AIPA 1/2012

Arbeitspapiere zur Internationalen Politik
und Außenpolitik

Julian König

Peak Oil und die Verwundbarkeit moderner Gesellschaften

Verursacht das Ende des billigen Öls eine Krise der Wachstumsökonomien?

Lehrstuhl für Internationale Politik
und Außenpolitik der Universität zu Köln

ISSN 1611-0072

AIPA 1/2012

Arbeitspapiere zur Internationalen Politik
und Außenpolitik

Julian König

Peak Oil und die Verwundbarkeit moderner Gesellschaften

Verursacht das Ende des billigen Öls eine Krise der Wachstumsökonomien?

ISSN 1611-0072

Lehrstuhl für Internationale Politik und Außenpolitik
der Universität zu Köln, Gottfried-Keller-Str. 6, 50931 Köln

Redaktionelle Bearbeitung: Nina Winchenbach

Köln 2012

Abstract

Welche Implikationen hat das mögliche Erreichen des Höhepunkts der Erdölförderung – kurz: „Peak Oil“ – für moderne Gesellschaften? Zur Beantwortung dieser Leitfrage wird in der vorliegenden Studie als Analyserahmen ein Verwundbarkeitskonzept verwendet. Zur Überprüfung der zugrunde liegenden Verwundbarkeitshypothese stehen zwei Aspekte im Mittelpunkt der Analyse: (1) die Ausgestaltung der modernen Gesellschaftssysteme hinsichtlich ihrer Komplexität, ihrer energetischen Anforderungen und ihrer Angewiesenheit auf Wirtschaftswachstum und (2) die physikalischen und ökonomischen Grenzen der Erdölverfügbarkeit. Die qualitative Untersuchung gelangt im Ergebnis zu einer Bestätigung der Verwundbarkeitshypothese: Moderne Gesellschaften sind strukturell abhängig von stetigem Wirtschaftswachstum. Hohe und volatile Ölpreise infolge von „Peak Oil“ wirken sich negativ auf eben dieses Wachstum aus. Hieraus ergibt sich eine Situation der Verwundbarkeit die sozio-ökonomische und technische Anpassungsbemühungen erfordert.

Julian König

Dipl. Pol., ist Wissenschaftlicher Assistent am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Er studierte Sozialwissenschaften (Politikwissenschaft, Volkswirtschaftslehre und Enerergiewirtschaftslehre) in Köln und Buenos Aires. Seine Forschungsschwerpunkte sind Peak Oil, Grenzen des Wachstums, erneuerbare Energien in Entwicklungsländern sowie Entwicklungen in Südamerika.

Kontakt: julian.koenig@wupperinst.org

Inhalt

1 Einleitung 1

2 Das Konzept der Verwundbarkeit 3

2.1 Theoretische Einordnung und Grundannahmen 5

2.2 Sichtweisen auf Verwundbarkeit: Die erklärende Variable 7

2.3 Konkretes Verwundbarkeitskonzept 11

3 Energieanforderungen moderner Gesellschaften 14

3.1 Gesellschaftliche Entwicklung und Energie 15

3.2 Der Stoffwechsel komplexer Systeme 20

3.2.1 Energieformen 22

3.2.2 Energieflussniveau 24

3.2.3 Energetischer Überschuss (EROI) 27

3.3 Moderne Gesellschaften als Wachstumsökonomien 30

3.3.1 Ursachen von Wirtschaftswachstum 30

3.3.2 Wirtschaftswachstum und Energie 36

3.4 Erdölanforderungen moderner Gesellschaften 38

3.4.1 Industrielle Landwirtschaft 39

3.4.2 Bergbau 43

3.4.3 Transport 46

4 Biophysikalische Bedingungen: Die Grenzen des Erdöls 47

4.1 Historie des Erdöls 47

4.2 Definition von Öl 50

4.3 Peak Oil 51

4.4 Abnehmende Erdölqualität 56

4.5 Ausblick: Das Ende des billigen Öls....62

5 Verwundbarkeit moderner Gesellschaften....67

5.1 Betroffenheit: Abhängigkeit von Erdölimporten....67

5.2 Sensibilität und Auswirkungen: Reaktionen auf hohe Ölpreise....69

5.3 Anpassung: Transition in die Post-Öl-Ära....74

5.3.1 Technische Anpassung: Ölunabhängige Infrastruktur....75

5.3.2 Gesellschaftliche Anpassung: Transition-Town-Bewegung....79

6 Fazit....85

7 Literatur....89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verwundbarkeitsanalyserahmen....12

Abbildung 2: Gliederung anhand des Verwundbarkeitskonzepts....13

Abbildung 3: Stoffwechselschemata von Organismus und Gesellschaft....20

Abbildung 4: Pro-Kopf-Primärenergieumsatz ausgewählter Industriestaaten im Jahr 2000 (GJ/Kopf/Jahr)....25

Abbildung 5: Energie für Energie und für den Rest der Gesellschaft....29

Abbildung 6: Wachstumsursachen in modernen Gesellschaften....31

Abbildung 7: Globaler Primärenergieumsatz und Wirtschaftswachstum (BIP)..37

Abbildung 8: Ein extremes Beispiel der industriellen Landwirtschaft....40

Abbildung 9: Welternährungsindex (FAO) vs. Ölpreis (Brent)....41

Abbildung 10: Entwicklung des Kupferanteils nach Ländern und weltweit....44

Abbildung 11: Minen-LKW in einer Kupfermine in Chile....45

Abbildung 12: Theoretisches Förderprofil eines einzelnen Rohölfeldes....52

Abbildung 13: Hubbertkurve, Erdölförderung und (zeitlich verschobene) Entdeckungen in den USA (lower 48)....52

Abbildung 14: Entdeckungen, theoretische und real Förderung (Crude Oil)....53

Abbildung 15: Darstellung unterschiedlicher Weltrohölprognosen....54

Abbildung 16: Verhältnis von US-Energiegewinnung und EROI nach Energiequelle....62
Abbildung 17: Entwicklung des Erdölverbrauchs pro Kopf in ausgewählten Ländern....65
Abbildung 18: Schätzungen der Ölförderkosten nach Lagerstätte....66
Abbildung 19: Täglicher Erdölumsatz und Importabhängigkeit....68
Abbildung 20: Globale Rezessionen und Ölpreisentwicklung (US-$ von 2008)....70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lösungsstrategien für Peak Oil und Klimawandel....80

Abkürzungsverzeichnis

ASPO	Association for the Study of Peak Oil and Gas
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BSE	Bovine spongiforme Enzephalopathie
BtL	Biomass to Liquids (Biomasseverflüssigung)
CCS	Carbon Dioxide Capture and Storage (CO_2-Abscheidung und Speicherung)
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CtL	Coal to Liquids (Kohleverflüssigung)
EIA	U.S. Energy Information Administration
EOR	enhances oil recovery (verbesserte Ölgewinnung)
EROI	energy return on investment
GAU	größter anzunehmender Unfall
GJ	Gigajoule
GtL	Gas to Liquids (Erdgasverflüssigung)

IEA	International Energy Agency
IEEP	Institute for European Environmental Policy
IIER	Institute for Integrated Economic Research
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung der Fraunhofer-Gesellschaft
mb/d	million barrels per day
N	Nitrogen (Stickstoff)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
PIIGS	Portugal, Italien, Irland, Griechendland und Spanien
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
TT	Transition Town
UNEP	United Nations Environment Programme
URR	ultimately recoverable resource
WGBU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WTI	Western Texas Intermediate

Peak Oil und die Verwundbarkeit moderner Gesellschaften

Verursacht das Ende des billigen Öls eine Krise der Wachstumsökonomien?

1 Einleitung

„The world is not running out of oil – at least not yet. What our society does face, and soon, is the end of the abundant and cheap oil on which all industrial nations depend“ (Campbell und Laherrère 1998: 83). 1998, als diese Aussage vom Ende des *billigen* Öls getroffen wurde, lag der Ölpreis bei etwa 15 US-$ pro Barrel. Zehn Jahre später erreichte er 147 US-$. Das Argument hinter dieser Prognose war das baldige Erreichen des Erdölfördermaximums (Peak Oil). Hinter dem Begriff Peak Oil verbirgt sich ein Konzept, gemäß dem die Förderung von Erdöl zunächst steigt, dann ein Maximum (Peak) erreicht und hiernach abfällt (Bardi 2009: 323). Mit dem Peak, so die These der Vertreter des Peak-Oil-Konzepts, findet ein Paradigmenwechsel statt: Vorher war Erdöl leicht zu fördern, billig und in steigenden Mengen verfügbar, nachher ist es schwerer zu fördern, teurer und in abnehmenden Mengen verfügbar. Dieses Konzept war Gegenstand heftiger Debatten zwischen „Optimisten“ bzw. „Ökonomen“ und „Pessimisten“ bzw. „Geologen“ (Kerschner und Hubacek 2009: 1662–1663): Die Debatte kreiste um die Fragen, *ob* und falls ja, *wann* Peak Oil auftreten wird sowie ob Peak Oil eine Zäsur für die wirtschaftlichen und sozialen Systeme der modernen Gesellschaften bedeutet. Geologen, wie Campbell, vertreten die Auffassung, dass Peak Oil einen Strukturbruch darstellt (Campbell et al. 2007: 201–228); die Ökonomen gehen eher davon aus, der Marktmechanismus werde au-

tomatisch für eine Anpassung sorgen, da bei steigenden Ölpreisen Alternativen zu flüssigem Rohöl[1] rentabel würden (kurz-bis mittelfristig insbesondere nichtkonventionelles Öl) und dieses ersetzten (Simon 1981; Odell 2010).

Heute ist die Akzeptanz von Peak Oil in Fachkreisen weit verbreitet, sofern sich die Diskussion auf Rohöl konzentriert. Auch vormalige Kritiker des Peak-Oil-Konzepts – wie die International Energy Agency (IEA 2006) – akzeptieren Peak Oil (IEA 2010: 125–126) und warnen vor den ökonomischen Verwerfungen in Folge dieses Phänomens (IEA-Vorsitzender Fatih Birol in Monitor 2010; Frontal21 2010). Dennoch sind optimistische Meinungen, gemäß denen keine Ölproblematiken bevorstünden (Deutsche Bundesregierung 2010) oder es Lösungen gebe, die verfolgt würden, wenn der Preis hoch genug stiege (Odell 2010) weit verbreitet. Im öffentlichen Diskurs ist Peak Oil (noch) nicht angekommen, auch wenn die Erwähnung des Begriffs in den Medien Jahr für Jahr rasant steigt (Howard 2006; Anderson 2008).

Während die Forschungsbemühungen zu Peak Oil schon weit fortgeschritten sind und bereits (durchaus wichtige) Details wie die Höhe der Förderrückgangsrate nach dem Peak diskutiert werden (Höök et al. 2009b), kommt der Frage nach den Auswirkungen von Peak Oil auf die Funktionstüchtigkeit moderner Gesellschaften nur eine geringe analytische Aufmerksamkeit zu. Hieraus ergibt sich die Relevanz dieser Arbeit. Sie überprüft die Hypothese der Verwundbarkeit moderner Gesellschaften durch Peak Oil. Bei dem verwendeten Verwundbarkeitsansatz steht nicht nur Peak Oil, sondern insbesondere die Funktionsweise und Anpassungsfähigkeit der heutigen Gesellschaften im Fokus der Analyse. Denn ein Umweltwandel führt nur dann zu einer Situation der Verwundbarkeit, wenn die gesellschaftlichen Strukturen eine mangelnde Anpassungsfähigkeit aufweisen (Bohle 2001).

Zur Überprüfung der Hypothese wird als loses Werkzeug ein, an den vorliegenden Fall angepasstes Verwundbarkeitskonzept entwickelt (Kap. 2). In der folgenden Analyse werden zunächst die energetischen Anforderungen der modernen Ge-

1 Die sehr wichtige Unterscheidung zwischen Rohöl *(Crude Oil)* und nichtkonventionellem Öl wird in Abschnitt 4.2 genauer dargelegt. Hier sei als erste Differenzierung schon einmal gesagt, dass Rohöl flüssig und leicht zu fördern ist, während nichtkonventionelles Öl zähflüssig oder fest ist und bergmännisch abgebaut wird.

sellschaftssysteme mit besonderer Berücksichtigung des Erdöls herausgearbeitet (Kap. 3). Hiernach wird in Kap. 4 untersucht, ob die Erdölgewinnung auch zukünftig noch mit den gesellschaftlichen Anforderungen Schritt halten kann: Das Konzept Peak Oil wird mit seinen verschiedenen Facetten dargestellt, allerdings ohne dabei die Detaildiskussionen abzubilden und auch ohne die schon an anderer Stelle widerlegten optimistischen Argumente ausgiebig zu diskutieren (zu Letzterem vgl. Georgescu-Roegen 1975; Daly 1985; Jakobsson et al. 2009; Tverberg 2010; Aleklett et al. 2010).

Kap. 5 stellt die Synthese von Kap. 3 und 4 dar. Hier werden die möglichen Reaktionen der modernen Gesellschaften aufgezeigt, sollte das Angebot von billigem Öl den Bedarf nicht decken können. Welche Staaten wären von Peak Oil betroffen (5.1), wie sensibel würden diese Gesellschaften auf Preissteigerungen und einen geringeren Erdölverbrauch reagieren (5.2) und welche langfristigen Anpassungsoptionen bestehen (5.3)? Ein Kernanliegen dieser Arbeit besteht darin, die Diskussion über die Folgen von Peak Oil nicht nur auf die technische Anpassung (andere Energieinfrastruktur) zu beschränken, sondern auch die gesellschaftliche Anpassung in Betracht zu ziehen. Letzteres erfolgt am Beispiel der Transition-Town-Bewegung, deren Mitglieder Peak Oil als Chance für eine gesellschaftliche Weiterentwicklung sehen.

Peak Oil findet in einem Kontext vieler anderer Herausforderungen wie Finanz- und Schuldenkrise, Klimawandel, Umweltzerstörungen, demografische Entwicklung uvm. statt. Diese Faktoren finden in dieser Arbeit zwar keine analytische Berücksichtigung als intervenierende Variablen, sie bilden aber dennoch den Rahmen, innerhalb dessen argumentiert wird.

2 Das Konzept der Verwundbarkeit

Der Begriff *Verwundbarkeit* wird sehr vielseitig definiert (vgl. Birkmann 2006: 477–484; Kasperson et al. 2010: 238–240). Eine einfache Definition wäre: die Anfälligkeit

für Beeinträchtigungen oder Schädigungen (Blaikie et al. 1994: 8). Im Kontext von Gefährdungen aus der (natürlichen und sozialen) Umwelt lässt sich Verwundbarkeit präzisieren als „the state of susceptibility to harm from exposure to stresses associated with environmental and social change and from the absence of capacity to adapt“ (Adger 2006: 267). Die Verwundbarkeit hat demnach eine externe und eine interne Seite (vgl. Bohle 2001; Chambers 2006): Sie hängt von einem (externen) Stressor und von der (internen) Anpassungsfähigkeit der betroffenen Einheit ab. Denn Umweltveränderungen werden nur dann als Stress empfunden, wenn keine ausreichende Anpassungsfähigkeit vorliegt. Etwas anschaulicher ausgedrückt: Organismen oder Gesellschaften geraten unter Druck, wenn sich die Bedingungen ihres Lebensraums schneller wandeln, als sie fähig sind, sich den Veränderungen anzupassen.

Wie Blaikie et al. (1994) in *At Risk* ausführen, können Ansätze der Analyse von Verwundbarkeit auf eine Vielzahl von Fällen angewendet werden, die zu sozialen, politischen und ökonomischen Krisen führen können: auf technologische Risiken (z. B. Nuklearenergie), tektonische Risiken (Vulkanausbrüche, Erdbeben, Tsunamis), Risiken durch Naturereignisse (Überschwemmungen, Stürme), Epidemien (AIDS, Malaria) sowie langsame biophysikalische Veränderungen (Süßwasserverknappung, Entwaldung, Bodenerosion, Ressourcenerschöpfung) (für Fallbeispiele vgl. Collins und Bolin 2007; Blaikie 1985). Mit dieser Heterogenität der Anwendungsmöglichkeiten des Ansatzes geht zwangsweise eine Uneinheitlichkeit einher. Das von Champers (2006) und Bohle (2001) verfolgte Konzept der zwei Seiten lässt sich daher auch nur sehr bedingt verallgemeinern. Denn in Fällen, in denen den Akteuren eine Mitverantwortung für das Auftreten des Stressors zukommt, verschwimmt die gezogene Trennung zwischen „extern“ und „intern“. Es kommt somit auf das Forschungsdesign an, ob ein Stressor als endogene oder exogene Variable modelliert wird. Wenn ausschließlich die Anpassung bspw. einer Inselbevölkerung an die Folgen des Klimawandels analysiert wird, kann der Stressor als gegeben angenommen werden. Bei Bodenerosion, technischen Risiken, Ressourcen- oder Süß-

wassererschöpfung erweist es sich jedoch meist als angemessen, den Stressor als endogen zu betrachten.

In der vorliegenden Arbeit wird die Verwundbarkeit moderner Gesellschaften durch das Phänomen Peak Oil analysiert. Peak Oil stellt den Stressor dar, der als endogene Variable betrachtet wird, da die Erdölerschöpfung natürlich erst durch die Erdölförderung der modernen Gesellschaften entsteht.

Im Folgenden sollen zunächst Ansätze der Verwundbarkeitsanalyse in den größeren wissenschaftlichen Kontext eingeordnet werden (Abschnitt 2.1), um die Ziele, Interessen und Heterogenität dieser Forschungsrichtung herauszustellen. Hiernach (2.2) werden die drei zentralen theoretischen Sichtweisen auf Verwundbarkeit dargestellt, die die Grundlage bilden, um in Abschnitt 2.3 einen auf den vorliegenden Fall zugeschnittenen Verwundbarkeitsansatz auszuarbeiten.

2.1 Theoretische Einordnung und Grundannahmen

Verwundbarkeitskonzepte lassen sich in den umfassenden Rahmen der Nachhaltigkeitsforschung *(sustainability science)* einordnen (Turner II 2010: 570).[2] Die zentrale Annahme dieser Disziplin ist die Abhängigkeit des Menschen von seiner Umwelt: „we humans depend totally on the environment provided by planet Earth for the food we eat, the water we drink, and the air we breathe“ (Munn 2002: xi). Vor diesem Hintergrund wird der „globale Umweltwandel“[3] und dessen Auswirkungen auf die Gesellschaft und die Ökosysteme untersucht. Es wird erforscht, welche Folgen die anthropogenen Eingriffe in die biophysikalischen Systeme für die Lebensbedingungen auf der Erde haben. Dietz et al. (2010: 97) gehen davon aus, dass kurzfristig zwar eine Entkopplung zwischen menschlicher Wohlfahrt und ökologischer Gesundheit möglich, langfristig das menschliche Wohlergehen aber stets an das der

2 Die hier gemeinte Forschungsrichtung widmet sich hauptsächlich der *ökologischen* Nachhaltigkeit. Für weitere Sphären der Nachhaltigkeit siehe König (2011).

3 Unter *globalem Umweltwandel* wird eine Veränderung der natürlichen Umwelt verstanden, die aufgrund mehrerer Aspekte mit dem Attribut global versehen werden kann: (1) Wandel von *globalen* Systemen, wie der Ozonschicht oder der Atmosphäre; (2) Wandel auf lokaler oder regionaler Ebene wie Biodiversitätsverlust oder Bodenerosion, der *global* vorkommt und globale Auswirkungen hat; (3) die Kräfte des Umweltwandels durch *globale* Regime wie der Ausbreitung des kapitalistischen Wirtschaftssystems (Dietz et al. 2010: 83).

Ökosysteme geknüpft sei. Dietz et al. illustrieren diesen Sachverhalt mit einer Analogie zu Sparbuch-Abhebungen:

> „If one only withdraws interest on the account one can spend the entire withdrawal and still preserve the capital balance. But if withdrawals are greater than the earned interest, then one can maintain this balance only for a limited time; continuous overwithdrawals inevitably lead to exhaustion of the account. In the same sense, if one exploits renewable resources faster than they are replenished, or continues to extract nonrenewable resources, eventually limits will be reached and scarcity will follow“ (Dietz et al. 2010: 97-98).

Der unaufhörliche Ressourcenabbau führt aus Sicht der Nachhaltigkeitsforschung (vgl. Rosa et al. 2010) somit in einen ökologischen Bankrott[4] – um in der Analogie zu verharren –, der mittel- bis langfristig auch auf die Menschen und die sozio-ökonomischen Systeme zurückwirkt. Aufgrund dessen wird in der Nachhaltigkeitsforschung und so auch in dieser Arbeit angenommen, dass Ressourcen wie fossile Energien, Metalle oder Mineralien endlich sind. Es erscheint unnötig, eine solche Annahme explizit darzulegen, aber gerade in der Debatte um die Endlichkeit des Erdöls wird diese Annahme nicht immer geteilt. Beispielsweise argumentiert Simon in *The Ultimate Resource*,[5] es gebe keine absoluten Knappheiten (Simon 1981: 47). Ein hoher Preis führe zur Entwicklung neuer Technologien, wodurch vorher unzugängliche Lagerstätten gefördert werden könnten. Dies erhöhe *unaufhörlich* das Angebot auf dem Markt. Wenn doch einmal Knappheiten auftreten würden, so sorge das Prinzip der *unendlichen* Substituierbarkeit für deren Irrelevanz. Denn ein ausreichend hoher Preis und der durch die menschliche Kreativität ermöglichte technische Fortschritt führe *stets* zu einer Substitution der knappen Ressource (Simon 1981: 47–50). Dieser absoluten Argumentation widerspricht Daly vehement: „if the set of all resources is finite, then infinite substitutability among resources does not render the set infinite“ (Daly 1985: 447). Förderungsverlagerung und Substitution können also lediglich die Ressourcenerschöpfung verzögern, nicht jedoch aufhalten. Trotz der augenscheinlichen Defizite dieser „optimistischen“ Denkweise (vgl. Daly

4 Ewing et al. (2009: 16) gehen davon aus, dass bereits 2006 die ökologische Tragfähigkeit der Erde zu 40 % überschritten war und die Menschheit das Äquivalent von 1,4 Planeten nutzte.

5 Simons Werk kann als Antwort auf die pessimistischen Szenarien *The Population Bomb* (Ehrlich 1968) und *Die Grenzen des Wachstums* (Meadows et al. 1972) verstanden werden.

1985), lebt sie weiter fort und hat beträchtlichen Einfluss auf Wissenschaft, Politik und Wirtschaft. Vermutlich ist sie gerade deshalb so erfolgreich, da sie unbegrenztes wirtschaftliches Wachstum verspricht und damit der Wachstumsorientierung von Politik und Wirtschaft eine quasi-wissenschaftliche Fundierung bietet. Zum anderen lebt sie fort, weil die Effekte der nichtnachhaltigen Wirtschaftsweise für den Menschen *kurzfristig* nur indirekt, verspätet, subtil, diffus oder gar nicht sichtbar werden (Dietz et al. 2010: 97).

