverzüglich „Rationalisierungen“ durch sanfte Techniken rentabel machen, die den Einsatz von teurer gemachter Natur durch den von verbilligten Wissen, Können, Verantwortung und Arbeit ersetzen. Dies ist auf sozial gerechte Weise und ohne Wirtschafts- und Wohlstandseinbußen und Arbeitslosigkeit möglich (Aubauer, 2006a; 2006b).

Techniken ermöglichten die Evolution der Menschen, indem sie ihnen eine erdrückende Übermacht über das menschliches Leben tragende Tier- und Pflanzenreich verliehen. Mit dieser Übermacht, die vor allem seit der Industrialisierung weit in die millionenjährige Zukunft und über den ganzen Erdplaneten reicht, erwuchs ihnen aber auch eine Verantwortung (Jonas, 1987), der sie in keiner Weise gerecht werden. Gegenüber dieser Verantwortung blinde Ziele, wie Wirtschaftswachstum durch billige Naturressourcen, sowie grenzenlosen Verkehr von Kapital, Waren und Dienstleistungen dominieren. Wenn dies andauert, könnten Techniken dem menschlichen Leben, zumindest aber dem Wunsch zu leben ein jähes Ende bereiten.

7 Zusammenfassung:

Mittels Techniken konnte sich die Menschheit aus dem Tierreich heraus entwickeln. Denn während das Bevölkerungswachstum der Tiere durch die „Ökologische Tragfähigkeit“ ihrer Lebensräume begrenzt wird, erlauben diese „harte“ Techniken den Menschen über diese Tragfähigkeit hinaus zu wachsen und die Natur mehr zu belasten, als sie aushält. Als Folge bricht die überlastete Natur zusammen, wobei ihre Tragfähigkeit für menschliches Leben sinkt. Kompensiert wurde und wird dies durch noch „härtere“ Techniken, die die Natur noch intensiver ausbeuten und die Tragfähigkeit noch weiter überschreiten, bis zu ihrem völligen Zusammenbruch, der nicht mehr kompensiert werden kann und auch die Wirtschaft nach einer Zeitverzögerung in den Zusammenbruch reißt. So fangen etwa immer wirksamere Techniken immer mehr Fische aus einem immer mehr von Fischen entleerten Meer, bis sich ohne Verlassen dieses „harten“ Technikpfades der ganze Fischfang nicht mehr rentiert, weil die Fische schließlich mehr kosten, als mit ihrem Verkauf Erlöst werden kann. Zukünftige Generationen müssten einfach ohne Fischnahrung überleben. Ökonomen ist daher insofern recht zu geben, als in der menschlichen Geschichte mit Hilfe von Techniken tatsächlich natürliche Grenzen der Naturausbeutung überwunden wurden, jedoch zugunsten künftiger Natur- und damit auch Wirtschaftszusammenbrüche. Die harten Techniken der Geschichte ermöglichten es zusätzlich zu den Zinsen des natürlichen Kapitals auch dieses selbst abzubauen. Je länger aber mehr, als die Zinsen verbraucht werden, umso weniger Zinsen sind künftig auf Dauer verfügbar. Je länger mehr natürliche Ressourcen verbraucht werden, als aus erneuerbaren Quellen nach fließen, umso weniger natürliche Ressourcen fließen auf Dauer nach, zulasten zukünftigen Lebens!

„Sanfte“ Techniken berücksichtigen dagegen die Naturgrenzen. Sie produzieren ein Maximum an Wohlstand ohne wachsende Naturausbeutung innerhalb der vorhandenen „Ökologischen Tragfähigkeit“, die nicht überschritten wird. Statt Verbrauchswachstums schaffen sie Wohlstand nicht nur für die lebenden, sondern auch für alle künftigen Generationen. Durchsetzen können sich „sanfte“ Techniken aber nur in einem wirtschaftlichen Umfeld, das sie gegenüber ihren „harten“ Konkurrenten rentabel macht. Dazu müssen geeignete (und hier diskutierte) Maßnahmen den Produktionsfaktor Natur teurer und den Produktionsfaktor Arbeit billiger machen, ohne dass sich das mittlere Preisniveau verändert. Der Einsatz von Arbeit und Wissen würde den von Natur verdrängen und sowohl die Arbeitslosigkeit, als auch die Naturbelastung senken, ohne Einbuße an Wohlstand und Sozialprodukt. Beispielsweise wäre dies dringend erforderlich, um mittels „sanfter“ Energietechniken den Energiebedarf und das Energieangebot erneuerbarer Energiequellen in Übereinstimmung zu bringen und so aus den „harten“ fossilen und nuklearen Energietechniken eilends auszusteigen.