Dieser kurze Exkurs zu den optimistischen Annahmen der Ressourcenverfügbarkeit, die den Annahmen der Nachhaltigkeitsforschung diametral entgegen stehen, verdeutlicht eine wesentliche Konfliktlinie, die sich insbesondere in der Debatte um Peak Oil und die Substitution von Rohöl durch nichtkonventionelles Öl und Agrarkraftstoffe niederschlägt (siehe hierzu die Abschnitte 4.3–4.5).

Neben den Rohstoff*quellen* umfasst das Konzept der ökologischen Nachhaltigkeit auch die als *Senken* dienenden ökologischen Systeme – Orte, an denen die „Ausscheidungen" der Gesellschaft abgeladen werden (z. B. dient die Atmosphäre als Senke für CO_2 oder Methan). Da der Fokus dieser Arbeit auf der Energiequelle Erdöl liegt, wird die Senkenproblematik nicht systematisch berücksichtigt. Dennoch ist es essenziell, die Gesamtheit der Ökosysteme im Bewusstsein zu behalten, da insbesondere bei der Frage nach Alternativen für Erdöl ökologische Fragen in den Vordergrund rücken.

2.2 Sichtweisen auf Verwundbarkeit: Die erklärende Variable

Die Vielfalt der Verwundbarkeitsansätze hinsichtlich der zu analysierenden Stressoren wurde schon erwähnt. Darüber hinaus speist sich die Vielfalt aus divergierenden Annahmen, die mit einer Festlegung auf die erklärende Variable für Verwundbarkeit einhergehen. Verwundbarkeit kann u. a. als deterministische Folge biophysikalischer Phänomene, als Ergebnis struktureller Arrangements oder auch als Produkt sozial konstruierter Normen analysiert werden. Je nach Perspektive ist die unabhängige Variable die biophysikalische Umwelt, die gesellschaftliche Struktur oder der in die Kultur eingebettete menschliche Akteur.

Die biophysikalische Sichtweise: Von diesem Standpunkt aus wird Verwundbarkeit *ausschließlich* als direkte oder indirekte Folge eines Wandels der biophysikalischen Bedingungen gesehen (Liverman 1990: 29). Als unabhängige Variable kommen somit Phänomene wie Dürren, Meeresspiegelanstieg, Ozeanerwärmung, Überschwemmungen, Tornados oder Wüstenbildung in Betracht, von denen auf die Verwundbarkeit der Bewohner einer betroffenen Region geschlossen wird. Der Stressor liegt also außerhalb der Analyse und wird als gegeben angenommen (Kasperson et al. 2010: 260–261). Kurz gefasst hat die Kritik an diesem sehr häufig verwendeten Verwundbarkeitsansatz (McLaughlin und Dietz 2008: 100) zwei Ausprägungen: die Vernachlässigung der gesellschaftlichen Struktur sowie die des menschlichen Akteurs als unabhängig wirkende Faktoren für einen Zustand der Verwundbarkeit.

Die strukturelle Sichtweise: Im Verständnis des strukturellen Ansatzes, der stark durch Amartya Sen (Sen 1981) und marxistische Ansätze geprägt wurde, wird Verwundbarkeit als ein Zustand angesehen, der durch die politischen, sozialen und ökonomischen Strukturen der Gesellschaft geschaffen wird. Nicht alle Bewohner der von einem Stressor betroffenen Region sind in gleichem Maße verwundbar; vielmehr produzieren politische und wirtschaftliche Systeme innerhalb und zwischen den Gesellschaften Ungleichheit (Blaikie et al. 1994: 29–30). Diese führt zu einem erhöhten Verwundbarkeitsgrad der Mitglieder marginalisierter Gruppen und bestimmter sozialer Klassen, denen der Zugang zu politischen, ökonomischen oder sozialen Ressourcen versperrt ist (Liverman 2001: 206–207). Marginalisierte Gruppen sind demnach gegenüber Stressoren aus der Umwelt besonders verletzlich. Diesem Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass „no individual or group would voluntarily choose a more hazardous or risk-prone setting, and do so only when other options are unavailable“ (Kasperson et al. 2010: 250).

Neben der Analyse ungleicher Verwundbarkeitsausmaße zwischen den Menschen befassen sich strukturelle Ansätze auch mit der Genese des Stressors: Viele Stressoren entstehen oder verstärken sich durch menschliche Eingriffe in die Natur. Die Degeneration der Natur wird somit als Ergebnis struktureller Arrangements

angenommen. Da der menschliche Akteur im Kontext des globalisierten Wirtschaftssystems operieren müsse (Weinberg et al. 2000: 30), resultiere die soziale Verwundbarkeit von bestimmten Gruppen/Akteuren direkt aus den sozioökonomischen Strukturen. Übersetzt in die Sprache der Verwundbarkeitsforschung meint dies, dass Stressoren (Naturdegradationen) und Verwundbarkeiten (soziale und ökonomische Armut) endogen produziert werden.

Sowohl der strukturelle als auch der biophysikalische Verwundbarkeitsansatz negieren somit die Gestaltungsmöglichkeiten des menschlichen Akteurs. Es wird ohne lokale Differenzierung angenommen, alle Bewohner einer „bedrohten" Region oder alle Mitglieder einer marginalisierten Klasse seien verwundbar (vgl. Forsyth 2008: 759). Jedoch verhält sich jede soziale Gruppe, jeder Akteur anders und reagiert individuell auf konkrete Risiken. Akteure sind keine passiven Opfer; sie tragen durch ihre Handlungen und Unterlassungen mit zur sozialen Verwundbarkeit (von sich selbst oder von anderen) bei.[6]

Die konstruktivistische Sichtweise: Konstruktivistisch beeinflusste Ansätze – wie die Politische Ökologie – betonen die Bedeutung des menschlichen Akteurs *(human agency)* für die Definition und Erklärung von Verwundbarkeit. Damit lenken sie die Aufmerksamkeit fort vom orthodoxen positivistischen Paradigma, gemäß welchem in der Wissenschaft nach dem Richtig oder Falsch einer Aussage gesucht wird. Ziel der konstruktivistischen oder post-strukturalistischen Wissenschaft ist vielmehr die Analyse dessen, wie Wahrnehmungen und Interpretation unter Einfluss von psychologischen und kulturellen Faktoren zustande kommen und welche soziopolitischen Prozesse dafür verantwortlich sind, dass sich bestimmte Interpretationen und Aussagen (sogenannte *frames*) im Diskurs etablieren und damit als „Wahrheit" oder „Realität" anerkannt werden (Forsyth 2008: 758; Rosa 1998: 19).[7]

Ob ein Ereignis in der Öffentlichkeit als „Bedrohung" oder „Chance" wahrgenommen wird, hängt entscheidend vom Diskurs und damit von den Massenme-

6 Wie Pelling (2001) anmerkt, bereitet die Konzeptionalisierung der Akteure als passive Opfer gegenüber exogenen Risiken zudem technischen Lösungsansätzen den Weg, die sogar die Verwundbarkeit erhöhen können (vgl. McLaughlin und Dietz 2008: 100).

7 Zum *Frame*-Konzept vgl. Goffman (1986), Entman (1993) und Snow et al. (1986).

dien ab: „nichts ist wirksam und wirklich, was nicht in den Massenmedien konstruiert wird“ (Merten 1999: 212). Im dominanten Diskurs, also den Deutungen, die durch die Massenmedien verbreitet werden, spiegeln sich wiederum die aktuellen und historischen Machtverhältnisse wider (Forsyth 2008: 760).[8] „Fakten“ und „Wissen“ über die biophysikalische Umwelt sind nach Forsyth (2003: 1) daher Teil einer politischen Debatte und nicht die Basis, auf welcher Umweltdebatten geführt werden. Mit anderen Worten: Es gibt kein objektives Wissen, sondern lediglich interessengeleitete Argumente, die daher als politisch angesehen werden müssen.[9]

So förderlich die Errungenschaften des Konstruktivismus hinsichtlich dieser skeptischen Epistemologie auch sein mögen – radikale Strömungen des Konstruktivismus waren oftmals der Analyse der Natur-Mensch-Beziehungen und damit der Verwundbarkeitsforschung nicht sonderlich zuträglich (Forsyth 2003). Die radikale konstruktivistische Theorie vertritt die Auffassung, die „Realität“ werde erst durch Wahrnehmung und Denken erzeugt: „Die Umwelt, die wir wahrnehmen, ist unsere Erfindung“ (Foerster 1993: 26). Die Wahrnehmung von Verwundbarkeit oder Risiken ist in diesem Sinne ein vollständig sozialer Prozess: Risiken existieren nicht objektiv, sie sind kulturelle und keine physikalischen Phänomene (Rosa 1998: 21). Dieser radikalen konstruktivistischen Schule gelang es allerdings nicht, sauber zwischen Epistemologie und Ontologie zu unterscheiden: „there is no meaningful way of separating the world from our interpretation of it“ (Rosa 1998: 18). Da die „real world out there“, also die biophysikalische Realität, nicht als unabhängiger kausaler Faktor anerkannt wird, begünstigten diese Ansätze, ökologische Krisen als Mythen („Hirngespinste“) darzustellen (Forsyth 2003: 13). Da tatsächlich auftretende materielle Wirkungen von biophysikalischen Phänomenen durch den radikalen Konstruk-

8 Nicht nur Politiker und Medien, auch die Wissenschaft ist gemäß dem konstruktivistischen Blickwinkel nicht objektiv. Wissenschaftliche Argumente sind ebenso wertbehaftet und werden von Akteuren strategisch genutzt, um bestimmte Projekte zu legitimieren und damit Ressourcen für diese zu akquirieren (Dietz et al. 1989).

9 Ein gutes Beispiel für die Bedeutung des Diskurses bei der Bewertung von „Fakten“ ist die Atomkraft in Deutschland: In den 1960er und 70er Jahren wurde die Nuklearenergie von allen im Deutschen Bundestag vertretenen Parteien begrüßt und als Fortschritt und Chance gepriesen. 2011 betrachten alle im Bundestag vertretenen Parteien die Atomkraft als Bedrohung und wollen aus dieser Technologie aussteigen.

tivismus nicht überzeugend erklärt werden konnten, verlor diese Sichtweise in der Verwundbarkeitsforschung an Bedeutung (McLaughlin und Dietz 2008: 103).

Die vorliegende Analyse erfordert, die Stärken der drei Perspektiven in einem integralen Ansatz zu vereinen (vgl. Dietz et al. 2010; McLaughlin und Dietz 2008; Oliver-Smith 2004). Es gilt, die wechselseitigen Beziehungen zwischen gesellschaftlichen Strukturen, biophysikalischen Bedingungen sowie Akteur und Kultur zu berücksichtigen. Damit wird die aus den Sozialwissenschaften bekannte Struktur-Akteur-Debatte (Giddens 1984) um eine weitere Komponente erweitert: die biophysikalischen Bedingungen. Dieser Faktor kann entweder als Bestandteil der Struktur aufgefasst (sozio-biophysikalische Struktur) oder eigenständig neben die soziale Struktur gestellt werden (biophysikalische Bedingungen).[10]

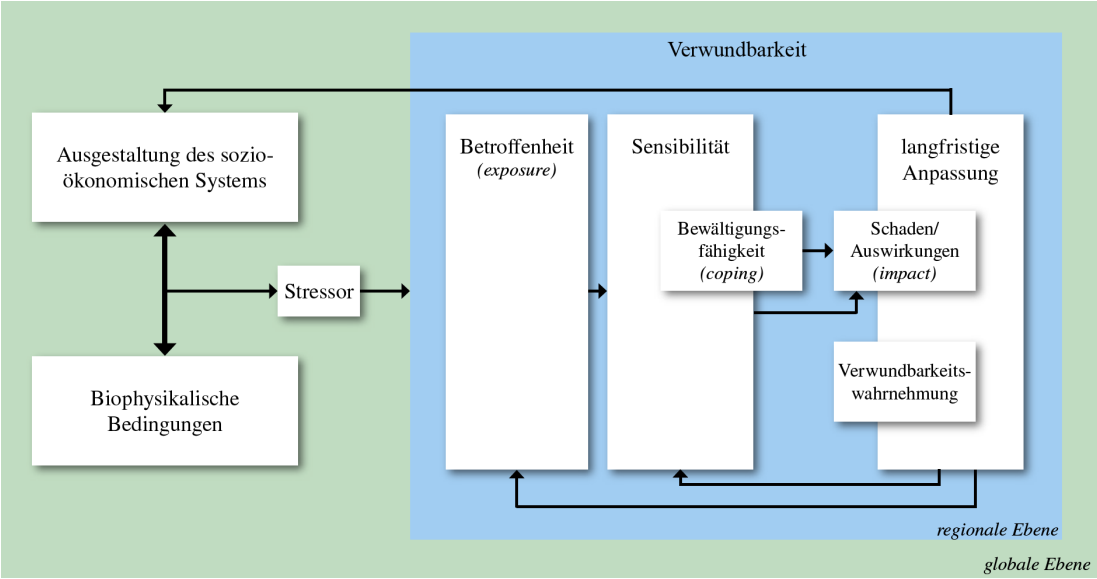
In dem in Abschnitt 2.3 erarbeiteten Verwundbarkeitskonzept wird somit eine Welt mit realen biophysikalischen und gesellschaftlichen Strukturen angenommen (ontologischer Realismus), deren Wahrnehmung und Darstellung durch eine Reihe sozialer, kultureller und psychologischer Einflüsse verzerrt ist (epistemologischer Skeptizismus) (Forsyth 2003: 69). Ein solcher Ansatz ermöglicht, die realen sozioökonomischen und biophysikalischen Strukturen zu analysieren, während gleichzeitig anerkannt wird, dass jeder Erkenntnisprozess verzerrt ist und somit die realen Prozesse nur partiell ergründet werden können (Forsyth 2003: 15).

2.3 Konkretes Verwundbarkeitskonzept

Der Kern einer jeden Verwundbarkeitsanalyse ist der Stressor. Stressfaktoren resultieren aus einem Zusammenspiel von gesellschaftlichen Strukturen und der natürlichen Umwelt und befinden sich oft auf globaler Ebene, was die nationalen oder lokalen Einflussmöglichkeiten verringert (Kasperson et al. 2010: 272). Der Stressor Peak Oil ist ein Produkt der Wechselwirkungen zwischen dem modernen sozioöko-

10 Auch diese Betrachtungsweise von zwei oder drei miteinander interagierenden Faktoren ist eine wissenschaftliche Vereinfachung nach dem Prinzip *divide et impera.* Denn bei der Trennung eines Systems in interagierende Subsysteme (Teile) handelt es sich um ein soziales Konstrukt, wie bei jeder Bildung von Kategorien. Auch wenn ich mir dieses Konstrukts bewusst bin, erachte ich es dennoch für notwendig, die Akteur-Gesellschaft-Natur-Dynamiken separat zu behandeln, um die Prozesse in den jeweiligen „Subsystemen" analytisch einfangen zu können (vgl. Turner II 2010: 571).

Abbildung 1: Verwundbarkeitsanalyserahmen



Quelle: Eigene Darstellung nach Turner II (2003: 8076)

Anmerkung: Die Pfeile symbolisieren Wirkungsmechanismen. Die Interaktion von biophysikalischen Bedingungen und den sozioökonomischen Systemen generiert einen Stressor, der auf die Analyseeinheit wirkt. Aus dieser Stresseinwirkung entstehen Schäden, sofern die Analyseeinheit betroffen ist und sensibel auf den Stressor reagiert, ohne ausreichende Bewältigungsfähigkeiten zu haben. Langfristige Anpassungen des sozioökonomischen Systems, ausgelöst durch Schäden oder Verwundbarkeitswahrnehmungen, können die Betroffenheit und Sensibilität reduzieren, sodass der Stressor irrelevant wird.

nomischen System (Erdölnachfrage) und den biophysikalischen Bedingungen (begrenztes Erdölvorkommen) (vgl. Abb. 1). Das Konzept Peak Oil unterstellt einen Wendepunkt: Vor dem Peak wurde Jahr für Jahr mehr Erdöl gefördert, nach dem Peak nimmt die Förderung wieder sukzessive ab. Diese veränderten Bedingungen bilden den Stressor, der hier im Fokus steht. Ob sich ein Stressor allerdings zu einer „Gefahr“ entwickelt, hängt von drei Faktoren ab, die je nach regionalem Kontext variieren: Betroffenheit, Sensibilität und Anpassungsfähigkeit.

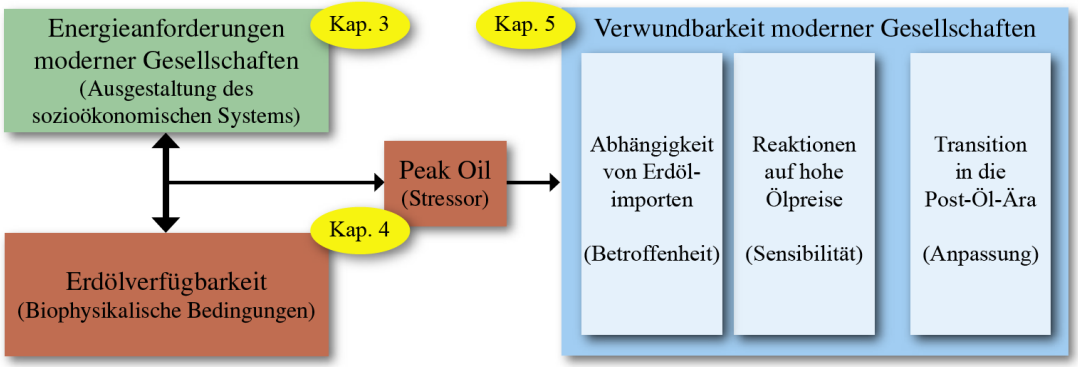
Mithilfe des Konzepts der Betroffenheit *(exposure)* wird erfasst, ob die Analyseeinheit dem Stressfaktor direkt oder indirekt ausgesetzt ist. Im Fall von Peak Oil als Stressor sind die direkt betroffenen Einheiten primär ökonomische Systeme. Regional lässt sich entsprechend die Betroffenheit anhand der Abhängigkeit von Erdöl und vom Weltölmarkt eingrenzen. Auf lokaler Ebene sind die menschlichen Akteure

indirekt betroffen, wenn sie in die ökonomischen Strukturen eingebettet und von diesen abhängig sind (Kasperson et al. 2010: 259).

Im Falle einer Betroffenheit umfasst das Konzept der Sensibilität direkte Stressreaktionen und damit zusammenhängend die Fähigkeiten der Analyseeinheit, den Stress kurzfristig zu bewältigen *(coping)* (Kasperson et al. 2010: 274).[11] Die Bewältigungsfähigkeit hängt entscheidend vom Zugang zu Alternativen ab. In monetarisierten Kontexten wird dieser Zugang wiederum von der Finanzkraft bestimmt.

Die dritte Dimension der Verwundbarkeit bildet die Anpassungsfähigkeit (Kasperson et al. 2010: 236). Während das Konzept der Sensibilität kurzfristige Reaktionen umfasst, beinhaltet das Konzept der Anpassungsfähigkeit langfristige Strategien, die vor (bei Verwundbarkeitswahrnehmungen), während und nach einem Ereignis unternommen werden. Ziel einer Anpassung ist die Reduktion der Betroffenheit und der Sensibilität gegenüber einem Stressor, sodass dieser keine Auswirkungen zeitigt. Diese Strategien intendieren somit die fundamentale Umstrukturierung der verwundbaren Strukturen in resilientere. Wichtig für die Entwicklung von Anpassungsstrategien ist die spezifische Motivation zur Handlung. Diese Motivation kann nur von menschlichen Akteuren ausgehen, die sich oder ihre Umwelt als verwundbar ansehen. Eine erfolgreiche Anpassung setzt somit ein adäquates Verständnis und Bewusstsein der Problemzusammenhänge voraus. Hier wird die Rolle konstruktivistischer Ansätze deutlich.

Abbildung 2: Gliederung anhand des Verwundbarkeitskonzepts



Quelle: Eigene Darstellung

11 Die Definitionen in der Verwundbarkeitsliteratur sind sehr vielfältig. Unter *coping* werden teilweise auch die generellen, nicht nur die kurzfristigen Bewältigungsfähigkeiten verstanden (Bohle 2001).

In Abb. 2 ist die Vorgehensweise der folgenden Analyse schematisch dargestellt, die sich aus dem hier erarbeiteten Rahmen der Verwundbarkeitsanalyse ableitet.

3 Energieanforderungen moderner Gesellschaften

Dieses Kapitel nähert sich der Frage, welche energetischen Ansprüche die komplexen modernen Gesellschaften an die biophysikalische Umwelt stellen. Dazu bedarf es zunächst der Definition der zentralen Begriffe *Energie, komplexes System* und *Moderne.*

Energie ist die Fähigkeit, ein System zu transformieren.[12] Diese potenzielle Transformation wird sowohl durch Arbeit – die gezielte Kraftausübung, um etwas zu verändern – als auch durch Wärme – chaotische/ungezielte Veränderung der Mikrostruktur eines Systems – bewirkt (Kostic 2004: 527). Bezogen auf gesellschaftliche Prozesse kann Energie als der universelle und essenzielle Faktor angesehen werden, der es Menschen ermöglicht, Ressourcen aus der natürlichen Umwelt in für sie nützliche Güter und Dienstleistungen umzuwandeln (Gever et al. 1986: 75). Der Begriff *essenziell* soll hier ausdrücken, dass Energie nicht substituierbar und somit für das Leben und den Wirtschaftsprozess unersetzlich ist.

Ein *komplexes System* zeichnet sich erstens durch eine große Anzahl und große Diversität seiner Teile aus und zweitens durch die Organisation dieser Teile zu einem funktionierenden Ganzen. Die Steigerung dieser Dimensionen (größere Anzahl und Ausdifferenzierung der Teile sowie ein höherer Organisationsgrad) erhöht die Komplexität des Systems (Tainter 1990: 23). Im gesellschaftlichen Kontext ergibt sich Komplexität aus einem hohen Spezialisierungsgrad, also vielen verschiedenen beruflichen und sozialen Rollen, und einer starken Integration der Individuen mittels direkter und indirekter Verhaltenskontrollen (bspw. soziale Normen, Ge-

12 An dieser Stelle unterscheide ich noch nicht zwischen Exergie und Energie. Für diese Differenzierung vgl. Abschnitt 3.2.

setze oder strukturelle ökonomische und politische Arrangements), damit die Gesellschaft als Ganzes funktioniert.

Der Begriff *Moderne* hat vielerlei Ausprägungen (vgl. Weiß 1998). Im vorliegenden Kontext bezeichnet *moderne Gesellschaft* die heutigen Gesellschaftsformen, die durch eine enorme Komplexität im obigen Sinne zu charakterisieren sind. Da auch das Römische Reich und andere vorindustrielle Zivilisationen komplexe Gesellschaften waren, soll das Attribut *modern* den Fokus auf die heutigen komplexen Gesellschaften lenken.

Wie die drei Konzepte zusammenhängen, ist Gegenstand dieses Kapitels. Zunächst wird in Abschnitt 3.1 untersucht, wie sich aus historischer Perspektive (komplexe) Gesellschaften entwickelten und welche Rolle dabei der Energie zukam.

3.1 Gesellschaftliche Entwicklung und Energie

Arbeit wurde in vorindustriellen Gesellschaften zum Großteil durch Muskelkraft verrichtet. Die Muskeln von Holzfällern, Steinmetzen, Minenarbeiter, Maurern, Bauern, Sklaven, Ochsen, Pferden und vielen mehr sorgten für den Abbau von Steinen, Holz und Metallen, den Bau und die Instandhaltung von Straßen, Häusern, Mühlen, Schlössern, Kirchen, Schiffen und Wagen, bestellten die Felder, fertigten Waffen und Werkzeuge und transportierten Güter und Personen. Zum Kochen, Heizen und für Fertigungsprozesse (Metallverarbeitung) wurde Holz(-Kohle) genutzt. Im Seetransport und in Getreidemühlen leisteten zudem Wind- und Wasserkraft wichtige energetische Dienste. Der wichtigste Energieträger war jedoch die Nahrung, um die Muskelkraft von Mensch und Tier zu generieren.

Durch den Prozess der Photosynthese wandeln Pflanzen die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie um, die Menschen und Tieren als Nahrung dient.[13] Jäger und Sammler gingen vor 12 000 Jahren dazu über, Pflanzen zu kultivieren und Tiere zu domestizieren, um höhere Nahrungserträge zu erwirtschaften und die Kraft und Produkte von Tieren systematisch nutzen zu können. Vor der in-

13 „All of life, including human life in all of its manifestations, runs principally on contemporary sunlight. […] This sunlight does the enormous amount of work that is necessary for all life, including human life isolated from nature in cities and buildings“ (Hall et al. 2009: 33).

dustriellen Revolution kam der Landwirtschaft eine Schlüsselrolle in der Energieproduktion zu. Die bäuerliche Bevölkerung erwirtschaftete einen Großteil der Energie (Nahrung), die für das Funktionieren einer vorindustriellen Ökonomie nötig war (Tainter 2004: 530).

Der Agrarsektor erzeugt aber nicht nur Energie, sondern hat auch einen Eigenbedarf. Die vorindustrielle Landwirtschaft war extrem arbeitsintensiv, sodass der Großteil der produzierten Nahrungsmittel gebunden war, um die Arbeitskraft und die Reproduktion der Bauern zu gewährleisten. Der generierte Überschuss war begrenzt. Aber nur dieser Nahrungsüberschuss ermöglichte die Versorgung der konsumtiven städtischen Bevölkerung, also der staatlichen Bürokratie, des Militärs, der Geistlichen, Richter, Handwerker und Händler.[14] Die begrenzte Möglichkeit energetische Überschüsse aus landwirtschaftlicher Aktivität zu generieren, bestimmte damit die Relation von städtischer zu ländlicher Bevölkerung (Giampietro 2008: 98). Im Vergleich zu heute war die Größe und Anzahl der Städte in vorindustriellen Gesellschaften aufgrund dieser energetischen Restriktionen verschwindend gering. Den höchsten Urbanisierungsgrad in vorindustrieller Zeit hatte vermutlich das Römische Reich mit 15–20 % (Homer-Dixon 2007: 53). Im Deutschland des 16. Jahrhunderts lag der Urbanisierungsgrad vermutlich zwischen 8 und 12 % (Mathis 1992: 7). Verstädterung ist stets ein Zeichen größerer Arbeitsteilung und kann daher als sehr grobes, aber nützliches Maß für die Komplexität einer Gesellschaft gelten (Homer-Dixon 2007: 53).

Gesellschaften mit einer starken Spezialisierung und einer großen städtischen Schicht sind somit komplexe Gesellschaften; deren Energiesektor muss entsprechende energetische Überschüsse erwirtschaften, um die komplexen Strukturen zu erhalten. Die gängigen vorindustriellen Maßnahmen zur Ausweitung des Energieüberschusses waren Steuererhöhung (und damit de facto eine stärkere Beanspruchung der bäuerlichen Bevölkerung), Intensivierung der Landwirtschaft (u. a. mittels komplexer Bewässerungssysteme) und Expansion (Kolonialisierung, Sklaverei).

14 Damit soll nicht gesagt werden, dass die städtische Bevölkerung „nutzlos“ wäre; sie übernimmt wichtige, u. a. organisatorische Aufgaben, aber sie trägt nicht direkt zur Energieproduktion bei.

Der Zugriff auf größere Ackerflächen und Wälder sowie die Ertragssteigerungen pro Hektar ermöglichten größere Überschüsse, die die Entwicklung komplexerer Gesellschaften wie das Römische Reich oder die Maya erlaubten (Tainter 1990). Andererseits war dieses Komplexitätsniveau auch notwendig, um territoriale Expansion staatlich zu organisieren und technische Errungenschaften wie ein Bewässerungssystem mit Aquädukten zu etablieren und zu pflegen.

Warum aber wurden komplexe Strukturen geschaffen? Nach Tainter (2006) ist die Komplexitätssteigerung („Entwicklung“) eine Strategie zur Problemlösung. Wird eine Gesellschaft mit einem Problem konfrontiert – wie etwa die Maya mit starkem Bevölkerungswachstum – so ist ein Lösungsweg die Entwicklung von komplexen Techniken oder neuen regulativen Institutionen. Im Fall der Maya wurden z. B. mittels zentraler Planung und Durchführung Bewässerungskanäle angelegt, die eine Intensivierung der Landwirtschaft erlaubten, wodurch – vorübergehend – die wachsende Bevölkerung ernährt werden konnte (Tainter 1990: 152–177). Die Implementierung von Techniken, Regulierungen oder gesteigertem Informationsaustausch bedeuten Komplexitätssteigerungen der Gesellschaft. Diese als Lösungsstrategie einzusetzen, bringt oft die gewünschten Ergebnisse hervor, da sie schnell etabliert werden kann und es nicht notwendig ist, vom eingeschlagenen Entwicklungspfad (Pfadabhängigkeit) abzuweichen (Tainter 2004: 532). Die Schwierigkeit liegt darin, dass Komplexität kostet – sie kostet Energie.[15] Je höher das Komplexitätsniveau einer Gesellschaft, desto mehr Energie wird benötigt, um das System aufrecht zu erhalten (Giampietro und Mayumi 2004: 627).

Historisch betrachtet wurden die menschlichen Gesellschaften in den letzten 12 000 Jahren im Durchschnitt größer und komplexer. Trotz dieses generellen Trends waren Hochkulturen[16] selten und von begrenzter Lebensdauer. Sie kollabierten, wenn die Energieüberschüsse nicht mehr ausreichten, um die komplexer wer-

15 Die Kosten können auch in Geld, Arbeit oder Zeit ausgedrückt werden – Größen, die Transformationen von Energie darstellen (Tainter 2004: 532).

16 Die Begriffe *Hochkultur* und *Zivilisation* werden hier nicht im Sinne einer erstrebenswerten Gesellschaftsform, sondern als wertneutraler Begriff für besonders komplexe Gesellschaften verwendet.

denden Strukturen zu finanzieren. Ein solcher Kollaps[17] führte zu einem geringeren gesellschaftlichen Komplexitätsniveau, das durch das verfügbare Energieangebot wieder getragen werden konnte. Die Realisierung simplerer Strukturen kann auch eine rationale Strategie sein, um das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Komplexität für die Mitglieder der Gesellschaft zu verbessern (Tainter 1990: 121).

In vorindustriellen Gesellschaften mussten die Energieüberschüsse durch harte körperliche Arbeit erwirtschaftet werden. Die Nutzung der fossilen Energien mit der industriellen Revolution war somit ein Quantensprung. Kohle, Erdöl und Erdgas bildeten sich über Jahrmillionen aus Pflanzen, die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie umwandelten (Pimentel 2008: v). Der Abbau dieses gigantischen Energiestocks ermöglichte Energieüberschüsse, die jene der vorindustriellen Gesellschaften um ein Vielfaches übertrafen.

Die industrielle Revolution begann in England im 18. Jahrhundert. In den zwei vorherigen Jahrhunderten wuchs die dortige Bevölkerung rapide an und das Land, das den Nahrungs- und Holzbedarf der wachsenden Bevölkerung decken musste, wurde knapp (Wilkinson 1973: 112–116). Da Nahrung gegenüber Holz Priorität genoss, erfolgte eine Landnutzungsänderung: Wald wurde in Ackerland umgewidmet. Infolgedessen entwickelte sich eine Holzknappheit, die auch durch zunehmende Importe nicht bewältigt werden konnte. Als Brennmaterial für Haushalte und die entstehenden Manufakturen wurde daher mehr und mehr auf Kohle zurückgegriffen, die jedoch zunächst viele Nachteile barg: Kohle war teuer zu fördern, verursachte bei der Verbrennung starke Luftverschmutzung und die Kohlevorkommen waren in Relation zu Wäldern geografisch stark konzentriert, was hohe Transportkosten verursachte (Wilkinson 1973: 117). Trotz dieser Nachteile vollzog sich aufgrund des akuten Holzmangels schon im 17. Jahrhundert in vielen Wirtschaftssektoren ein Wechsel von Holz zu Kohle. Durch die stetige Ausweitung der Kohleförderung waren die leicht zugänglichen Kohlevorkommen bald erschöpft, sodass immer tiefere Stollen angelegt werden mussten. Die Schächte, die sich unterhalb des

17 Auch der Begriff *Kollaps* wird wertneutral definiert als ein Prozess der Simplifizierung innerhalb kurzer Zeit (Tainter 1990).

Grundwasserspiegels befanden, wurden mühselig mit Pumpen trocken gehalten, die von Pferden angetrieben wurden (Wilkinson 1973: 119). Die von James Watt im Jahr 1769 entwickelte, mit Kohle befeuerte Dampfmaschine ersetzte die muskelbetriebenen Pumpen, wodurch die Kohleförderkosten stark sanken (vgl. Polimeni et al. 2008: 17). Damit war dem Abbau großer Kohlevorkommen der Weg bereitet. Die Produktionssteigerungen, die durch den Einsatz der Kohle erzielt wurden, markierten den Beginn der industriellen Revolution (Bianciardi und Ulgiati 2004: 460).

Das Problem der Land- und der daraus folgenden Holzknappheit wurde gelöst, indem Holz durch Kohle ersetzt wurde. Mit dieser Substitution gingen weitreichende Komplikationen einher, die durch neue Techniken und Organisationsanstrengungen gemeistert werden mussten. Durch die angesprochene Konzentration der Kohle musste ein neues Transport- und Verteilungssystem etabliert werden – es entwickelten sich komplexere Strukturen. Der zusätzliche Energiebedarf der Komplexitätssteigerung konnte durch den neuen Energieträger selbst finanziert werden, da die Kohle durch ihre hohe Energiedichte und ihr relativ üppiges Vorkommen einen erheblichen Energieüberschuss bereitstellte.

Bis zur Nutzung der Kohle waren Gesellschaften stets auf Energie*flüsse* angewiesen, die durch die Sonne in Gang gesetzt wurden. Kohle, Erdöl und Erdgas sind hingegen Energie*stöcke*, die sich im menschlichen Zeithorizont nicht regenerieren. Deren Abbau ermöglichte in den letzten 200 Jahren eine enorme Entwicklung: Pferdekutschen wurden durch Eisenbahnen und Autos ersetzt, Segel- durch Dampfschiffe und diese später durch Dieselfrachter, Ochsen durch Traktoren – überall wurden Muskel- und Windkraft durch fossile Energien als wichtigste Energieform ersetzt (Ayres 2008: 9–10). Der geringere Nutztierbedarf ließ Land frei werden, das zuvor für deren Fütterung gebraucht worden war. Auch wurden viele Bauern durch die Effektivität der Landmaschinen nicht mehr auf dem Feld benötigt; sie migrierten in die Städte, in denen sie neue Arbeit in den mit Kohle betriebenen Manufakturen fanden (Ayres 2008: 10). Der Urbanisierungsgrad der sich industrialisierenden Staaten steigerte sich kontinuierlich. Heute arbeiten in den Industrieländern nur etwa 2–5 % der Bevölkerung im Agrarsektor (Giampietro und Mayumi 2008: 192); in den

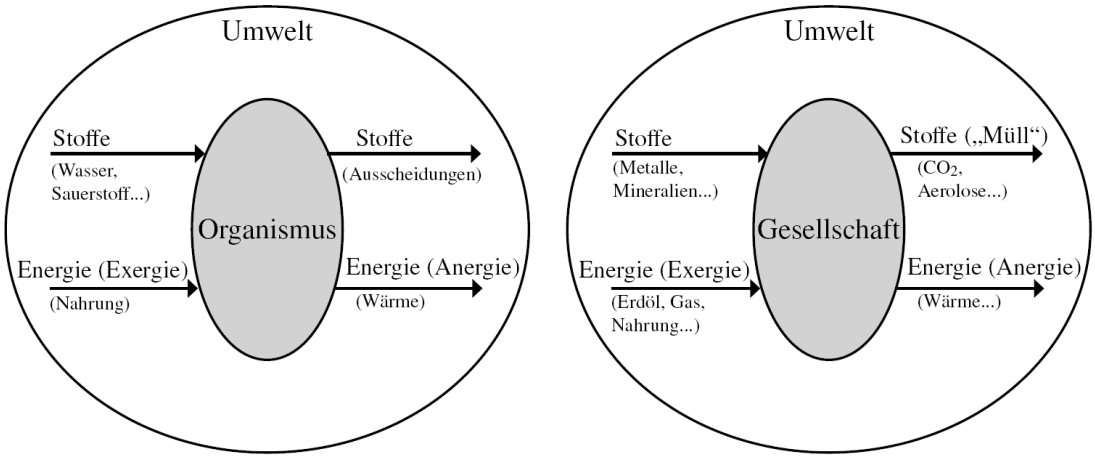
Schwellen- und Entwicklungsländern vollzieht sich der beschriebene Strukturwandel gegenwärtig.

3.2 Der Stoffwechsel komplexer Systeme

Die zentrale Aussage des vorangegangen Abschnitts war: Je höher das Komplexitätsniveau einer Gesellschaft, desto mehr Energie wird benötigt, um das System aufrecht zu erhalten (Giampietro und Mayumi 2004: 627). Bevor jedoch der *steigende* Energiebedarf in Abschnitt 3.3 detaillierter analysiert wird, widmet sich dieser Abschnitt den *kontinuierlichen* Energieanforderungen komplexer Systeme, auch wenn diese nicht wachsen, sondern lediglich den aktuellen Zustand bewahren „wollen". Zur Illustration dieses Sachverhalts bietet sich eine Analogie zwischen zwei komplexen Systemen an: dem Organismus und der Gesellschaft.

Jeder lebende Organismus ist ein komplexes Stoffwechselsystem: Er nimmt, um zu überleben, kontinuierlich Sauerstoff, Wasser und Nahrung (u. a. Energie) aus seiner Umwelt auf, wandelt diese um („Verbrennung") und gibt sie in niederer Qualität wieder an die Umwelt ab (Abb. 3, links). Aufgrund dieser Austauschbeziehungen mit seiner Umwelt lässt er sich als offenes System charakterisieren – offen für Stoffe und Energie. Dies gilt analog auch für Gesellschaften (Giampietro und Mayumi 2009: 39). Gesellschaften nehmen Energie und Stoffe in hoch geordneter Form aus der Umwelt auf (z. B. Erdöl, Holz oder Metalle), wandeln diese um und geben

Abbildung 3: Stoffwechselschemata von Organismus und Gesellschaft



Quelle: Eigene Darstellung

die gleiche Menge in zerstreuter Form (CO_2, Wärme, Aerosole) wieder an die Umwelt ab (Abb. 3, rechts). Auch Gesellschaften sind somit offene Systeme. Die ständige Zuführung qualitativ hochwertiger Energie und Materie erlaubt einem System, die geschaffenen Strukturen, also die eigene Identität, über Zeit zu erhalten bzw. ständig zu erneuern. Stoffe und Energie sind notwendig, um dem natürlichen Zerfallsprozess entgegenzuwirken.[18]

Die Anwendung des Stoffwechselkonzepts auf die Gesellschaft und insbesondere auf die Wirtschaft widerspricht fundamental der gängigen makroökonomischen Lehrmeinung, nach der die Wirtschaft als Kreislauf aufgefasst wird (vgl. Samuelson und Nordhaus 2007). Im Kreislaufmodell ist die Umwelt nicht existent, es modelliert lediglich den zirkulären Fluss von Tauschwerten (z. B. Geld) (Cleveland 1987: 63). Implizit wird damit angenommen, dass Unternehmen Werte *unabhängig* von Stoffen und Energie aus der Umwelt schaffen. Gerade in Zeiten einer „vollen Welt“[19] impliziert die Nichtberücksichtigung der Umwelt jedoch problematische Verzerrungen.

Die Interaktionen zwischen Umwelt und Gesellschaft – also der Austausch von Stoffen und Energie – unterliegen natürlichen Gesetzen, den Gesetzen der Thermodynamik. Der erste thermodynamische Hauptsatz besagt, dass Energie nicht verbraucht oder produziert werden kann, sondern lediglich in andere Formen umgewandelt wird; in einem geschlossenen System bleibt die Energiemenge also stets konstant. Bei jeder Umwandlung, die innerhalb eines geschlossenen Systems vorgenommen wird, reduziert sich jedoch der Anteil der Energie, der das Potenzial hat, Arbeit zu verrichten. Dieser arbeitsfähige Anteil der Energie wird Exergie genannt. Der für den Menschen nicht nutzbare Anteil der Energie, die sogenannte Anergie,

18 Das System Erde ist – anders als Organismen oder Gesellschaften – nicht für Stoffe, sondern nur für Energie offen; Sonnenstrahlung erreicht die Erde und verlässt diese in Form von Wärme (Daly und Farley 2004: 68).

19 Eine „volle Welt“ ist gegeben, wenn die Wirtschaft in Relation zu ihrer ökologischen Umwelt eine Größe erreicht hat, durch die ökologische Rückkopplungen spürbar werden (Daly und Farley 2004: 17). Bis weit in das 20. Jahrhundert hinein waren nur wenige Rückkopplungen globaler Natur zu spüren; die Bedingungen einer „vollen Welt“ lagen demnach noch nicht vor. Heute jedoch hat der Stoffwechsel der globalisierten Ökonomie ein so hohes Durchsatzniveau erreicht, dass die Umwelt nicht länger unberücksichtigt bleiben kann.

wächst entsprechend mit jeder Umwandlung (vgl. Abb. 3).[20] Der umgangssprachliche Verbrauch von Energie ist präziser ausgedrückt eine „Zerstreuung" der Energie – die Energiemenge bleibt konstant, aber ihre Qualität nimmt ab. Generell, also nicht nur auf Energieressourcen bezogen, wird die Zerstreuung als *Entropie* bezeichnet. Der Zweite Thermodynamische Hauptsatz, im Englischen als *Entropy Law* bekannt, besagt: In einem geschlossenen System nimmt die Entropie stetig zu (Georgescu-Roegen 1986: 3).

Wie oben dargelegt, ist ein Gesellschaftssystem ebenso wie ein Organismus jedoch kein geschlossenes, sondern ein offenes System. Nur der beständige Fluss hoch konzentrierter Stoffe und Energie (geringe Entropie) von der Umwelt in das System ermöglicht gesellschaftliche Aktivität und den Erhalt der Strukturen (Georgescu-Roegen 1986: 8). Das Entropiegesetz hat somit weitreichende Konsequenzen für die globale Ökonomie und damit auch für das Funktionieren von modernen Gesellschaften. Laut Georgescu-Roegen ist das Entropiegesetz „the root of economic scarcity in a much stronger sense than simple finiteness" (Georgescu-Roegen 1986: 8). Doch bevor sich Kapitel 4 der zunehmenden Entropie der fossilen Energien widmet, wird zunächst analysiert, welche Energieformen (3.2.1), welches Energieflussniveau, (3.2.2) und welche Energiequalität (3.2.3) moderne Gesellschaften benötigen, um ihre Funktionalität und Identität zu erhalten.

3.2.1 Energieformen

Bisher war lediglich von Energie und Stoffen die Rede, die komplexe Systeme aus ihrer Umwelt beziehen, um ihre Strukturen zu erhalten. Doch die verwendete Analogie zwischen Organismus und Gesellschaft lässt schon erahnen, dass unterschiedliche Systeme auch unterschiedliche Energieformen benötigten: Giamietro und Mayumi merken salopp an: „We cannot feed gasoline to humans, or power a refrigerator with pizzas" (2009: 42). Es muss also zwischen Energieformen und ihrem jeweiligen Nutzen für bestimmte (Sub-)Systeme differenziert werden.

20 Der umgangssprachlich genutzte Begriff *Energie* bezeichnet also eigentlich nur den Exergieanteil der Energie.

Wie Organismen sind Gesellschaften selbst-organisierende Systeme, die ihre Instandhaltung und Reproduktion mittels der Etablierung von Rückkopplungsschleifen bewerkstelligen. Ein Teil ihrer Energie-Inputs wird daher für die Gewinnung weiterer Energie-Inputs eingesetzt, um den kontinuierlichen Energiefluss aufrechtzuerhalten (Giampietro 2006: 176). Die systemischen Charakteristika geben dabei vor, welche spezifische Energieform für ihre Reproduktion und Identitätswahrung adäquat ist.

Welche Energie-Inputs sind für den Stoffwechsel moderner Gesellschaften adäquat? Zur Beantwortung dieser Frage muss zunächst zwischen primären Energiequellen, sekundären Energieträgern und Energiedienstleistungen differenziert werden. Zu den *primären Energiequellen* gehören u. a. die nicht erneuerbaren Energiestöcke Erdöl, Erdgas, Kohle oder Uran sowie die Energieflüsse Sonnenstrahlung, Biomasse, Wind, Wasser oder Geothermie. Diese primären Energiequellen können nicht durch menschliche Technik erzeugt („produziert") werden, gleich, wie viel Kapital investiert wird (Giampietro und Mayumi 2009: 44). Stattdessen werden sie vom Energiesektor[21] in *sekundäre Energieträger* umgewandelt. Hierzu zählen u. a. Benzin, Diesel, Strom, Nahrung, Brennholz, Heizöl oder Gas. Diese werden in die eigentlich nutzenstiftenden *Energiedienstleistungen* umgewandelt: Licht, Wärme, Kraft oder Fortbewegung. Mit jeder Umwandlung geht ein unvermeidbarer Exergieverlust einher. Die vom Menschen erzeugte Technik kann also keine Energie erzeugen, aber Energie in unterschiedliche Formen, auf mehr oder weniger effiziente Weise umwandeln. Somit bestehen zwei Wege, um das Nettoenergieangebot einer Gesellschaft zu steigern: durch die Ausweitung des Abbaus primärer Energiequellen oder durch Effizienzverbesserungen der Umwandlungsprozesse.