8 Literatur:

- Aubauer H. P. (2006a): „A just and efficient reduction of resource throughput to optimum“
Ecological Economics, 58, 637-649.
- Aubauer H. P. (2006b): „Ökologische, globalsolidarische und soziale Zügel für den Kapitalismus“ in „Weltreligionen und Kapitalismus“ (Ed.) H. Knoflacher u. a. ; echomedia Verlag Wien.
- Aubauer H. P. (2004): „Biologisch produktive Bodenflächen als Voraussetzung zukünftigen Lebens“, Wissenschaft & Umwelt – 2004
Interdisziplinär Nr. 8. Forum Österreichischer Wissenschaftler für Umweltschutz, Wien.
- Aubauer H. P. (1995): „Eine natur- wie wirtschaftsverträgliche Energiesteuer“,
„Wirtschaftspolitische Blätter“ Heft 5, Wien.
- Aubauer H. P. u. a. (1984): „Eine Energie- und Rohstoffabgabe statt der Besteuerung von Mehrwertschaffung und Arbeitseinsatz“, Wirtschaftspolitische Blätter, 4, 357-366.
- Aubauer H. P. (1977): „Gibt es Alternativen zur Kernenergie? Das Konzept einer progressiven Energiesteuer“ „Finanznachrichten“, Wien (Hrsg.: Horst Knapp); Heft 4, 28. Jänner.
- Brehm A. E. (1883): „Thierleben- Allgemeine Kunde des Thierreichs“ Zweiter Band (Die Säugethiere), Seite 393 ff. Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig.
- Campbell N. A. (1997): „Biologie“, Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Cohen J. E. (1996): „How many people can the earth support?“ Seite 356 ff. W. W: Norton & Company, New York, London.
- Daly, H. E. (2006): „Population, migration, and globalisation“ Ecological Economics, in press.
- Daly, H. E. (1992): „Allocation, distribution, and scale: towards an economics, that is efficient, just and sustainable. Ecological Economics 6, 185 – 193.
- Davison, J. (1938): „On the growth of the sheep population in Tasmania“, Trans. Roy. Soc. S. Australia 62, 342 -346.
- Green D. L. u. a. (2006): „Have we run out of oil yet? Oil peaking analysis from an optimist's perspective“, Energy Policy 34, 5, 515-531.
- Haberl H. u. a. (1992): „Simulation of human population dynamics by a hyperlogistic time-delay equation“. J. Theor. Biol. 156, 499-511.
- Hauff V. (1987): „Unsere gemeinsame Zukunft: Der Brundtland-Bericht für Umwelt und Entwicklung“ Eggenkamp, Greven Verlag.
- Diamond J. (2006): „Der dritte Schimpanse - Evolution und Zukunft des Menschen“ Fischer Verlag GmbH, Frankfurt/Main.
- Harris M. (1995): „Kannibalen und Könige - Die Wachstumsgrenzen der Hochkulturen“, Klett-Cotta/dtv Verlag, Stuttgart, Seite 36.
- Jonas H. (1987): „Das Prinzip Verantwortung“, Suhrkamp Verlag KG, Frankfurt am Main.

Living Planet Report (2006):

<http://www.ourplanet.com/imgversn/footprint/Living%20Planet%20Report%202006.pdf>

Malthus T. R. (1798): „First Essay on Population“ reprinted for the Royal Economic Society by Macmillan & Co. Ltd. St. Martin's Street, London, 1926.

Malthus T. R. (1878): „An Essay on the Principle of Population“; Reeves and Turner, 196 Strand, 100 Chancery Lane.

Odum E. P. (1971): „Fundamentals of Ecology“; W. B. Saunders Company; Philadelphia, London, Toronto.

Wackernagel, M. u. a. (1999): „National natural capital accounting with the ecological footprint concept“, *Ecological Economics*, 29, 375 – 390.

Wiesinger M. (2005): „Grenzen des Ressourcendurchsatzes und Bevölkerungswachstums der verschiedenen Länder der Welt“; Diplomarbeit, Universität Wien.

Samuelson P. A. und Noedhaus W. D. (1987): „Volkswirtschaftslehre – Grundlagen der Makro- und Mikroökonomie“. Band 2, Bund-Verlag GmbH, Köln.

Shelford, V. E. (1943): „The relation of the snowy owl migration to the abundance of the collared lemming. *Auk*, 62, 592 – 4.

Sieferle, R. R. (1982) "Der unterirdische Wald" Beck Verlag, München.