Zur Minimierung von Umwandlungsverlusten etablierten sich spezielle Energiequellen für die Umwandlung in spezielle Energieträger: Kohle, Uran, Wasser, Wind und direkte Sonnenstrahlung werden zur Stromerzeugung genutzt; Erdgas kann sehr vielseitig eingesetzt werden und findet insbesondere in der Wärme-

21 Der Energiesektor umfasst hier all jene Tätigkeiten, durch die Primärenergiequellen in Energieträger umgewandelt werden. Kontextabhängig können dazu z. B. auch Tätigkeiten zur Gewinnung nichttechnischer Biomasse gehören (Land- und Forstwirtschaft).

und Stromerzeugung sowie in der Landwirtschaft (chemischer Dünger) und in der chemischen Industrie Anwendung; Erdöl wird hauptsächlich für die Produktion von flüssigen Kraftstoffen (Benzin, Kerosin, Diesel) und in der chemischen Industrie (Kosmetika, Plastik), aber auch zum Heizen (Heizöl) und im Stromsektor (Ölkraftwerk) verwendet. Die primäre energetische Aufgabe der Biomasse besteht in der Versorgung des Menschen mit Nahrung und Wärme (Holz). Generell gilt damit, dass die jeweiligen gesellschaftlichen Subsysteme jeweils spezielle Energieträger benötigen, um sich zu reproduzieren. Der Energiemix einer Gesellschaft muss also zu den spezifischen Anforderungen der gesellschaftlichen Sektoren passen. Und diese Sektoren stehen wiederum in relativ festen Relationen zur übrigen Gesellschaft: „the relative size and the relative performance of the various sectors in their metabolism of different energy and material flows must result congruent with the overall size and metabolism of the whole“ (Giampietro und Mayumi 2008: 192).

Steht für einen Sektor der notwendige Energieträger nicht mehr in ausreichendem Maße zur Verfügung, so wandelt er sich und verändert auf diese Weise auch die Identität des gesamten Systems. Beispielsweise könnte sich der auf Kraftstoffen basierte Verkehrssektor zu einem von Strom oder Pferden angetriebenen Sektor wandeln. In beiden Fällen hätte jedoch eine vollständige Umstrukturierung massive Implikationen für die ganze Gesellschaft.

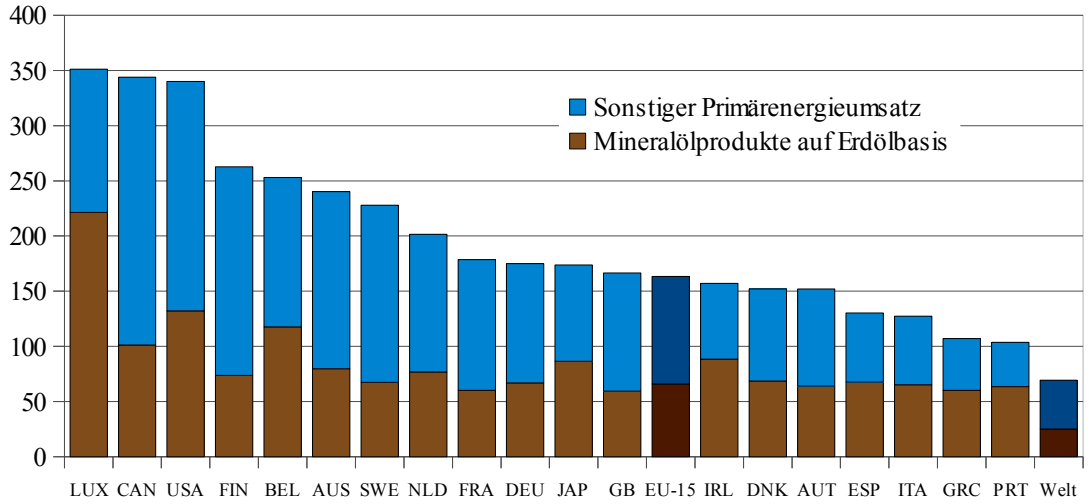
3.2.2 Energieflussniveau

Neben den Anforderungen komplexer Systeme an einen spezifischen Energiemix benötigen sie auch einen bestimmten Energiefluss der jeweiligen Energieformen. In einer gegebenen Zeit muss eine bestimmte, nicht zu hohe und nicht zu geringe, Energiemenge umgesetzt werden, damit die Identität des Systems erhalten bleibt. Ein 80 kg schwerer Mann setzt täglich Nahrung mit einem Energiegehalt von etwa 8 000 kJ (1 900 kcal) zur Aufrechterhaltung der Organfunktionen um; zusätzlich sind etwa 2 000 kJ (500 kcal) nötig für Bewegung bzw. Arbeit (vgl. Dürr 2009: 153;

Schmitz 2007: 109).[22] Diese Energiemenge muss sich aus einer adäquaten Nahrungskombination zusammensetzen.

Eine Gesellschaft setzt nicht nur eine Energiemenge um, die der Summe ihrer Teile (sprich: Einwohner) entspricht, vielmehr erfordert auch die Aufrechterhaltung der komplexen (Infra-)Strukturen, die die Teile zu einem Ganzen verbinden, Energie. Entsprechend gilt, wie oben angesprochen: Je komplexer ein gesellschaftliches System, desto höher sein kontinuierlicher Energiedurchsatz (Giampietro und Mayumi 2004: 627). In den Industriestaaten liegt der Umsatz von „technischer" Primärenergie[23] zwischen 100 und 350 GJ pro Kopf und Jahr (Abb. 4). Wie Abb. 4 zeigt, ist die Varianz des Energieflusses industrieller Gesellschaften beträchtlich. Hierfür sind viele Faktoren verantwortlich: Lebensstile, Bevölkerungsdichte, klimatische Bedingungen, die Effizienz der Energiekonverter, politische Rahmenbedingungen (Steuern und Subventionen), Energiepreise oder die Wirtschaftsaktivität, um nur ei-

Abbildung 4: Pro-Kopf-Primärenergieumsatz ausgewählter Industriestaaten im Jahr 2000 (GJ/Kopf/Jahr)



Quelle: Eigene Darstellung; Daten: World Resources Institute (2011)

22 Die 2400 kcal ergeben umgerechnet etwa 2,8 kWh oder 10 000 kJ.

23 Mit „technischer" Energieumsetzung sind die in offiziellen Statistiken auftauchenden Energieformen gemeint, also Strom, Gas, Benzin, Heizöl und technisch genutzte Biomasse. Berücksichtigt man die nicht technische Biomasse (Nahrung, Naturmaterialien etc.) und die Energie, die in importierten Produkten – wie Stahl, Papier oder Aluminium – enthalten ist (sogenannte graue Energie), so liegt der Energieumsatz nach Berechnungen von Haberl et al. (2006: 159–160) um etwa 20 % (USA) bis 25 % (EU-15) höher als in den offiziellen Statistiken angegeben.

nige zu nennen (Windsperger und Forum Wissenschaft & Umwelt 2008: 128–133, 196–237). Der Primärenergieumsatz pro Einwohner wird von den sozioökonomischen Systemen innerhalb eines Jahres und jedes Jahr aufs Neue umgesetzt (Giampietro et al. 2006: 50). Es stellt sich die Frage, inwiefern ein geringeres Energieflussniveau die Funktionalität der Gesellschaften einschränkt.

Die Folgen des Seebebens vor Japan am 11. März 2011 lassen mögliche Konsequenzen erahnen, die eine plötzliche Verringerung des Energieflusses mit sich bringen können. Das Beben und der folgende Tsunami führten nicht nur zum Super-GAU im Atomkraftwerk Fukushima I (Gesellschaft für Strahlenschutz 2011), sondern zerstörten oder beschädigten auch 9 von 29 japanischen Raffinerien. Die täglich raffinierte Kraftstoffmenge fiel um 31 % von 4,5 Mio. auf 3,1 Mio. Barrel (Summers 2011). Innerhalb weniger Tage wurden in Teilen Japans, insbesondere im Erdbebengebiet, Lebensmittel und Mineralölprodukte knapp. Von letzteren wurden die Bezugsquellen zerstört und erstere sind wiederum auf die Bearbeitung und den Transport mittels Diesel angewiesen. Der Appell des Bürgermeisters von Koriyama spricht für sich:

> „What we urgently need now is fuel, heavy and light oil, water and food. More than anything else, we need fuel because we can't do anything without it. We can't stay warm or work the water pumps. We also need to move our vehicles to collect garbage“ (zit. n. The Australian 2011).

Es lässt sich festhalten: Durch eine Geschwindigkeitsverringerung des Energieumsatzes (also einem geringeren Energiefluss) reduziert sich die ökonomische Aktivität. Es werden weniger Güter produziert und transportiert und es werden weniger Dienstleistungen angeboten. Der sozioökonomische Stoffwechsel verlangsamt sich, was gleichbedeutend ist mit einer Abnahme der wirtschaftlichen Dynamik.

Ein langsamer Stoffwechsel ist nicht per se positiv oder negativ. Den Bewertungsmaßstab bilden die jeweiligen sozioökonomischen und biophysikalischen Bedingungen. Aufgrund ihrer Komplexität und Wachstumsorientierung (vgl. dazu Abschnitt 3.3) verlangen moderne Gesellschaften einen relativ hohen und kontinu-

ierlichen Energiefluss. Die biophysikalische Grenze ist durch die Förderrate der in der Umwelt verfügbaren Energieressourcen gegeben (vgl. Kap. 4).

3.2.3 Energetischer Überschuss (EROI)

Da fossile Energien relativ reichhaltig in der Erdkruste vorkommen und bisher vergleichsweise leicht abzubauen waren, wird oft übersehen, dass durch den Gewinnungsprozess von Energieträgern nicht nur Energie bereitgestellt wird, sondern dass dieser auch Energie benötigt. Diese Energiekosten entstehen bei der Exploration, Förderung und Weiterverarbeitung. Die Differenz zwischen Energie-Output und Energie-Input wird als Netto-Energie oder energetischer Überschuss bezeichnet. Werden beispielsweise in einem Ölprojekt für die Förderung von je 100 Barrel 10 Barrel eingesetzt, so bleibt eine Netto-Energie von 90 Barrel übrig, die der Gesellschaft zur Verfügung steht. Dieser Zusammenhang lässt sich auch als Verhältnis ausdrücken, das unter dem Akronym EROI (energy return on investment)[24] bekannt ist (vgl. Hagens 2009). Das oben angeführte, beispielhafte Förderprojekt hätte demnach ein EROI von 10:1.

$$\text{EROI} = \frac{\text{Bereitgestellte Energieträger (Energie-Output)}}{\text{Energie die für die Energiegewinnung nötig ist (Energie-Input)}}$$

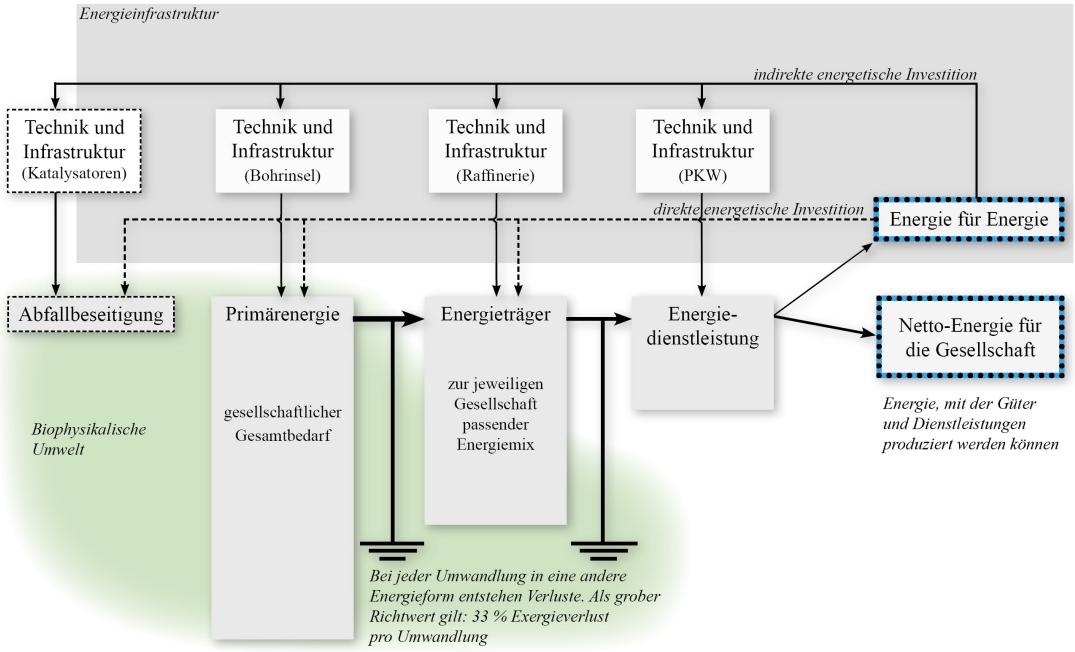
Das EROI-Konzept erweist sich auf dreierlei Arten als nützliches Instrument: Es ermöglicht, erstens, die Energiekosten unterschiedlicher Energieträger miteinander zu vergleichen und, zweitens, die sich über den Zeitverlauf verändernde physikalische Knappheit von Energieressourcen darzustellen. Drittens ist der Energieüberschuss ein Maß für das Potenzial eines sozioökonomischen Systems, Güter und Dienstleistungen zu produzieren (Cleveland 1992: 140). In diesem Kapitel steht die Analyse der Energieanforderungen moderner Gesellschaften im Vordergrund. Daher wird hier der dritte Punkt behandelt (für die ersten beiden s. Abschnitt 4.4).

24 Weitere Bezeichnungen sind: *energy profit ratio, surplus energy, energy gain* und ERoEI (Energy Returned on Energy Invested). Die monetären Kosten oder Gewinne spielen keine Rolle.

Wie oben angerissen, benötigen Gesellschaften einen energetischen Überschuss (EROI größer als 1:1), um sozioökonomische Aktivitäten außerhalb des Energiesektors unterstützten zu können. Die Energiesektoren hoch komplexer Gesellschaften müssen einen entsprechend hohen energetischen Überschuss erwirtschaften (Hall et al. 2009: 29). Die heutigen Industriegesellschaften entwickelten sich auf Basis von fossilen Energien, erst Kohle, später Öl und Gas, die enorm hohe EROI-Werte aufwiesen: In den 1930er Jahren lag der EROI von US-Erdöl bei etwa 100:1 (Hall et al. 2003). Für jeden Liter Rohöl der zur Exploration und Förderung von Rohöl eingesetzt worden ist, wurden somit 100 Liter gefördert. Für Kohle und Gas lagen die Werte ähnlich hoch (Cleveland 2005: 780). Diese EROI-Werte waren weit höher als das damalige Komplexitätsniveau erforderte – es entwickelten sich Überflussgesellschaften. Im Laufe der Zeit verringerten sich die energetischen Überschüsse (vgl. Abschnitt 4.4), aber der Komplexitätsgrad der Gesellschaften nahm weiter zu. Vor dem Hintergrund dieser gegenläufigen Trends stellt sich die Frage, wie hoch der energetische Überschuss sein muss, den die heutigen, arbeitsteiligen, globalisierten Gesellschaften *mindestens* benötigen, um ihre Strukturen zu erhalten.

Hall et al. (2009) kommen zu dem Schluss, dass allein für die Reproduktion der Energieinfrastruktur (Förderung, Transport und Endnutzung) ein EROI „am Bohrloch“ von mindestens 3:1 vorliegen muss – ein Drittel wird direkt für die Energieträgerbereitstellung benötigt, zwei Drittel indirekt für den Transport zum Endnutzer und die Nutzung durch diesen (Hall et al. 2009: 42). Nun kommt hinzu, dass die Energieinfrastruktur notwendigerweise in ein soziopolitisches System eingebettet ist. Zu diesem gehören u. a. das Gesundheits- und Bildungssystem, die Wissenschaft und die Regierungstätigkeit, die Hausarbeit und auch die Regenerationsphasen der Menschen. Schließlich müssen die Arbeiter(innen), die für die Instandhaltung der Infrastruktur und die Förderung der Energie zuständig sind, gesund und ausgebildet sein und in der Zukunft durch fähiges Personal ersetzt werden. Diese soziopolitischen Strukturen benötigen ebenfalls Energie, womit die EROI-Anforderung über 3:1 hinausgeht. Für den Status quo der heutigen Gesellschaften ist wohl

Abbildung 5: Energie für Energie und für den Rest der Gesellschaft



Quelle: Eigene Darstellung nach Giampietro und Mayumi (2008: 185)

mindestens ein EROI von 5:1, wahrscheinlich eher 10:1 („am Bohrloch“) notwendig (Hall et al. 2009: 45).[25]

Abbildung 5 fasst die wichtigsten Zusammenhänge dieses Kapitels anschaulich zusammen: (1) Energie wird direkt (für den Betrieb der Förder- und Umwandlungstechnik) und indirekt (für Bau und Instandhaltung der Infrastruktur) eingesetzt, um einen kontinuierlichen Energiefluss aufrecht zu erhalten (Energieverbrauch des Energiesektors). (2) Der Energiesektor muss einen energetischen Überschuss generieren, damit der Gesellschaft Energie für die Güter- und Dienstleistungsproduktion zur Verfügung steht (Energieverbrauch des Rests der Gesellschaft). (3) Es gilt zwischen Primärenergie, Energieträgern und Energiedienstleistungen zu unterscheiden; die Umwandlung zwischen den verschiedenen Energieformen bringt unweigerlich energetische Verluste mit sich. (4) Fossile Energie

25 Eine Schwäche des EROI-Konzepts ist die Vernachlässigung der qualitativen Unterschiede der Energieträger (Cleveland 1992: 140). Im Prinzip werden Äpfel und Birnen addiert und heraus kommt ein einziger Wert. Doch nicht jedes Joule ist identisch. Mit Benzin werden andere Dinge befeuert als mit Strom oder Holz. Eine quantitative EROI-Analyse sollte daher stets von einer qualitativen Betrachtung begleitet werden. Dieser Forderung bin ich in Abschnitt 3.2.1 nachgekommen.

kommt in hoch geordneter Form in der biophysikalischen Umwelt vor und wird in niederer Qualität (Wärme, stoffliche Abfälle) an die Umwelt abgegeben.

Abschnitt 3.2 analysierte die *energetischen* Anforderungen komplexer Gesellschaften zu einem gegebenen Zeitpunkt. Der folgende Teil untersucht den Zusammenhang zwischen den sozioökonomischen Charakteristika der modernen Gesellschaften und der Entwicklung des Energieumsatzes im Zeitverlauf.

3.3 Moderne Gesellschaften als Wachstumsökonomien

Seit nun vier Jahrzehnten wird das Streben nach Wirtschaftswachstum kritisiert. In den letzten Jahren gewann die Kritik aus den 1970er Jahren aufgrund der Diskussion um Klimawandel, Finanzkrise, Deepwater Horizon und Fukushima wieder an Einfluss. Um zu verstehen, warum trotz dieser Krisen nicht vom Streben nach Wirtschaftswachstum Abstand genommen wird, muss den Ursachen desselben nachgegangen werden.

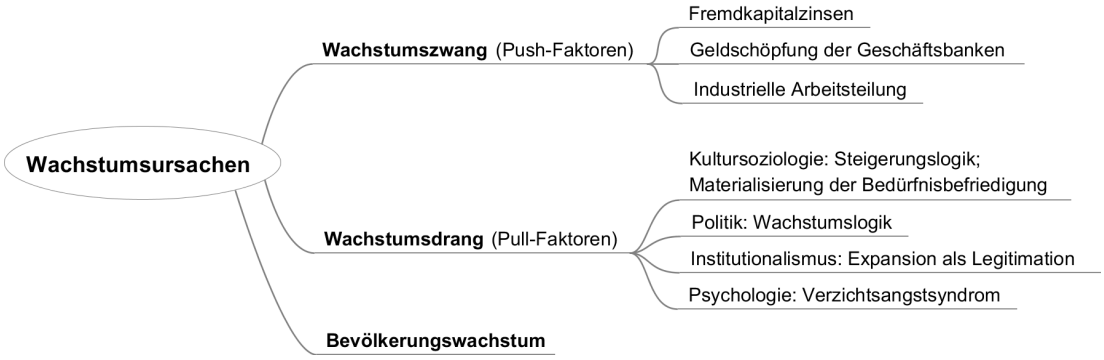
3.3.1 Ursachen von Wirtschaftswachstum

Die Ursachen des Wachstums des Bruttoinlandsprodukts (BIP) lassen sich nach Paech (2011) in drei Bereiche gliedern: Den systemischen Wachstumszwang, den soziopolitischen Wachstumsdrang und das Bevölkerungswachstum (Abb. 6). Hinsichtlich des Wachstumszwangs steht hier die moderne Geldwirtschaft im Fokus der Analyse, bezüglich des Wachstumsdrangs werden verschiedene soziopolitische Aspekte angerissen. Der Faktor Bevölkerungswachstum wird nicht gesondert erörtert: Es ist selbsterklärend, dass dieses – unter der Annahme, dass ein gleichbleibender Lebensstandard angestrebt wird – eine zentrale Ursache für Wirtschaftswachstum darstellt.

Der *Wachstumszwang* ist laut Binswanger (2006) engstens mit der modernen Geldwirtschaft verzahnt.[26] In dieser sind Unternehmen darauf angewiesen, dass sie Geldkapital von Geschäftsbanken in Form von (zinsbelasteten) Krediten erhalten,

26 Hans Christoph Binswanger war bis zu seiner Emeritierung Professor für Volkswirtschaftslehre an der Universität St. Gallen. Sein Spätwerk *Die Wachstumsspirale* (2006) verbindet seine Forschungsschwerpunkte Wachstums- und Geldtheorien und Umwelt- und Ressourcenökonomie.

Abbildung 6: Wachstumsursachen in modernen Gesellschaften



Quelle: Eigene Darstellung nach Paech (2011)

bevor sie ihre unternehmerische Idee in die Tat umsetzen können. Die Kredite sind nötig, um Lohn und Maschinen zu bezahlen, wodurch erst der Produktionsprozess beginnen kann. Erst zu einem späteren Zeitpunkt bringen die produzierten Güter auf dem Markt Erlöse. Kredite ermöglichen somit die Produktion von Gütern, ohne dass *vorher* die nötigen Beträge erspart worden sein müssen (Binswanger 2006: 303).

Der Kredit wird von Geschäftsbanken gegen einen Zins[27] vergeben. Durch die Kreditvergabe wird Geld von den Geschäftsbanken geschöpft. Es wird aus dem Nichts geschaffen: Die Banken „können Kredite geben, auch wenn niemand spart oder Geld enthortet, und Bankkunden nur Sichteinlagen, also liquides Geld halten" (Binswanger 2006: 137). Diese Geldschöpfung hat enorme Auswirkungen auf die wirtschaftliche Dynamik.[28]

27 Gemäß Binswanger wird ein Zins nicht aufgrund einer Gegenwartspräferenz (I. Fischer) oder einer Liquiditätspräferenz (M. Keynes) erhoben. Die Bank hat vielmehr die Macht, auf gewährte Kredite einen Zins zu verlangen, dessen Höhe sich aus dem Ausfallrisiko und den Transaktionskosten zusammensetzt (Binswanger 2006: 128–140). Kennedy (2010) meint hingegen, dass sich der von der Bank verlangte Zins aus vier Faktoren zusammensetzt: Ausfallrisiko, Transaktionskosten der Bank, Liquiditätsprämie („Geldumlaufsicherung") und Inflationsausgleich. Die Gewichtung dieser Faktoren variiert je nach Marktumfeld.

28 Joseph Ackermann, der bei Binswanger promovierte, kritisiert, dass die Rolle des Geldes im Wirtschaftsprozess bisher unterbelichtet ist: „Die herkömmlichen Theorien basieren weitgehend auf einem statischen Gleichgewichtsmodell, in dem alle Transaktionen gleichzeitig stattfinden – die Zeit also keine Rolle spielt. Geld liegt dort nur wie ein Schleier über dem realen Wirtschaftsgeschehen, beeinflusst es aber nicht wesentlich. [...] Wenn man die zeitlichen Prozesse berücksichtigt – etwa dass man Geld erst ausgeben kann, wenn man es verdient hat –, kommt man zu anderen Schlussfolgerungen. Dann spielen Geld und Geldschöpfung eine zentrale Rolle. [...] Nicht zuletzt die aktuelle Finanzkrise hat gezeigt, dass die Auswirkungen der Geldsphäre auf die reale Wirtschaft noch zu wenig erforscht sind" (Ackermann zit. n. FAZ.net 2009).

Der Unternehmer muss durch seine wirtschaftliche Tätigkeit nicht nur den Kredit zurückzahlen, sondern zusätzlich die Zinsen und Zinseszinsen. Er ist also gezwungen, einen Überschuss zu realisieren, der mindestens dem Zins entspricht. Um dieses zusätzliche Geld in jeder Periode neu zu erwirtschaften, müssen die Unternehmen zusätzlich investieren, wozu ihnen zusätzliche Kredite gewährt werden müssen. Der Wachstumszwang erfährt eine ständige Erneuerung. Um dem Wachstumszwang gerecht zu werden, nutzten Unternehmen insbesondere die Leistungen der Natur (Energie und Stoffe) und der menschlichen Kreativität (Innovation).

Um im Wettbewerb zu bestehen, strebt ein Unternehmen jedoch nicht nur einen Ertrag an, der die Produktions- und Kreditkosten (Zins) deckt, sondern es strebt nach Gewinnmaximierung. Konkurrenz treibt das Wachstum also zusätzlich an. Im auf der Geldwirtschaft basierenden Marktprozess wird somit nicht, wie oftmals angenommen, eine effiziente Nutzung knapper Ressourcen, sondern eine stetige Ausweitung der Produktion realisiert (Binswanger 2006: 307). Die Wirtschaft lässt sich daher eher mit einem Spirallauf als mit einem Kreislauf vergleichen. Binswanger spricht von einer Wachstumsspirale.

Wichtig ist zudem, dass mit der Geldmengenerhöhung durch die Kreditvergabe ein reales Produkt geschaffen wird und dieses Produkt konsumiert wird. Erst durch den Konsum steht der Geldmengenerhöhung auch ein erhöhter Umsatz von Gütern und Dienstleistungen (Wachstum) gegenüber. Ist die Geldmenge nicht durch reale Werte gedeckt, können kurzfristige Folgen Inflation oder eine Spekulationsblase mit nachfolgendem Crash sein, langfristig würde eine „Schrumpfungsspirale“ folgen:

> „Der Wachstumsprozess wird [...] von einem kumulativen Schrumpfungsprozess abgelöst, wenn er sich nicht fortsetzt. Das heißt: der Wachstumsprozess kann, wenn er einmal begonnen hat, nicht einfach in eine stationäre Wirtschaft mit Null-Wachstum einmünden, es sei denn, nach einer Regression in Richtung einer Robinson-Crusoe-Wirtschaft bzw. einer einfachen Selbstversorgungs- und Tauschwirtschaft. Ein bloßes Beharren auf dem einmal Erreichten, eine Sättigung auf hohem Niveau, ist in der modernen Wirtschaft, wie sie sich historisch entwickelt hat, nicht (mehr) möglich. Sie steht vielmehr ständig – in jedem ‚Heute‘ – vor der Alternative: Wachstum oder Schrumpfung“ (Binswanger 2006: 307–308).

Damit der Wachstums- nicht in einen Schrumpfungsprozess übergeht, wird laut Binswanger ein minimales jährliches Wirtschaftswachstum von etwa 1,8 % im globalen Durchschnitt nötig sein (Binswanger 2006: 370).[29] Auch wenn sich über die konkrete Zahl sicher streiten lässt, so steht fest, dass „ein gewisses" Wirtschaftswachstum nötig ist, um das Wirtschaftssystem und damit auch die Funktionalität der modernen Gesellschaften als Ganzes aufrecht zu erhalten; „ohne wirtschaftliches Wachstum gerät sie in (soziale und politische) Schwierigkeiten" (Prisching 2009: 136). Es besteht dementsprechend nicht nur ein wirtschaftlicher Wachstumszwang, sondern auch ein politischer und soziokultureller Drang, das Wirtschaftswachstum zu fördern.

Der *Wachstumsdrang* hat eine starke soziokulturelle Komponente: „The members of industrial societies are socialized to think that it is normal to produce as much as possible" (Tainter 2006: 94). Doch historisch betrachtet ist eine solche Steigerungslogik neu. In vielen vorindustriellen Gesellschaften bevorzugten es die Menschen, nur soviel zu arbeiten, wie für die Subsistenzsicherung nötig war, um dann die Freizeit zu maximieren (Wilkinson 1973: 173). In den Industriegesellschaften sind viele Menschen bereit, mehr zu arbeiten als für die Subsistenz notwendig wäre. Für diesen Wertewandel gibt es mehrere Erklärungen.

Laut Wilkinson (1973) vollzog er sich vor dem Hintergrund eines sich verändernden Lebenskontextes: Die industrielle Revolution löste durch ihre enorme Produktionskraft die alten Subsistenzprobleme. Doch der Produktionsprozess verlangte von den Fabrikarbeitern und ihren Familien eine Anpassung an eine drastisch veränderte physische und soziale Umwelt. Die sozialen Umstände im Frühindustrialismus waren elendig; Entbehrungen wurden in der Hoffnung eingegangen, das persönliche Subsistenzniveau zu halten oder zu heben (Wilkinson 1973: 173–175).

29 Dieser Wachstumszwang könnte *theoretisch* durch eine „Reform" des Geldwesens aufgehoben werden. Beispielsweise durch eine Monopolisierung der Geldschöpfung bei der Zentralbank (100 %ige Deckungspflicht) (Binswanger zit. n. Frankfurter Rundschau 2010) oder eine Geldhaltegebühr (Creutz 2001), wie es in regionalen Komplementärwährungen praktiziert wird. Doch solche Reformvorschläge stellen die moderne Geldwirtschaft und das gesamte Wirtschaftssystem infrage.

Einen starken Einfluss auf den Wertewandel dürfte auch der Calvinismus gehabt haben. Aus dessen Idealen leitete sich eine Ethik ab, die – laut Max Weber (1986/1920: 33) – dem modernen Kapitalismus und generell der modernen Kultur eigen ist. Diese Ethik beschwört die „rationale Lebensführung auf Grundlage der Berufsidee" (Weber 1986/1920: 202). Demnach wird es als positiv angesehen, wenn jeder einzelne sein Handeln an der kaufmännischen Maxime des *homo oeconomicus*[30] ausrichtet, jede Handlung nach ihrem monetären Nutzen beurteilt wird. Kern dieser Ethik ist das als Selbstzweck vorausgesetzte Interesse an der Vergrößerung des Kapitals (vgl. Weber 1986/1920: 33).

Die beiden Erklärungen des Wertewandels ergänzen sich: Auf der einen Seite findet sich der Verweis auf die materielle Notwendigkeit, im modernen Lebenskontext die Bedürfnisse über materielle Dinge zu befriedigen; auf der anderen Seite die Unterfütterung dieses Verhaltens durch eine Ethik, die den Arbeitsethos predigt und das materielle Steigerungsstreben als etwas Gutes und Vorbildliches preist.

Der Wertewandel hatte zur Folge, dass in der Moderne die traditionellen Methoden der Bedürfnisbefriedigung an Bedeutung verloren. Im Gegensatz zu vorindustriellen Gesellschaften, in denen mit materiellen Gütern primär das Bedürfnis der Subsistenz befriedigt wurde, zeichnet sich die Moderne dadurch aus, dass von einem Großteil der Bevölkerung auch immaterielle Bedürfnisse (wie Anerkennung) durch materiellen Konsum befriedigt werden.[31] Dieses Argument vertritt auch Jackson (2009), der das heutige Streben nach Geld und materiellem Konsum damit erklärt, dass materieller Besitz mit gesellschaftlicher und psychologischer Bedeutung aufgeladen ist. Materielle Güter sind eine Form der Kommunikation; ihr Besitz schafft die Möglichkeit – oder birgt zumindest die Hoffnung – an der Gesellschaft

30 Den Begriff des *homo oeconomicus* nutzte Weber nicht, aber die sich dahinter verbergenden Annahmen passen recht genau zur „protestantischen Ethik", die Weber als etwas Neues im modernen Kapitalismus ausmacht. Insbesondere das von Weber zitierte Traktat von Benjamin Franklin (Weber 1986/1920: 31–32) zeigt eindrücklich, wie eine moralisch richtige Lebensführung gemäß der „Ethik der Moderne" auszusehen habe.

31 Nach Max-Neef (1992) gehören zu den wichtigsten Grundbedürfnissen Subsistenz, Schutz, Partizipation, Anerkennung, Freizeit und Identität. Diese haben universelle und zeitlose Gültigkeit. Es variieren nicht die Bedürfnisse selbst, sondern nur die Art der Bedürfnisbefriedigung *(satisfier)*.

zu partizipieren. In den modernen Gesellschaften kommen Konsumgütern somit eine Bedeutung zu, die weit über ihre Funktionalität hinausgeht (Jackson 2009: 98).

Der Mentalitätswandel von der Suffizienz zum Arbeits- und Konsumethos war zudem nicht eine bloße Randerscheinung der industriellen Revolution, sondern eine notwendige Bedingung der Wachstumsökonomie: Wirtschaftliches Wachstum funktioniert nur dann, wenn der Konsum mit der Produktion Schritt hält. Und ist das gesamtgesellschaftliche Produktionswachstum aufgrund der Ausgestaltung des Geldsystems – wie oben dargestellt – ein Zwang, so muss es auch der Konsum sein. Vor diesem Hintergrund stellt Prisching (2009: 144) die These auf, dass zufriedene, ausgeglichene Menschen ein Systemproblem darstellen, da sie nicht ausreichend konsumieren. Dem potenziellen Konsumenten werde daher von Werbung stets suggeriert, dass die menschlichen Bedürfnisse unbegrenzt seien (vgl. Fußnote 31). Für die soziokulturelle Dimension des Wachstumsdrangs gilt deshalb: Die Wachstumsethik ist in den modernen Gesellschaften fest verankert.[32]

Für die Politik erscheint eine Wachstumspolitik innerhalb der gegebenen Institutionen ebenfalls alternativlos. Münch vertritt die Ansicht, Wirtschaftswachstum und die demokratischen, freiheitlichen und rechtsstaatlichen Errungenschaften der modernen Gesellschaft seien untrennbar miteinander verknüpft und insbesondere die Wohlfahrtsregime und damit die gesellschaftliche Partizipation der Bürger seien auf Wachstum angewiesen (Münch 2009). Etwas weniger abstrakt: Wachstum gilt als Mittel zur Schaffung neuer Arbeitsplätze und zur Steigerung der Steuereinnahmen, um die staatliche Bürokratie, die Verschuldung und den Sozialstaat zu finanzieren. Diese Faktoren führen dazu, dass die Politik am Wirtschaftswachstum gemessen wird. Das im Dezember 2009 von der deutschen Bundesregierung verabschiedete „Wachstumsbeschleunigungsgesetz“ macht deutlich, dass Wachstum von der Politik als das Hauptinstrument zur Lösung (fast) aller Probleme angesehen wird.

32 Das Streben nach Wachstum ist kein rein kapitalistisches Phänomen. Auch die ehemalige Sowjetunion strebte danach. Allerdings konnte sie nicht die wirtschaftliche Wachstumsdynamik des Westens entwickeln, da ihr das Konkurrenzsystem und der Wachstumszwang aus der Geldwirtschaft fehlten (vgl. Prisching 2009: 141).

Im Kontext von Wachstumszwang und Wachstumsdrang ist nicht damit zu rechnen, dass der Pfad der Wachstumsökonomie aus freien Stücken verlassen wird. Prisching (2009: 148) glaubt, nur eine Sequenz von Katastrophen werde das „Wachstumsproblem“ lösen können. Münch hingegen hält es für möglich und nötig, mittels technischer Innovationen ein dauerhaftes, „nachhaltiges“ Wachstum zu realisieren – ein Wachstum, das für den Fortbestand von Demokratie und Freiheit nötig ist, gleichzeitig aber die Grenzen von Ökologie und Ressourcen nicht überschreitet (Münch 2009: 156). Wie Wachstum und Energieumsatz verbunden sind und ob „nachhaltiges Wachstum“ eine realistische Option darstellt, ist Gegenstand des nächsten Abschnitts.

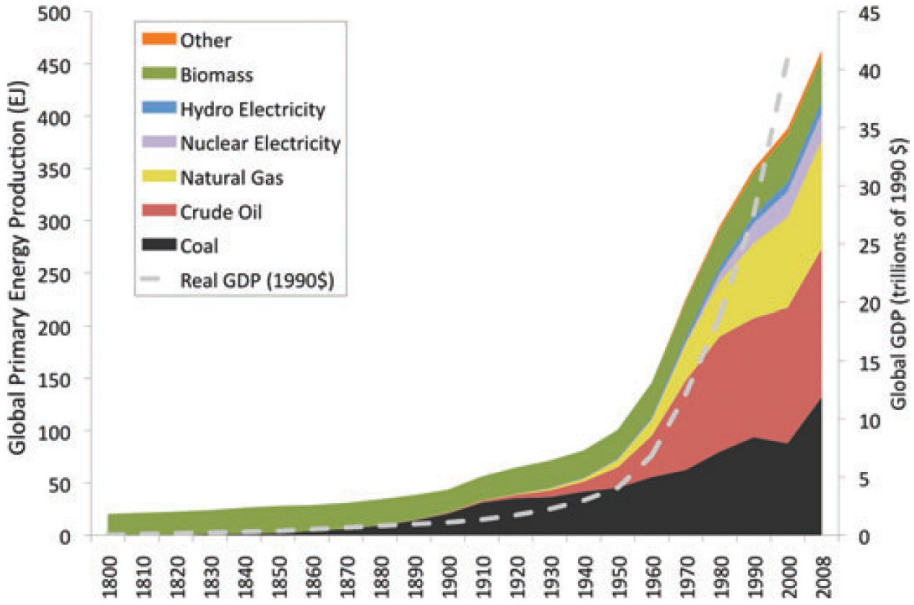
3.3.2 Wirtschaftswachstum und Energie

Energie gilt als notwendige Bedingung für Wirtschaftswachstum (Kümmel 1998; Odum 2007; Binswanger 2006; Giampietro 2008; Gever et al. 1986; Pimentel und Pimentel 2008). Diesen Zusammenhang unterstreicht auch die historische Entwicklung von Energieumsatz und Wirtschaftswachstum (Abb. 7). Doch wurde die Bedeutung von Energie für die Wirtschaftsentwicklung lange Zeit unterschätzt, da die fossilen Energieträger in Relation zu ihrem Arbeitspotenzial extrem günstig waren.[33] Wie die obigen Ausführungen jedoch hinreichend deutlich gemacht haben (vgl. Abschnitt 3.2), ist Energie – oder, präziser ausgedrückt, Exergie – der primäre Treiber der industriellen Wirtschaft (Ayres 2008). Es liegt aber nicht nur ein Zusammenhang vor, sondern eine kausale Beziehung: Eine Begrenzung des Energieflusses begrenzt auch das ökonomische Wachstum (Kümmel et al. 2010).

Ein ökologisch nachhaltiges Wirtschaftswachstum wäre nur möglich, wenn Energie und Stoffe aus nachhaltigen Quellen stammen würden. Die Wirtschaft müsste also primär auf Solarenergie und nachwachsenden Stoffen basieren. Dies scheint unvereinbar mit einer modernen Gesellschaft, deren stoffliche Säule Metalle

33 In der dominanten neoklassischen Theorie gelten menschliche Arbeit und Kapital sowie der „technische Fortschritt“ – ein *Catch-all*-Konzept für alles, was nicht durch Arbeit und Kapital erklärt werden kann (Kümmel et al. 2010: 5) – als die entscheidenden Faktoren für Wachstum. Kümmel (1998: 32–45) weist hingegen nach, dass der Einsatz von Energie in Industriegesellschaften etwa 50 % des Wirtschaftswachstums erklärt (den Rest teilen sich Kapital, Arbeit und Kreativität).

Abbildung 7: Globaler Primärenergieumsatz und Wirtschaftswachstum (BIP)



Quelle: Murphy und Hall (2011: 53)

und energetische Säule fossile Energien bilden. Die Begriffe Nachhaltigkeit und Wirtschaftswachstum sind daher nicht vereinbar (Daly 1993). Die Vermutung liegt nahe, dass diejenigen, die ein nachhaltiges Wachstum für möglich halten, das Konzept Nachhaltigkeit schwächer auslegen, als die Skeptiker eines nachhaltigen Wachstums (vgl. UNEP 2011; Jaeger et al. 2011; Forum Wissenschaft & Umwelt 2009; Daly 1997; Jackson 2009). Unabhängig von den definitorischen Feinheiten kann Wachstum natürlich nachhaltig*er* gestaltet werden, indem z. B. die Ressourcen- und Energieeffizienz voran getrieben werden. Aber der Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Wachstum durch technische Verbesserungen sind Grenzen gesetzt (vgl. z. B. Polimeni et al. 2008 für die Diskussion des Rebound-Effekts).[34]

In Europa lässt sich empirisch eine Entkopplung von Wachstum und Energieumsatz beobachten: Die nationalen Wirtschaften wuchsen in den letzten Dekaden leicht, der Primärenergieumsatz blieb jedoch konstant. Fraglich ist, inwiefern dies dem technischen Fortschritt oder eher einem veränderten Energiemix und dem Outsourcing der Schwerindustrie nach Ostasien geschuldet ist. Auf globaler Ebene jedenfalls – und eine andere Perspektive ist in einer globalisierten Wirtschaft stets

34 Um absolute Einsparungen zu erzielen, müssten Effizienzsteigerungen nach Ernst Ulrich von Weizsäcker mit politischen Preissteigerungen der Energie einhergehen (Weizsäcker et al. 2010).

problematisch – ist nur eine *relative* Entkopplung auszumachen: Die Effizienzgewinne reduzieren lediglich die Steigerungsrate des Material- und Energieverbrauchs (Krausmann et al. 2009: 2702). *Absolut* nimmt der Ressourcenverbrauch mit dem Wachstum weiterhin zu. Es gilt somit zweierlei festzuhalten: Erstens sind die heutigen industriellen Gesellschaften auf ständiges Wirtschaftswachstum angewiesen und zweitens geht mit Wirtschaftswachstum auf globaler Ebene auch ein Wachstum des Energie- und Ressourcenumsatzes einher.

Im Verlauf dieses Kapitels wurden die historische Beziehung zwischen Energie und gesellschaftlicher Entwicklung (3.1) aufgezeigt sowie die energetischen Anforderungen komplexer Gesellschaften (3.2) und – etwas konkreter – der modernen Wachstumsökonomien (3.3) dargestellt. Im folgenden Abschnitt erfolgt eine weitere Verengung des Blickwinkels auf die Abhängigkeit moderner Gesellschaften nicht nur von Energie, sondern von Erdöl.

3.4 Erdölanforderungen moderner Gesellschaften

Erdöl machte im Jahr 2008 38 % des Primärenergieumsatzes der OECD-Staaten aus. Der Rest entfiel zu 23 % auf Erdgas, zu 21 % auf Kohle, zu 11 % auf Atomenergie und zu 7 % auf technisch genutzte erneuerbare Energien (OECD und IEA 2011). Erdöl eignet sich für die Erzeugung vieler Energieträger wie Heizöl, Strom oder Kraftstoffe. Doch da für Wärme und Strom gute Substitute existieren, wird das wertvolle und zunehmend knappe Erdöl insbesondere im Transportsektor (48 %) und der (chemischen) Industrie (25 %) eingesetzt (Bukold 2009b: 81) – Bereiche in denen die Substitution von Erdöl schwierig ist (Gever et al. 1986; Hirsch 2005: 8). Erdöl ist anderen Energieressourcen in diesen Sektoren überlegen, da es sich leicht transportieren lässt, ein höchst homogenes Gut ist und effizient umgewandelt werden kann (Conforti und Giampietro 1997: 232).

Aber auch Sektoren, die nicht durch einen sonderlich großen Anteil am Erdölverbrauch gekennzeichnet sind, können von diesem abhängig sein. Dies trifft insbesondere für die industrielle Landwirtschaft und den Bergbau zu. Im Folgenden werden daher die Erdölanforderungen dieser beiden essenziellen Primärsektoren

sowie des Transportsektors, der das Bindeglied der modernen Gesellschaft bildet, untersucht.

3.4.1 Industrielle Landwirtschaft

Die Landwirtschaft versorgt die Menschen mit Lebensmitteln und gehört daher zu den wichtigsten Sektoren einer jeden Gesellschaft, obwohl ihr Anteil am BIP und an den Erwerbstätigen relativ klein ist.

Die industrielle Landwirtschaft basiert auf der Annahme, das Wachstum von Pflanzen und Organismen gehorche dem Liebig'schen „Minimumgesetz". Demnach wird Wachstum stets durch den relativ knappsten Faktor eingeschränkt. Diese Faktoren sind die chemischen Elemente des Periodensystems. Als wichtige Wachstumsfaktoren bei Pflanzen gelten u. a. Stickstoff (N), Wasser (H_2O), Phosphor (P), Kalium (K) und Eisen (Fe). Ist ein Faktor unzureichend vorhanden (der sogenannte „Minimumfaktor"), so entfalten Pflanzen nicht ihr volles Wachstumspotenzial. In der industriellen Landwirtschaft wird nun das Wachstum gesteigert, indem Pflanzen und Tiere künstlich mit den Minimumfaktoren versorgt werden. Dabei wird angenommen, dass z. B. das Element N immer gleich ist, egal ob es von Pflanzen, Tieren oder fossilen Brennstoffen stammt (Pommeresche 2004: 23). Diese Logik führte dazu, dass Grasfresser (Kühe) mit Mais, Fischmehl und auch Kuhmehl gefüttert werden, um ihr Wachstum zu steigern. Der Preis dieser Ertragssteigerungen sind BSE und andere Seuchen. Pflanzen werden nach der gleichen Logik u. a. mit Stickstoffdünger auf Erdgasbasis gedüngt. Weitere Bestandteile der Intensivierung der Landwirtschaft sind Bewässerungssysteme und die Züchtung von Pflanzen (Hybride, gentechnisch veränderte Organismen), die für die künstlichen Zusatzstoffe empfänglicher sind.

Durch die Intensivierung konnte die Flächenproduktivität der Land- und Viehwirtschaft gesteigert werden. Die Entwicklung und der Einsatz von (mit Diesel und Strom betriebenen) Landwirtschaftsmaschinen (Abb. 8) erhöhte zudem die Arbeitsproduktivität. Beide Produktivitätssteigerungen gehen mit höheren Energie-Inputs einher. Da die mit industriellen Methoden angebauten Agrarprodukte eine wesentlich geringere Widerstandskraft (u. a. gegenüber Schädlingen, Dürren, Wind)

Abbildung 8: Ein extremes Beispiel der industriellen Landwirtschaft

Quelle: Aleklett (2011: 43)

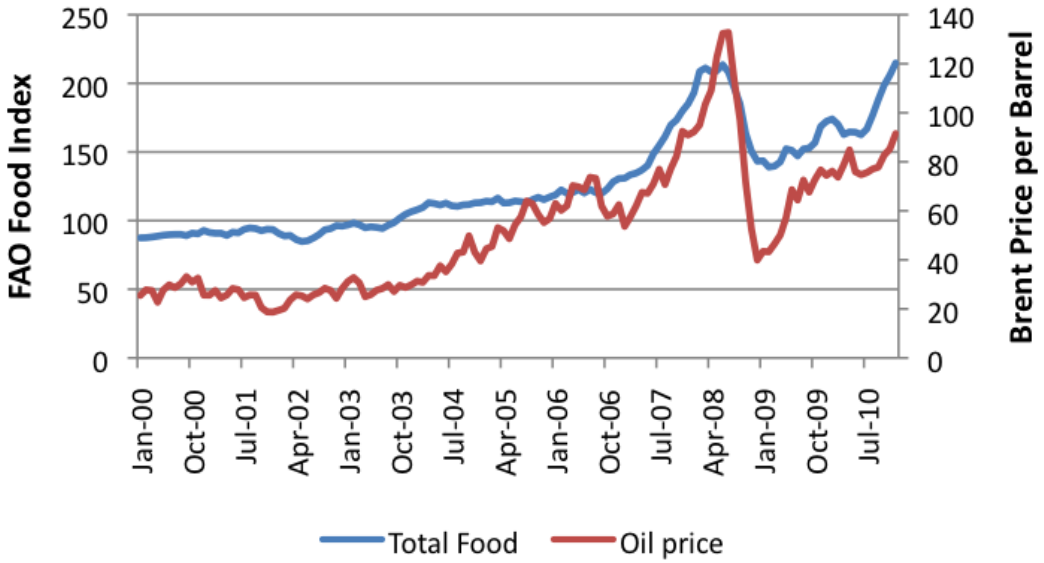
aufweisen (Holzer 2008), sind zusätzliche energetische Inputs wie Pestizide oder Herbizide (auf Erdölbasis) notwendig – ein Teufelskreis. Seit den 1950er Jahren, als damit begonnen wurde, fossile Energie systematisch in der Landwirtschaft anzuwenden, stieg der Ertrag/ha um das 3- bis 4-fache. In der gleichen Zeit wuchs die Anwendung von Stickstoffdüngern, Pestiziden und Bewässerung um das 20- bis 50-fache. Die Ertragssteigerungen lagen zwischen 1950 und 1980 bei etwa 3 % pro Jahr, gingen seitdem aber auf etwa 1 % pro Jahr zurück (Pimentel et al. 2008: 153). Die industrielle Landwirtschaft ist also in erheblichem Maße von Erdöl und Erdgas abhängig und diese Abhängigkeit vergrößert sich (vgl. Gever et al. 1986: 147–176).

Darüber hinaus haben die praktizierten Methoden der industriellen Landwirtschaft (Monokulturen, Massentierhaltung, Verwendung von chemischem Dünger, Pestiziden, Herbiziden etc.) viele negative Auswirkungen auf die Ökosphäre, die einerseits wiederum auf die Landwirtschaft zurückwirken und mittel- bis langfristig die Erträge reduzieren und andererseits die menschliche Gesundheit gefährden, die Biodiversität bedrohen und den Klimawandel beschleunigen (Jackson 2010).

Parallel zum Agrarsektor selbst veränderte sich auch das gesamte Nahrungsmittelsystem: Dieses umfasst in den Industrieländern neben dem eigentlichen Anbau auch die industrielle Produktion von landwirtschaftlichen Maschinen und an-

deren Investitionsgütern, den Transport, die Verpackungsindustrie, die chemische Industrie zur Herstellung von Pestiziden und Düngern sowie den Handel und die Zubereitung der Nahrungsmittel. Zwischen diesen einzelnen Gliedern der Nahrungsmittelkette fungiert der Transport als essenzielles Bindeglied (Wallgren und Höjer 2009: 5804). Das Nahrungsmittelsystem ist somit ein mit der gesamten Industriegesellschaft auf komplexe Art verbundenes System, das sich durch eine hohe Energieintensität auszeichnet. Die Energieintensität äußert sich auch in den Preisen: Steigt der Ölpreis, so steigen auch die Lebensmittelpreise (Abb. 9) (Ciaian und Kancs 2011: 326).

Abbildung 9: Welternährungsindex (FAO) vs. Ölpreis (Brent)



Quelle: Tverberg (2011b)

Die energetischen Inputs ermöglichen zwar relativ hohe Ernteerträge, aber die Methoden der industriellen Landwirtschaft sind energetisch ineffizient. Beispielsweise brachte der Weizenanbau nach Berechnungen von Pimentel et al. (2008: 143–144) in Kenia einen Ertrag von 1788 kg/ha und in den USA 2670 kg/ha; das Output/Input-Verhältnis (EROI), also die energetische Effizienz, war jedoch in Kenia mit 3,3:1 deutlich besser als in den USA mit 2,1:1. An diesem Beispiel – das lediglich den Energiebedarf des Agrarsektors und nicht des gesamten Nahrungsmittelsystems berücksichtigt – wird ein Trade-off zwischen Geschwindigkeit (hoher Ertrag pro Jahr)

und energetischer Effizienz deutlich. Wie Giampietro und Mayumi (2008: 190–191) anmerken, haben die einzelnen Bauern jedoch oft nicht die Wahl, eine *energetisch* effizientere Methode zu wählen, da Landwirte in den Industriestaaten eine Mindestprofitrate erzielen müssen, die auf einem *betriebswirtschaftlichen* Effizienzkalkül basiert. Denn Landwirte sind ebenso Unternehmer wie andere Produzenten, die – wie in Abschnitt 3.3.1 erläutert – für Investitionen (in Landmaschinen, Saatgut oder Ställe) Kredite aufnehmen und damit einem Wachstumszwang unterliegen. Dieser Wachstumszwang erfordert hohe jährliche Erträge. Bauern, die diesem Wachstumszwang weniger ausgesetzt sind, haben damit eine freiere Wahl, energetisch effizientere Methoden anzuwenden (vgl. Giampietro und Mayumi 2008: 189–191).

Es gibt zwei historische Beispiele, in denen die industrielle Landwirtschaft relativ abrupt vom Zugang zu billigem Erdöl und Erdgas abgeschnitten worden ist: Kuba und Nordkorea. Während des Ost-West-Konflikts erhielten beide Staaten subventioniertes Erdöl, Pestizide und Dünger aus der Sowjetunion und errichteten ein Landwirtschaftssystem, das in einem höheren Maße mechanisiert, bewässert und chemisch gedüngt war als das der USA (Wright 2009: 58). Mit dem Umbruch in der UdSSR (1989–1991) wurde die Abhängigkeit dieses Landwirtschaftssystems von den Erdöl- und Erdgasprodukten deutlich. Zu Sowjetzeiten exportierten Kuba und Nordkorea Agrargüter und importierten Erdöl- und Erdgasprodukte zu für sie günstigen Konditionen. Mit dem Ende der Subventionspolitik der Sowjetunion verschoben sich die Preisrelationen der Import- und Exportgüter *(terms of trade)* dramatisch. In Kuba sank der Import von Erdöl, Dünger und Pestiziden um 53–77 % (Wright 2009: 68), in Nordkorea verringerten sich die Erdöleinfuhren um 60 % (Pfeiffer 2006: 43). Die daraus resultierenden Energiekrisen führten zum Kollaps der industriellen Landwirtschaft und weiteten sich schnell zu Staatskrisen aus. Das nordkoreanische sozioökonomische System kollabierte und in den 1990er Jahren starben 600 000 bis 1 Mio. Menschen an Hunger, was etwa 3–5 % der Bevölkerung entsprach – eine der größten Hungerkrisen des 20. Jahrhunderts (Haggard und Noland 2009: 384). Während Nordkorea 20 Jahre nach dem Mauerfall seine Bevölkerung noch immer nicht ohne Getreide- und Düngerspenden aus dem Ausland er-

nähren kann, werden in der kubanischen Landwirtschaft zunehmend nachhaltigere Methoden angewendet, die die Ernährungssicherheit – etwa für Gemüse – etwas unabhängiger vom Ausland gestalten, auch wenn die Ernährungssouveränität bei Weitem nicht erreicht ist. Die Anwendung von nachhaltigeren Anbaumethoden ging nicht auf staatliche Initiativen zurück, sondern war eher die Folge des Mangels an Kraftstoff und Dünger (Wright 2009: 197). Langfristig bietet die nachhaltige Landwirtschaft[35] im Kontext von Peak Oil viele Vorteile, doch zeigt das Beispiel Kuba auch, dass es in der Übergangsphase schwierig erscheint, ähnlich hohe Erträge zu erzielen wie mit industriellen Methoden. Mit welcher Art Landwirtschaft sich langfristig ausreichende Erträge in guter Qualität erzeugen lassen, ist Gegenstand kontroverser Diskussionen (vgl. Doran 2007; Badgley et al. 2007; Staniford 2008; Jackson 2010; Holmgren 2002; Pommeresche 2004: 16).

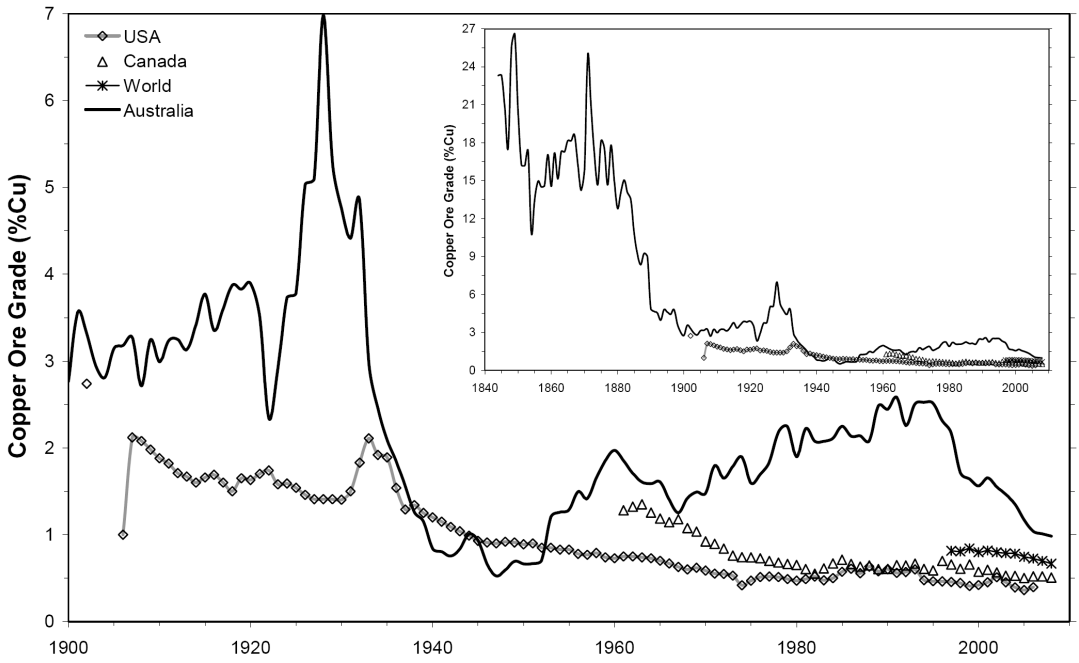
3.4.2 Bergbau

Der Stoffwechsel offener Systeme setzt sich aus Energie und Stoffen zusammen. Das offene System Industriegesellschaft ist neben den fossilen Energien insbesondere auf metallische Stoffe angewiesen. Metalle sind nicht erneuerbar, lassen sich – im Gegensatz zu Energie – jedoch teilweise, aber nie vollständig, recyceln. Allerdings benötigt das Recycling wiederum Energie. Grundsätzlich sind die Gesetzmäßigkeiten bei Metallen damit ähnlich wie bei fossilen Energien: Werden Metalle durch den Menschen genutzt, so nimmt die Entropie von Metallen im System Erde zu. Anders ausgedrückt: Die Konzentrationsgrade von Erzen (der sogenannte Erzgehalt) und damit ihre Qualität nimmt mit zunehmendem Abbau ab, da die qualitativ höherwertigen Lagerstätten zuerst abgebaut werden (siehe Abb. 10 für Kupfer; ähnliche Trends verzeichnen auch andere Metalle (Mudd 2009)).

Die abnehmenden Metallgehalte haben signifikante Auswirkungen auf die Energiemenge, die für den Ressourcenabbau und die Weiterverarbeitung benötigt werden (Norgate und Haque 2010). Geringere Metallgehalte benötigen mehr Ener-

35 Mit nachhaltiger Landwirtschaft ist nicht die zertifizierte Bio-Landwirtschaft gemeint. In vielen Bereichen ist auch die Bio-Landwirtschaft eine industrielle Landwirtschaft. Wirklich nachhaltige Anbaumethoden orientieren sich an den Prinzipien der Permakultur (Holmgren 2002).

Abbildung 10: Entwicklung des Kupferanteils nach Ländern und weltweit



Quelle: Mudd (2009: 4)

gie, da in einer Tonne Material weniger Metall vorkommt und somit mehr Material abgebaut und weiterverarbeitet werden muss, um die gleiche Metallmenge zu erhalten. Dieser Trend bestimmt seit Dekaden, in einigen Fällen sogar seit Jahrhunderten, den Abbau von Rohstoffen und wird sich in Zukunft eher verschärfen als abschwächen (IIER 2010). Somit wird wird der Energiebedarf im und die Umweltbeeinträchtigungen durch den Bergbau weiter steigen (Norgate und Haque 2010).

Für die Ressourcengewinnung werden insbesondere Diesel, Strom und Wasser sowie Sprengstoff benötigt: Im Tagebau wird das Erz zunächst gesprengt, dann von einem „Bagger“ in Minen-LKWs *(haul trucks)* verladen und von diesen aus der Mine transportiert. Allein die Dimensionen der eingesetzten Spezial-LKWs lassen erahnen, wie stark der Bergbau auf Erdöl angewiesen ist (Abb. 11). Zur Illustration des Trends im Bergbau sei ein Beispiel genannt: In der größten Kupfermine der Welt, der Escondida in Nordchile, wurden 2009 8 % der Weltkupferproduktion gefördert. Die LKW-Flotte dieser Mine besteht aus 75 Fahrzeugen, ähnlich des abgebildeten Typs. Der Kupfergehalt ging laut Angaben des Minenbetreibers von etwa 3 % 1993 auf etwa 1,2 % 2009 zurück (Minera Escondida Limitada 2010a: 11). Dies hat er-

Abbildung 11: Minen-LKW in einer Kupfermine in Chile

Quelle: Tonisalado (2009)

Anmerkung: Eckdaten eines ähnlichen Modells (Liebherr T 282): 230 t Eigengewicht; 350 t Ladekapazität, 14 m lang, 8 m breit, 7 m hoch; 3650 PS; Verbrauch: 174 l Diesel pro Stunde.

hebliche Auswirkungen auf den Energiebedarf: Allein im Zeitraum von 2005 bis 2009 verdoppelte sich der Dieselverbrauch pro Tonne produziertem Kupfer (Daten aus Minera Escondida Limitada 2010a, 2010b).

Es lässt sich festhalten: Bei der Ressourcengewinnung nimmt die Qualität der Lagerstätten – sei es Kupfer, Blei, Nickel, Bauxit, Gold oder Silber – mit zunehmender Förderung ab. Um die gleiche Menge Metall zu produzieren, muss stets mehr Material abgebaut und weiterverarbeitet werden. Dies führt zu einem Anstieg des Energie- und insbesondere des Erdölverbrauchs pro Tonne produziertem Rohstoff.

3.4.3 Transport

Dem Transport von Gütern und Personen kommt in der globalisierten Welt eine Schlüsselfunktion zu. Gemeinsam mit der Informationsübermittlung bildet er das „Schmiermittel“ der auf Arbeitsteilung und Just-in-Time-Logistik basierenden Wirtschaft. Die Energieträger für den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie für die See- und Binnenschifffahrt basieren weltweit zu 95 % auf Erdöl (Greene 2004: 179–

180; Bukold 2009b: 77–79). Diese nahezu vollständige Abhängigkeit blieb trotz Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren erhalten – ganz einfach deshalb, weil sich Diesel und Benzin nicht leicht substituieren lassen. Denn deren, für den Verkehr vorteilhaften Eigenschaften – hohe Energiedichte, Transportfähigkeit, relativ günstig – bietet kein anderer Energieträger. Diese mittelfristige Alternativlosigkeit wird außerdem an den negativen Seiten des Ölkonsums deutlich, die in Kauf genommen werden: Die Stichworte Klimawandel, Luftverschmutzung und Importabhängigkeit müssen an dieser Stelle genügen (vgl. Greene 2004: 180). Auch massive Effizienzanstrengungen seit den 1970er Jahren zeitigten in absoluten Zahlen keine Wirkung: Von 1970 bis 2000 verdoppelte sich der Ölverbrauch des Transportsektors (Greene 2004: 183).

In diesem Kapitel wurden die spezifischen Energieanforderungen der modernen Gesellschaften untersucht. Die Analyse hat u. a. gezeigt, dass zu jedem Zeitpunkt ein hoher Energiefluss bestehend aus einem spezifischen Energiemix – mit Erdöl als essenziellem Bestandteil – die komplexen Strukturen moderner Gesellschaften antreiben muss. Um eine Aussage über die Verwundbarkeit moderner Gesellschaften treffen zu können, wird im Folgenden die Erdölverfügbarkeit untersucht.

4 Biophysikalische Bedingungen: Die Grenzen des Erdöls

Die modernen Gesellschaften sind in ihrer derzeitigen Konstitution auf einen stetigen Erdölfluss angewiesen. In diesem Kapitel wird analysiert, ob dieser auch in Zukunft noch aus der biophysikalischen Umwelt gewonnen werden kann. Aus drei Gründen konzentriere ich mich auf die Energiequelle Erdöl: (1) Erdöl lässt sich kaum substituieren, (2) Erdöl hat den größten Anteil an der Energieversorgung der modernen Gesellschaften und (3) Erdöl ist die erste fossile Energieressource, die Erschöpfungstendenzen zeigt. Dieser dritte Punkt ist ausschlaggebend für die Relevanz des Themas. Ein Blick auf die Erdölgeschichte hilft, die Tragweite einer möglichen Erdölverknappung einzuschätzen.

4.1 Historie des Erdöls

Die kommerzielle Nutzung des Erdöls beginnt in den 1850er Jahren in Rumänien, Baku (Aserbaidschan) und Titusville (Pennsylvania, USA) (Bukold 2009a: 10). Das erste Massenprodukt aus Erdöl war Kerosin, das als Leuchtmittel diente und das bis dahin verwendete Walöl ablöste. Die Entwicklung des Verbrennungsmotors brachte dem Erdöl, in Form des Raffinerieprodukts Benzin, ab der Jahrhundertwende eine neue Anwendungsform als Kraftstoff. Damit setzte die Verlagerung des Individualverkehrs von der Kutsche auf das Auto ein und das Erdölzeitalter begann.

Im Verlauf des 20. Jahrhunderts prägte die Nutzung von Benzin und Diesel den Strukturwandel zunächst in den Industrieländern und dann auf der ganzen Welt. In den beiden Weltkriegen wandelte die Erdölanwendung die Kriegsführung signifikant und die Verfügbarkeit von Erdöl bekam eine entscheidende Bedeutung für den Her- und Ausgang der Kriege (vgl. Yergin 1991: 167–183, 303–388), auch wenn Kohle weiterhin die bedeutendste Energiequelle war. In Westeuropa und den USA änderte sich Letzteres in der Nachkriegszeit: Bestritt Kohle in Europa 1955

noch 75 % des Primärenergieverbrauchs und Erdöl nur 23 %, so kehrte sich dieses Verhältnis innerhalb von 17 Jahren geradezu um: Kohle trug 1972 zu 22 %, Öl zu 60 % zur Energieversorgung bei (Bukold 2009a: 22). Erdöl setzte sich in den Industriestaaten (USA, Westeuropa, Japan, Sowjetunion) besonders im Verkehrs-, Strom- und Heizsektor durch. Während sich die Sowjetunion selbst versorgen konnte, waren die USA trotz starker heimischer Förderung zunehmend von Importen aus Venezuela und Mexiko abhängig, während Westeuropa nahezu vollständig auf Erdölimporte angewiesen war, insbesondere aus Nordafrika und dem Nahen und Mittleren Osten.

In den 1970er Jahren wurde die bis dahin exponentiell steigende Ölnachfrage erstmals nicht durch das Angebot gedeckt. Zum einen führte eine Verstaatlichungswelle in den OPEC-Ländern zu einer Eigentumsverschiebung der Erdölquellen von den westlichen Ölkonzernen zu den Förderländern. Zum anderen erreichte 1970 die Erdölförderung in den USA mit 11,3 Mio. Barrel pro Tag (mb/d) ihr Maximum (Peak). Die rückläufige US-Förderrate bedeutete, dass Angebotsausfälle in anderen Ländern nicht mehr durch die USA ausgeglichen werden konnten, wie dies z. B. während der „Ölkrise" von 1951 möglich war, als die iranische Ölproduktion, die 6 % der globalen Nachfrage deckte, auf null fiel (Bukold 2009a: 26).[36]

1973/74 und 1979/80 führten die sogenannten „Ölpreiskrisen" der Öffentlichkeit in den Industriegesellschaften ihre Abhängigkeit vom Öl der OPEC vor Augen. Scheiterte 1967 noch ein Boykottversuch durch die arabischen Staaten als Reaktion auf den Sechstagekrieg zwischen Israel und seinen Nachbarn, so war der Lieferboykott durch die OPEC-Staaten 1973 erfolgreich. Der Rückgang der Öllieferungen konnte weder durch die westlichen Ölkonzerne (aufgrund der Verstaatlichungen) noch durch die USA (aufgrund ihrer mangelnden Kapazität infolge des nationalen Peak Oil) ausgeglichen werden, wodurch erstmals eine Angebotsverknappung den

36 1951 verstaatlichte der demokratisch gewählte Premierminister Irans, Mohammed Mossadegh, die heimische Ölindustrie, die bis dahin unter Kontrolle des britischen Konzerns Anglo-Iranian (später BP) stand. Daraufhin setzte die britische Regierung ein Ölembargo gegen den Iran durch, wodurch dessen Ölvertriebsnetz unterbrochen wurde. Dies brachte die Ölindustrie zum Erliegen.

Ölmarkt kennzeichnete, was zu einer Ölpreissteigerung[37] von 2,90 US-$ auf 12 US-$ führte (Bukold 2009a: 32–46). Starke Wirtschaftskrisen in fast allen Industrie- und ölimportierenden Entwicklungsländern waren die Folge.

Hiernach stieg die Erdölnachfrage in den Industrieländern nur noch mäßig. Die hohen Preise und die psychologische Wirkung bedingt durch die Abhängigkeitswahrnehmung und den Bericht *Die Grenzen des Wachstums* des Club of Rome (Meadows et al. 1972) begünstigten Effizienzmaßnahmen und die Substitution von Erdölprodukten. Letzteres machte sich insbesondere im Heizsektor und in der Stromerzeugung bemerkbar. Tendenziell stieg die Nachfrage (und entsprechend die Förderung) zwar weiter, aber das exponentielle Wachstum von jährlich etwa 6 % war vorüber. Prozentual ging in den OECD-Staaten der Anteil des Erdöls am Primärenergieverbrauch bis 2008 auf durchschnittlich 38 % zurück (OECD und IEA 2011).

Die hohen Ölpreise in den 1970er Jahren bewirkten neben Effizienzmaßnahmen auch einen regelrechten Boom der Ölförderung (Yergin 1991: 715). Die Erdöl- und Erdgasförderung expandierte nach Alaska, in die Nordsee und ins sogenannte Tiefwasser (Golf von Mexiko), also in Meerestiefen jenseits von 500 m. Die Expansion der Erdölförderung in bis dato unerschlossene Gebiete, der geringe globale Nachfragezuwachs von „nur“ 1–3 % jährlich (vgl. Bukold 2009a: 54) sowie die Anhebung der Förderrate durch die OPEC trugen zu einem Erdölüberangebot und entsprechend tiefen Ölpreisen zwischen 9 und 25 US-$ bei (Bukold 2009a: 286).[38] 2004 begann der Ölpreis wieder steil zu steigen. Aber als Ursache für diese dritte „Ölpreiskrise“ wird nicht eine Angebotsreduktion, sondern eine verstärkte Nachfrage insbesondere aus China und Indien angesehen (Schlesinger 2010), was einen Wen-

37 Es gibt nicht nur einen Ölpreis: In den USA setzte sich als Referenzpreis der Preis der Ölsorte Western Texas Intermediate (WTI) und im Rest der Welt die Nordseesorte Brent durch. Im Folgenden bezieht sich der Begriff *Ölpreis* stets auf den Preis für Brent.

38 Die tiefen Ölpreise führten zu starken Einnahmeverlusten der ölexportierenden Staaten, was insb. die Sowjetunion (SU) hart traf. 1986 erlebte die SU ihren vorläufigen nationalen Peak Oil und konnte ihre Deviseneinnahmen entsprechend nicht über eine Mengenausweitung steigern. Die Kombination aus dem Peak Oil der SU und dem niedrigen Ölpreis in dieser Zeit trug – neben dem aufgeblähten Militärbudget – maßgeblich zur ökonomischen Schieflage und damit letztlich zum Kollaps der SU bei (vgl. Orlov 2008).

depunkt in der Geschichte des Ölmarktes bedeutet (zur aktuellen Situation vgl. Abschnitt 4.5).

4.2 Definition von Öl

Öl ist nicht gleich Öl. Der Streit darüber, ob die Zeit des billigen „Öls“ vorüber sei (Campbell und Laherrère 1998) oder ob das 21. Jahrhundert von „fossilen Brennstoffen“ dominiert werde (Odell 2010), entzündet sich teils an auseinandergehenden Definitionen der zugrunde liegenden Energierohstoffe.

Erdöl besteht – ebenso wie Erdgas und Kohle – aus einer Zusammensetzung von Kohlenstoff- und Wasserstoffmolekülen. Das Ausgangsmaterial von Erdgas und Erdöl waren vermutlich Algen (von Kohle hingegen auch terrestrische organische Materialien), die sich in einer sehr warmen Phase der Erdgeschichte – dem Jura – gebildet haben (Campbell et al. 2007: 14). Abgestorbenes Algenmaterial sank zum Meeresboden; dort, wo Senkungsgräben relativ stabile Bedingungen boten, konzentrierte es sich. Dies und die Überdeckung mit weiteren Sedimenten verhinderten den Abbau des organischen Materials. Unter Einfluss von Druck und Wärme wandelte es sich je nach Lagerstättencharakteristik in Erdgas (gasförmig), Erdöl (flüssig) oder Bitumen (fest) (Bukold 2009a: 65; Campbell et al. 2007: 14–15).

Es kann daher gemäß Aggregatzustand zwischen flüssigem Öl (Rohöl, *Crude Oil*) und nichtkonventionellem Öl (Bitumen, Teersand), das zähflüssig bis fest ist, unterschieden werden. Diese Abgrenzung der verschiedenen Erdölformen ist auch mit der definitorischen Trennung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) kompatibel, nach der die Grenze zwischen Rohöl und nichtkonventionellem Öl anhand der zur Förderung benötigten Technik definiert ist (BGR 2009: 18). Der flüssige Aggregatzustand von Rohöl erlaubt, dieses an die Oberfläche zu pumpen, während zähflüssig bis festes nichtkonventionelles Öl bergmännisch abgebaut werden muss.[39] Neben dieser technischen Definition wird auch ökonomisch

39 Erdgas wird meist gemäß Technik klassifiziert: Das als konventionell definierte Erdgas strömt selbstständig durch ein einmal gebohrtes Loch nach oben; für die Gewinnung von nichtkonventionellem Erdgas müssen Gesteinsformationen mithilfe von Chemikalien und hohem Druck aufgebrochen werden *(fracking)*, damit das Gas nach oben strömt.

zwischen Erdölvorkommen unterschieden: Der Begriff *Easy Oil* (Rose 2011[40]) bezeichnet billig zu förderndes Rohöl (dazu gehört bspw. nicht das *Crude Oil* in der Arktis oder in sehr großen Meerestiefen). Diese Differenzierungen sind äußerst relevant, da andernfalls leicht Missverständnisse auftreten können. Gerade bei der Diskussion über Peak Oil ist es notwendig, die jeweilige Öldefinition explizit zu nennen.

4.3 Peak Oil

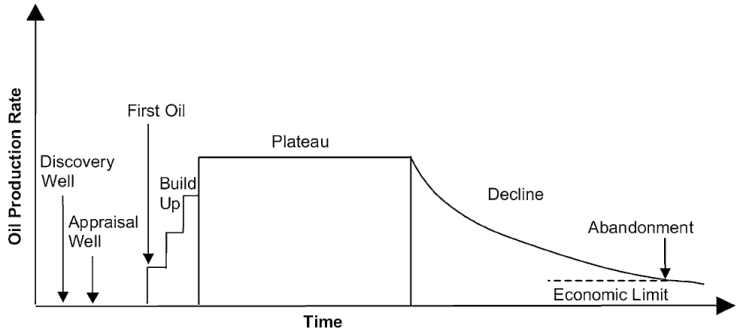
Der Erdölgeologe Marion King Hubbert sagte 1956 korrekt voraus, die US-amerikanische Ölproduktion werde um 1970 sein Fördermaximum erreichen (Hubbert 1956). Seine Prognose beruhte auf seiner Beobachtung als Erdölingenieur, dass die Förderung endlicher Ressourcen (wie Rohöl) in der Initiierungsphase dazu tendiert, exponentiell zu steigen, da die Anzahl der Förderanlagen stetig erhöht wird. Aufgrund physikalischer Grenzen kann jedoch keine endliche Ressource ein solches Wachstum lange aufrechterhalten (Hubbert 1956: 8). Ab einem gewissen Punkt (dem Peak[41]) fällt die täglich geförderte Menge aufgrund des Druckverlustes im Ölfeld stetig ab. Idealtypisch ist dieser Punkt erreicht, sobald etwa die Hälfte des förderbaren Rohöls (URR[42]) gefördert worden ist. Die idealtypische Förderkurve einer Region ähnelt einer Glockenkurve; sie wird nach seinem Erfinder heute *Hubbertkurve* genannt.

40 Karl Rose ist strategischer Berater des World Energy Council und war viele Jahre Chef-Stratege bei Shell International B. V. Am 23. Juni 2011 führte ich mit ihm ein Experteninterview zu Peak Oil.

41 Es gibt mindestens drei verschiedene Peak-Konzepte. In dieser Arbeit beziehe ich mich stets auf den sogenannten *empirischen Peak*, also die historisch maximale Ölförderung. Das Konzept *Peak der Kapazität* definiert den Peak als die maximale Höhe der genutzten und freien Förderkapazitäten. Nach dem Konzept *Peak-Potenzial* ist als Peak die maximal mögliche Förderung beim heutigen Stand der Technik anzusehen. Hier wird also versucht, Förderreduktionen aufgrund politischer Faktoren (etwa dem Irakkrieg) herauszurechnen. Wirkliche Relevanz hat für meine Fragestellung jedoch nur das geförderte Erdöl. Zudem können die jeweiligen Peak-Konzepte auf unterschiedliche Grundgesamtheiten angewandt werden: Auf Rohöl, *Easy Oil* oder *All Liquids*.

42 Aus einem Ölfeld kann nicht sein vollständiger Inhalt gefördert werden. Durch die Förderung verringert sich der Druck in der Lagerstätte, was dazu führt, dass im Durchschnitt nur 27–35 % des Öls gefördert werden können; in Spitzen jedoch auch 60 % (Bukold 2009a: 163–164). Die Mengenangaben zu Reserven beziehen sich stets auf das förderbare Öl (ultimately recoverable resource, URR).

Abbildung 12: Theoretisches Förderprofil eines einzelnen Rohölfeldes

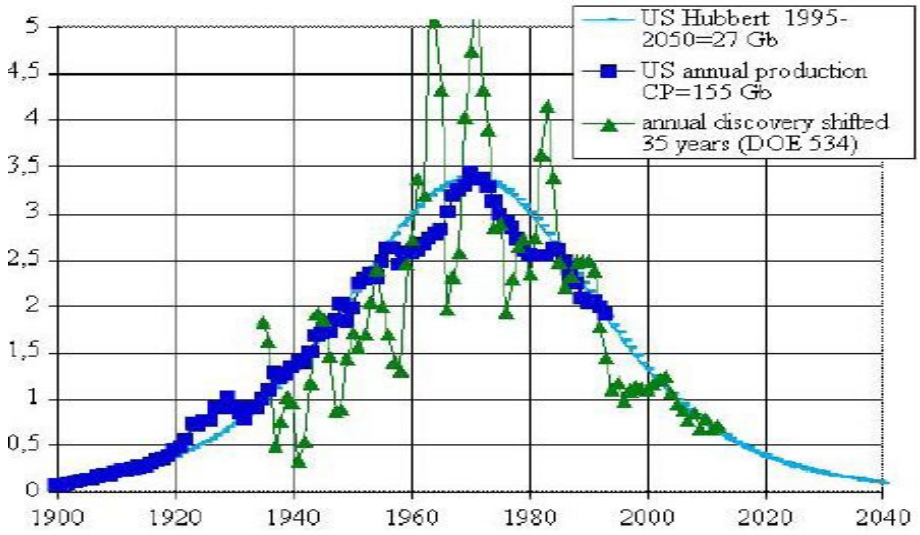


Quelle: Höök et al. (2009a: 42)

Die Förderkurve einer Region setzt sich aus vielen einzelnen Feldern zusammen. Wie Abb. 12 zeigt, muss jedes Feld zunächst entdeckt und angebohrt werden, bevor Öl fließt. Durch weitere Bohrungen wird die Rohölförderung ausgeweitet. Das Förderniveau verbleibt auf einem Plateau, bis der Druck im Feld abfällt und die Förderrate allmählich abnimmt.

Empirisch folgten Förderregionen wie die Nordsee oder das US-Festland (Abb. 13) der theoretischen Huppertkurve erstaunlich genau (vgl. Brown und Fou-

Abbildung 13: Hubbertkurve, Erdölförderung und (zeitlich verschobene) Entdeckungen in den USA (lower 48)



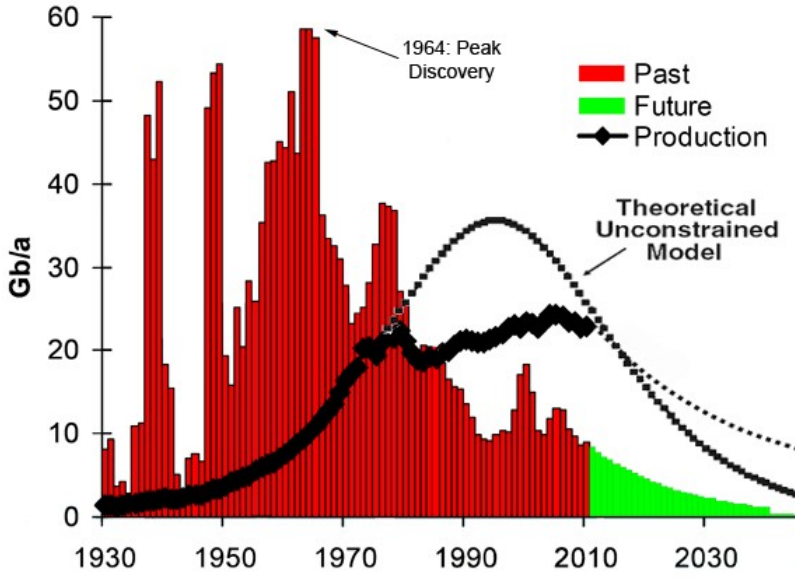
Quelle: Mauriaud (2011: 4)

Anmerkung: Die Erdölproduktion auf dem US-Festland (ohne Alaska) folgt recht genau dem Hubbertmodell. Die Entdeckungen bilden auch einen Hubbertkurve, die der Produktionskurve 35 Jahre vorausgeht. Zur Verdeutlichung wurden in dieser Grafik die Entdeckungen um 35 Jahre verschoben.

cher 2010). Bei anderen Regionen ist hingegen keine Glockenkurve erkennbar. Dies zeigt: Das Hubbertmodell gilt, wie jedes Modell, nur unter spezifischen Bedingungen. Bezogen auf die globale Förderkurve schränken mehrere Faktoren die Gültigkeit des Modells ein (vgl. Bukold 2009a: 159–162):

- Politisch: Die Förderung wird politisch gedrosselt (z. B. durch die OPEC), streckt sich daher über einen längeren Zeitraum und verbleibt auf einem geringeren Niveau. Auch beeinträchtigen regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. Abgaben, Umweltauflagen) die Attraktivität von Investitionen in die Ölförderung, wodurch der Förderausbau hinter der Theorie zurückbleibt.
- Technisch: Engpässe bei Personal und Ausrüstung begrenzen die Geschwindigkeit der Ausbeutung (z. B. in tiefen Wassern oder in der Arktis).
- Ökonomisch: Die globale Wirtschaft muss das Angebot auch nachfragen, damit nah am Limit produziert und in die Förderung investiert wird. Ein Preiseinbruch wie während globaler Wirtschaftskrisen reduziert die Investitionen in Förderprojekte und wirkt sich negativ auf das langfristige Angebot aus (Rose 2011).

Abbildung 14: Entdeckungen, theoretische und real Förderung (Crude Oil)



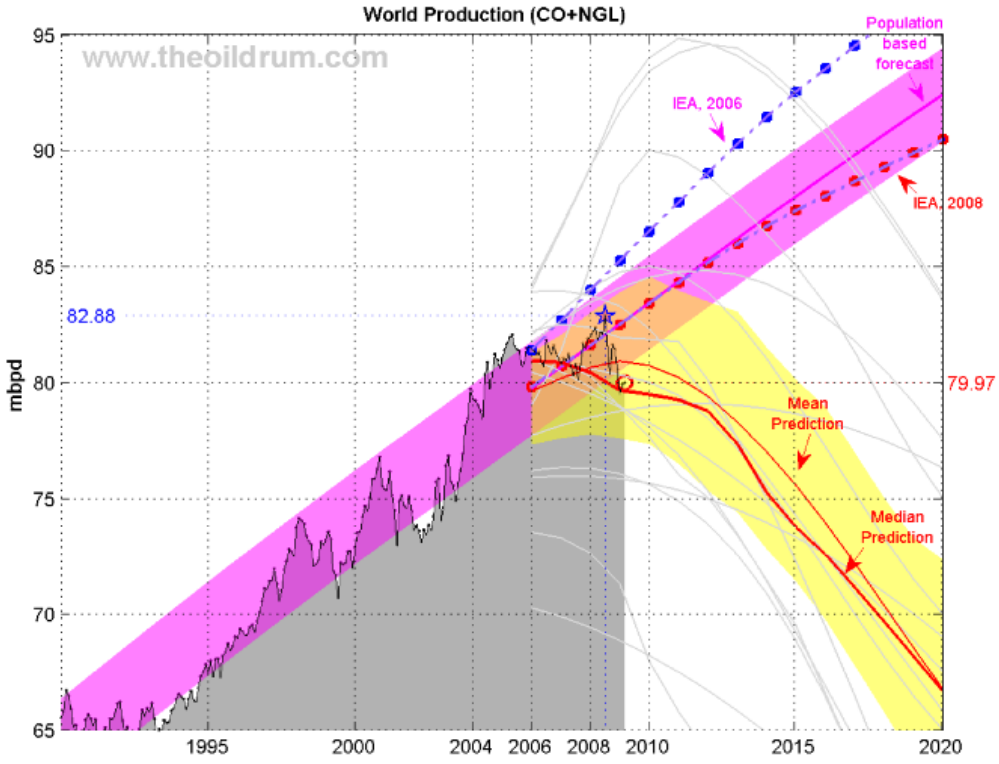
Quelle: Eigene Darstellung nach Campbell (2011) und Bentley (2009: 118)

Anmerkung: Der Peak der Erdölentdeckungen war 1964; seitdem wird jedes Jahrzehnt weniger Rohöl gefunden. Ab 1973 weicht die reale Förderung vom theoretischen Hubbertmodell ab. Für Crude Oil besteht seit etwa 2004 ein Förderplateau mit einer 4 %igen Fluktuation.

Aufgrund dieser und anderer Variablen (vgl. Bardi 2011) weicht die globale Förderrate von der modellhaften Glockenkurve erheblich ab (vgl. die beiden schwarzen Linien in Abb. 14). Dies ändert jedoch nichts daran, dass die Förderung von *Crude Oil* irgendwann zurückgehen muss. Denn Rohöl, das gefördert werden soll, muss bereits gefunden worden sein; die Entdeckungen sind jedoch seit 1964 rückläufig (Abb. 14).

Beschränkt sich die Debatte auf Rohöl *(Crude Oil)*, so verdichtet sich die Meinung, dass die globale Förderrate nicht viel weiter gesteigert werden kann (Foucher 2009; Rose 2011). Diese Übereinstimmung war vor wenigen Jahren nicht in Sicht. Noch 2006 basierte die Prognose zur zukünftigen Erdölförderung der International Energy Agency (IEA 2006: 65, 95) ausschließlich auf der Nachfrage (vgl. den magentafarbenen Streifen in Abb. 15). Diesem sogenannten „ökonomischen" Ansatz widersprechen die „Geologen" in der Tradition von Hubbert, deren Prognosen auf dem Angebot basieren (gelber Streifen in Abb. 15). Heute akzeptieren auch einfluss-

Abbildung 15: Darstellung unterschiedlicher Weltrohölprognosen



Quelle: Foucher (2009)

Anmerkung: Die Grafik ist nicht auf null skaliert.

reiche ehemalige Peak-Oil-Skeptiker den Peak von Rohöl (vgl. IEA 2010).[43] Dennoch bleibt weiterhin die Frage strittig, ob Substitute wie nichtkonventionelles Öl, synthetische Kraftstoffe auf Kohle- oder Erdgasbasis oder Agrartreibstoffe in der Lage sind, den Rückgang des Rohöls kurz- bis mittelfristig auszugleichen oder sogar überzukompensieren.[44]

Seit 2004 befindet sich die Förderung von Rohöl auf einem Förderplateau mit einem maximalen Output von 73–75 mb/d. Inklusive des nichtkonventionellen Öls *(All Liquids)* liegt die Produktion mit 85–88 mb/d etwa 10–13 mb/d darüber (Foucher 2009; ASPO Netherlands 2010).

Ob nichtkonventionelles Öl den Rückgang der Rohölförderung wird ausgleichen können, hängt weniger von den reichlich vorhandenen Vorkommen ab, als vielmehr von den Investitionen in Förderprojekte (vgl. Rose 2011) und der Förderrückgangsrate des *Crude Oil* (vgl. Abschnitt 4.4 und 4.5). Die Investitionen werden getätigt, wenn ein gutes Investitionsklima – sprich: hohe Ölpreise und ein starkes globales Wirtschaftswachstum – herrscht.

Gemäß „seriösen Prognosen“[45] kristallisiert sich heraus, dass das *All-Liquids*-Plateau nicht mehr lange aufrecht erhalten werden kann und die Ölproduktion trotz Teersandabbau, synthetischen und Agrarkraftstoffen sowie Tiefseeförderung abfällt (Aleklett et al. 2010, zu den Potenzialen der Alternativen s. Abschnitt 4.4). Dieser Förderrückgang wird angenommen, da ein Großteil der derzeit produzierenden großen Felder *(giant oil fields)* bereits scharfe Rückgangsraten der Förderung ver-

43 Für eine knappe, aber präzise Auseinandersetzung mit den Einwänden der „Ökonomen“ gegenüber Peak Oil vgl. Murphy und Hall (2011: 62–63).

44 Elektromobilität und Wasserstoff sind möglicherweise langfristige Alternativen und werden in Abschnitt 5.3.1 behandelt. Zudem gibt es Erfindungen wie z. B. *solar-to-fuel* (Chueh et al. 2010), die erahnen lassen, welche technischen Möglichkeiten in Zukunft existieren. Ob solche technischen Möglichkeiten jedoch zu ökonomischen reifen, ist ungewiss.

45 Seriöse Prognosen werden nach wissenschaftlichen Standards, ohne die Beeinflussung von Politik- und Wirtschaftsinteressen, erstellt. Die Seriosität von Erdölförderprognosen offizieller Institute ist sehr fraglich (für eine ausführliche Kritik vgl. Jakobsson et al. 2009). Für eine konkrete Kritik der Annahmen des IEA World Energy Outlook (WEO) 2008 vgl. Aleklett et al. (2010) und des WEO 2010 vgl. Tverberg (2010). Für die politische Beeinflussung des WEO vgl. Badal (2010). Allerdings können auch seriöse Prognosen nur so gut sein, wie die zugrunde liegenden Daten. Und gerade im Ölsektor liegen die Daten bei den Konzernen. Da die Personen, die Zugang zu den Daten haben und wirklich Bescheid wissen, sich nicht zur zukünftigen Förderung äußern, spricht Rose (2011) von einer „Mauer des Schweigens“. Dies erschwert die akademische Forschung erheblich.

zeichnen (Höök et al. 2009b: 2264) und Investitionen, die zu deren Ausgleich nötig wären, nicht in ausreichendem Maße getätigt werden (können).[46] Da gute Daten zu Erdölförderung und -reserven nicht zugänglich (Rose 2011) oder interessengeleitet verzerrt sind (Hirsch 2007: 7), ist eine Aussage über den präzisen Verlauf der zukünftigen Weltölförderung nicht möglich. Als Zwischenergebnis lässt sich jedoch festhalten: Die Förderung von *Crude Oil* verharrt seit 6 Jahren auf einem Plateau mit einer 4 %igen Fluktuation (Höök et al. 2009b: 2263). Der Förderabfall von *Crude Oil* kann durch Investitionen zur Förderung von nichtkonventionellem Öl nur abgeschwächt, aber nicht kompensiert werden; höchst wahrscheinlich beginnt der *All-Liquids*-Förderrückgang vor 2015 (Aleklett et al. 2010).

4.4 Abnehmende Erdölqualität

Das Konzept Peak Oil bezieht sich ausschließlich auf die Menge des geförderten Öls. Es wird also die in Volumen angegebene Quantität der *extrahierten* Energieressource erfasst, nicht jedoch die für die Förderung *eingesetzte* Energie. Das in Abschnitt 3.2.3 eingeführte EROI-Konzept trifft eine Aussage über die Energie*qualität*. Mithilfe dieses Konzepts lässt sich darstellen, wie sich der energetische Überschuss entwickelt, mit dem die gesellschaftlichen Strukturen erhalten werden. Wie bereits gesagt, ist EROI das Verhältnis zwischen der Energie die mittels des Förderprozesses gewonnen wird und der Energie, die in diesem Prozess eingesetzt wird.[47] Auch wenn das Konzept sehr anschauliche Ergebnisse (nämlich Zahlen) liefert, so sollten diese aufgrund von Unregelmäßigkeiten bei der Datenerhebung[48] mit Vorsicht genossen werden. Aussagekräftiger als genaue Zahlen sind daher die Trends.

46 Die Förderungsausweitung wird nicht primär geologisch, sondern insbesondere durch technische, politische und ökonomische Faktoren beeinträchtigt. Beispielsweise erklärte Al-Husseini, ein ehemalige Mitarbeiter des saudiarabischen Aramco-Erdölkonzerns, dem US-Botschafter in Riad, dass die saudische Förderung begrenzt sei durch: „a lack of available skilled engineers, a shortage of experienced construction companies, insufficient refining capacity, underdeveloped industrial infrastructure, and a need for production management (if too much oil is extracted from a well without proper planning and technique, a well's potential output will be significantly damaged)" (US-Botschaft Riad 2007, zugänglich durch Wikileaks).

47 EROI ist nicht zu verwechseln mit der Umwandlungseffizienz, die sich auf die Umwandlung von einer Energieform in eine andere bezieht (z. B. Erdöl in Benzin) (Murphy und Hall 2010: 102).

Crude Oil: Die EROI-Schätzungen für flüssiges Rohöl weisen einen deutlich negativen Trend auf, der auch plausibel erklärt werden kann: Um 1930 wurde in den USA Erdöl mit hölzernen Bohrtürmen gefördert. Das Öl lag in Texas dicht unter der Erdoberfläche, sodass es mit geringem energetischen und finanziellen Aufwand gefördert werden konnte. Hall et al. (2003: 320) schätzen einen Wert von 100:1. 1970 waren die einfachsten Lagerstätten bereits in Betrieb und der Aufwand wuchs, neue Felder zu finden und das Öl aus diesen heraus zu pumpen. Hier kann ein EROI-Wert von 30:1 angenommen werden – eine deutliche Verschlechterung. Seitdem nimmt der technische Aufwand stetig zu. Inzwischen werden für neue Felder hoch komplexe und technisch ausgeklügelte Bohr- und Förderplattformen im Meer errichtet; hier liegt das EROI-Verhältnis – je nach Definition der Energiekosten – „nur" noch zwischen 25:1 und 9:1 (Gately 2007). Im globalen Durchschnitt lag das EROI-Verhältnis 2006 bei etwa 18:1 (Gagnon et al. 2009: 490). Allerdings sind hier die Transportkosten noch nicht eingerechnet, sodass für die importierenden Länder das Verhältnis geringer ausfällt. Im Kontext von neuen Tiefwasserprojekten, wie vor Brasilien in mehr als 2000 m Meerestiefe, und neuen Sicherheitsauflagen durch Deepwater Horizon dürfte der energetische Überschuss in Zukunft weiter sinken.

Nichtkonventionelles Öl: Viele Hoffnungen ruhen auf der Kraftstoffproduktion aus Teersand, Schwerstöl oder Ölschiefer. Insbesondere Kanada (Teersand) und Venezuela (Schwerstöl) haben gigantische Vorkommen dieses nichtkonventionellen Öls. Betrachtet man ausschließlich die Vorkommen (ob Reserven oder Ressourcen), so ist auf absehbare Zeit keine Knappheit erkennbar. Ausschlaggebend für die Versorgung von Gesellschaften mit flüssigen Kraftstoffen ist aber nicht das Erdölvorkommen im Boden, sondern der ständige Energiefluss. Die Umwandlung von Teersand in flüssiges Öl benötigt viel Energie, ein gutes Investitionsklima und Zeit: Teer-

48 Zur Bestimmung des EROI müssen die energetischen Kosten der Energiegewinnung identifiziert und quantifiziert werden. Als energetische Kosten gelten alle Aktivitäten, die für die Umwandlung der in der Erde befindlichen Ressource in eine für den Menschen nutzbare Form nötig sind (Gately 2007: 356). Dazu gehören im Fall von Öl u. a. Exploration, Förderung, Verarbeitung, Lagerung und der Transport. Darüber hinaus können auch die energetischen Kosten der Umweltzerstörungen eingerechnet werden. Dies erweist sich jedoch als schwierig, da die ökologischen Kosten räumlich und zeitlich nicht dort auftreten, wo der Nutzen anfällt – dies wird im Fall der Deepwater Horizon deutlich. Wie Gately anmerkt, existiert derzeit „no standard procedure for determining net energy, and so the data are extremely limited and inconsistent" (Gately 2007: 355).

sand wird nicht gepumpt, sondern bergmännisch abgebaut (vgl. hierzu den Ölverbrauch im Bergbau, Abschnitt 3.4.2), hiernach muss der Teersand mithilfe von Erdgas erwärmt werden, um das Öl aus dem Sand herauszulösen. Die energetische Ausbeute der kanadischen Teersände liegt bei einem Verhältnis von etwa 2–5:1 (Hagens 2008; Murphy und Hall 2010: 109). Auch finanziell werden laut Nelder (2007a) Teersandprojekte in Kanada nur initiiert, da die erhobenen Steuern deutlich geringer sind als bei der Förderung von Rohöl. Trotz dieser indirekten Subventionierung verharrt die Kraftstoffproduktion aus Teersand bei etwa 1 mb/d. Aufgrund von Inputbeschränkungen (insbesondere mangelndes lokal verfügbares Erdgas) wird die Produktion vermutlich nie 2 mb/d übersteigen (Hagens 2008). Dies zeigt erneut: Nicht die Reserven sind die relevante Größe, sondern der durch Inputfaktoren beschränkte Energiefluss. Das Gesamtbild der globalen Ölförderkurve ändert sich durch nichtkonventionelles Öl geringfügig und den Gesellschaften stehen durch diese Förderprojekte nur marginale energetische Überschüsse zur Verfügung, die zudem durch massive Umweltzerstörungen und einen exorbitanten Wasserverbrauch erkauft werden (Nelder 2007a, 2007b). Nichkonventionelles Öl ist aufgrund seines geringen Outputs und des geringen energetischen Überschusses somit weder kurz- noch langfristig in der Lage, konventionelles Öl zu ersetzen und die Energieanforderungen komplexer Gesellschaften zu erfüllen.

Agrarkraftstoffe: Das Ergebnis vorweg: Agrarkraftstoffe stellen keinen Ersatz für Erdöl dar. Die Subventionierung dieser Produkte durch die EU und die USA ist aus Sicht von Giampietro und Mayumi (2009) vielmehr eine großangelegte Täuschung. Denn sowohl die Begründung der Subventionen mit dem Klimawandel und der Erdölknappheit als auch das Argument der Förderung der ländlichen Entwicklung halten einer Überprüfung nicht stand (Giampietro und Mayumi 2009). Hier beschränke ich mich auf das Argument der Agrartreibstoffe als Substitut für Erdöl. In der wissenschaftlichen Debatte wurden in der letzten Dekade etliche EROI-Studien zu Mais-Ethanol und anderen Agrartreibstoffen angefertigt (Murphy et al. 2010; Hammerschlag 2006; Giampietro und Mayumi 2009; Pimentel und Patzek 2008a; Papong et al. 2010; Pimentel 2003). Die Ergebnisse liegen bei Getreide-Ethanol zwi-

schen 0,8:1 und 1,6:1 (Murphy und Hall 2010: 109). Etwas besser schneiden die Agrartreibstoffe in Brasilien ab: Die Ethanolproduktion aus Zuckerrohr in den Tropen hat aufgrund günstiger klimatischer Bedingungen mit einem EROI von durchschnittlich 4:1 die vermutlich beste Energiebilanz aller Agrarkraftstoffe (Ayres 2008: 20).[49] Nicht eingerechnet sind in diesen Bilanzen die Umweltschäden und die zurückgehende Bodenqualität aufgrund der industriellen Anbaumethoden, die weitere meist langfristige Kosten verursachen. Ein EROI um 1:1 bedeutet einen energetischen „Nullgewinn": Für den Anbau, die Behandlung und die Ernte der Feldfrüchte sowie für deren Weiterverarbeitung zu Ethanol oder Biodiesel wird in etwa ebenso viel Energie eingesetzt, wie am Ende des Prozesses in Form von flüssigem Kraftstoff vorliegt. Für die Gesellschaft hat dieser Prozess also keinen *energetischen* Mehrwert. Hingegen sieht die Bilanz für die Produktion von *flüssigem Kraftstoff* etwas besser aus, denn die energetischen Inputs setzen sich aus Elektrizität, Erdgas (N-Dünger) und nur zu einem Teil aus Erdöl zusammen. Durch die Produktion von Agrartreibstoffen (in mittleren Breiten) wird also zwar kaum Energie gewonnen, aber verschiedene Energieträger werden in flüssigen Kraftstoff umgewandelt. Weltweit lag die Produktion 2010 bei 1,8 mb/d, also etwa 2 % der Brutto-Weltölförderung (Bardi 2011). Doch bereits bei dieser geringen Bruttomenge sind die Bedenken aufgrund der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion erheblich (Holt-Giménez 2007; Ciaian und Kancs 2011; Ajanovic 2011). Angesichts des geringen Potenzials der Agrarkraftstoffe und der Umweltprobleme, die diese mit sich bringen, dürfte der wichtigste Grund für die milliardenschwere Subvention eine Interessenpolitik im Sinne der industriellen Landwirtschaft und der Chemieindustrie sein (Giampietro und Mayumi 2009).

Synthetische Kraftstoffe: Als Lösung für die Erdölknappheit gelten zuweilen auch die Kohleverflüssigung (Coal to Liquids, CtL), die Erdgasverflüssigung (Gas to Liquids, GtL) oder die Biomasseverflüssigung (Biomass to Liquids, BtL). All diese

49 Im Fall von Zuckerrohr-Ethanol in Brasilien gehen die Berechnungen des EROI weit auseinander. Oft können geringe Unterschiede in den Annahmen, bspw. im Verbrauch von Landwirtschaftsmaschinen, zu erheblichen Differenzen im Resultat führen. Die Extreme reichen von 2,3:1 bis 8,8:1 (Pimentel und Patzek 2008b: 367; Boddey et al. 2008: 343).

„Alternativen“ sind technisch machbar, weisen jedoch auch Probleme auf: Die energetischen Überschüsse sind gering (EROI von etwa 2–5:1, wobei gute Daten fehlen) und oftmals werden die jeweiligen Ressourcen schon für andere essenzielle Dinge (Stromerzeugung, Wärme, Nahrung) genutzt. Hinsichtlich Kohle stellen Croft und Patzek fest: „there is no spare coal production capacity of the size required for massive coal conversion to liquid transportation fuels“ (Croft und Patzek 2009: 173). In Südafrika, wo ausreichend Kohle verfügbar ist, benötigte das damalige Apartheidsregime – das mit einem Ölboykott belegt wurde – drei Jahre, um die CtL-Produktionskapazität um 0,1 mb/d zu erweitern, obwohl sie die Technik beherrschten und keine Umweltstandards einhalten mussten (Hirsch 2007: 9). Im Kontext dieser Erfahrungen gehen optimistische Prognosen von einer CtL-Produktion von 1 mb/d im Jahr 2030 aus (vgl. OECD und IEA 2008; Aleklett et al. 2010: 1410). Für BtL gilt ähnliches wie für die Agrartreibstoffe erster Generation: Es steht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion (Ciaian und Kancs 2011) und hat damit ein begrenztes Potenzial. GtL wird auch eher unwesentlich (optimistisch: 0,65 mb/d im Jahr 2030) zur Kraftstoffproduktion beitragen können (Aleklett et al. 2010: 1410). Mitte 2011 wurde in Katar von Shell das weltweit größte GtL-Projekt fertiggestellt; es wird in Zukunft etwa 0,12 mb/d flüssiges Syngas produzieren (Rose 2011). Diese Zahlen verdeutlichen: Das Haupthindernis dieser Alternativen sind nicht die mangelnden Reserven, sondern die mangelnde Produktionsgeschwindigkeit. Die synthetischen Alternativen können den Förderrückgang von Rohöl daher nicht rechtzeitig kompensieren.

Empirisch ist der Trend für die Gewinnung flüssiger Kraftstoffe eindeutig: Zu Beginn des Erdölzeitalters wurde leicht zugängliches Erdöl mit einem EROI von 100:1 gefördert, heute werden Projekte angestoßen, die einen energetische Überschuss von vielleicht 2–5:1 aufweisen.

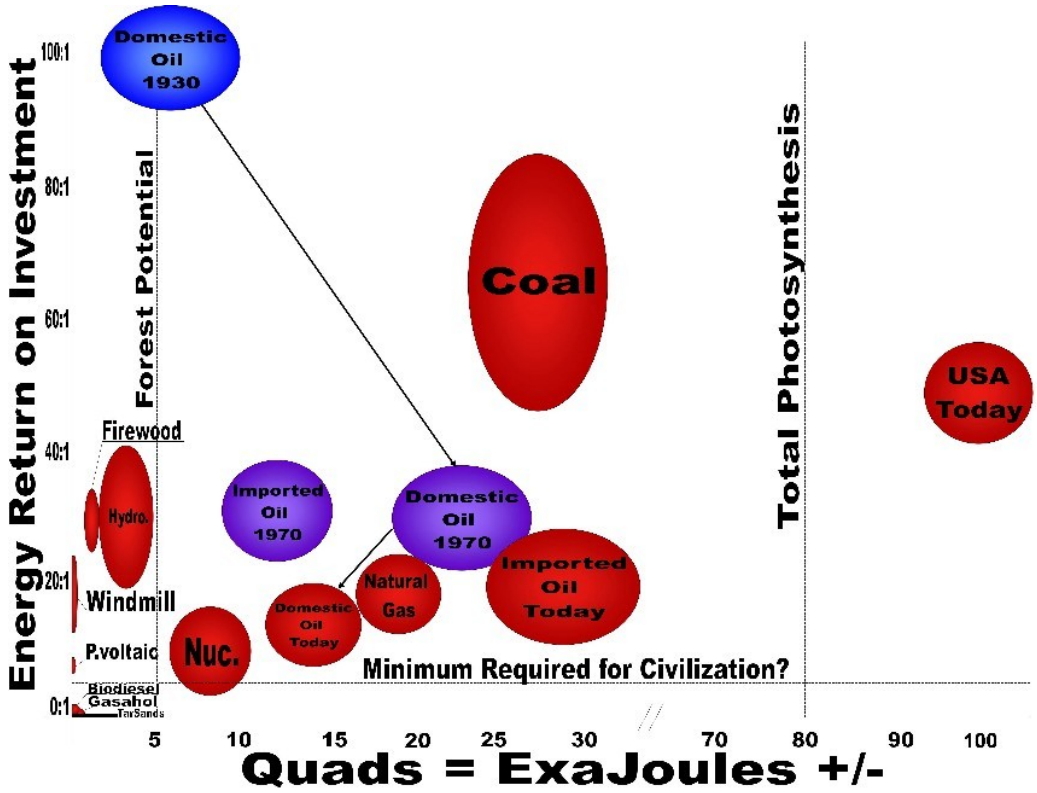
Dieser Qualitätsrückgang kann mit dem sogenannten Lagerstätteneffekt erklärt werden, der sich aus der physikalischen Beschaffenheit und der geografisch-geologischen Lage einer Ressource zusammensetzt. Die *physikalische Beschaffenheit* lässt sich bei Erdöl nach Aggregatzustand unterscheiden: Flüssiges Öl ist leichter zu Kraftstoff zu verarbeiten als fester Teersand und ist daher qualitativ höherwertiger.

Die *geografisch-geologischen Bedingungen* einer Lagerstätte beeinflussen den Energiebedarf der Förderung ebenfalls: Die primären energetischen (und damit einhergehend auch monetären) Kostenfaktoren sind die Bohrtiefe, die Härte des Gesteins und der Bedarf von Plattformen. Direkt unter dem Boden befindliche Quellen sind also höherwertiger als diejenigen unter dem Meeresgrund oder in der Arktis. Wie bereits oben erwähnt, werden hochwertigen Lagerstätten im Zeitverlauf naturgemäß zuerst gefördert (Gever et al. 1986: 42), da zu jedem Zeitpunkt günstige Förderprojekte teuren vorgezogen werden. Dies impliziert für die Zukunft, dass neuere Felder tendenziell höhere Energiekosten aufweisen als gegenwärtige.

Diesem Lagerstätteneffekt wirkt der technische Fortschritt entgegen: Effizienzsteigerungen (die jedoch auch wiederum Energie kosten) machen Verarbeitungs- und Produktionsprozesse energetisch sparsamer. Empirisch überwiegt der Lagerstätteneffekt stets den technischen Fortschritt (vgl. Gever et al. 1986: 84–94). Das Verhältnis von Output zu Input nimmt also trotz technischem Fortschritt im Zeitverlauf ab – ein Fakt, der nicht nur auf Erdöl, sondern auf alle endlichen Rohstoffquellen zutrifft (für Metalle vgl. Abschnitt 3.4.2). Diese Qualitätsabnahme beim Öl, der Vergleich der EROI-Verhältnisse unterschiedlicher Energiequellen sowie der stetige Energiefluss pro Quelle sind in Abb. 16 anschaulich dargestellt.

Für alle endlichen Ressourcen und insbesondere für Erdöl gilt: Die fortwährende Förderung bringt durchschnittlich stets geringere Erträge pro Einheit eingesetzter Energie (abnehmender Grenzertrag). Da mehr Energie für die Energiegewinnung eingesetzt werden muss, steht selbst bei einem Förderplateau der Gesellschaft stets weniger Energie zur Verfügung, um die geschaffenen Strukturen aufrecht zu erhalten (Giampietro und Mayumi 2008: 186).

Abbildung 16: Verhältnis von US-Energiegewinnung und EROI nach Energiequelle



Quelle: Murphy und Hall (2010: 111)

Anmerkung: Auf der x-Achse kann der jährliche US-Energiedurchsatz pro Quelle und rechts (USA Today) für die USA insgesamt abgelesen werden. Die vertikale Ausdehnung der „Balloons" verdeutlicht die EROI-Bandbreite je Quelle; sie ergibt sich aus den unterschiedlichen Lagerstätten und der Datenungenauigkeit. Die horizontale Linie gibt eine Schätzung für den minimalen energetischen Überschuss an, den heutige Industriegesellschaften benötigen, um ihre Strukturen zu erhalten. Die linke vertikale Linie verdeutlicht das Wald-Energiepotenzial, die rechte das Potenzial von Photosynthese (bezogen auf die USA).

4.5 Ausblick: Das Ende des billigen Öls

Viele Faktoren sind für die weitere Entwicklung auf dem Ölmarkt relevant: Investitionen in neue Ölprojekte in tiefen Wassern, neue technische Methoden zur stärkeren Förderung bestehender Felder, die Höhe der Förderrückgangsrate *(decline rate)* der Felder, die bereits ihren Peak überschritten haben, und die Entwicklung der globalen Nachfrage. Diese Faktoren sind miteinander verknüpft und wirken sich auf den Ölpreis aus; dieser wiederum wirkt zurück auf die Nachfrage.

Neue Ölprojekte: Hin und wieder kursieren Nachrichten wie: „Brasilien entdeckt Riesen-Ölfeld" (Spiegel Online 2005). Im Vergleich zu den wirklich großen

Feldern sind die neuen Entdeckungen jedoch klein. Das Papa-Terra-Feld, auf das Spiegel Online verweist, hat mit einer Reserve von vermutlich 700 Mio. Barrel nur etwa 0,5 % der Größe des Ghawar-Feldes in Saudi Arabien. Es würde 8,3 Tage die Weltnachfrage decken können (Farkas 2008: 28). Die Neufunde von Rohöl haben ihren Höhepunkt in den 1960er Jahren erreicht und gehen seitdem stark zurück (vgl. Abb. 14). Und was nicht entdeckt worden ist, kann auch nicht gefördert werden. Das begrenzte Potenzial neuer Projekte geht auch aus den von Wikileaks veröffentlichten Botschaftsdokumenten hervor: „Al-Husseini [vgl. Fußnote 46] added that new oil discoveries are insufficient relative to the decline of the super-fields, such as Ghawar, that have long been the lynchpin of the global market“ (US-Botschaft Riad 2007). Wie bereits in Abschnitt 4.4 dargelegt, sind die neueren Ölprojekte nicht nur klein, sondern auch schwer zu erschließen, was die Förderung riskant und teuer macht.[50] Heute wird daher für Investitionen in neue Ölförderprojekte ein Ölpreis von 80–110 US-$ benötigt. Bis 2008 wurde aufgrund der hohen Ölpreise von der Privatwirtschaft noch stark in neue Projekte investiert. Da die Planungs- und Bauphasen 7–14 Jahre betragen, rechnet Rose (2011) damit, dass bis 2013/14 noch Steigerungsraten möglich sind. Ab dann wird sich jedoch bemerkbar machen, dass aufgrund der Weltwirtschaftskrise und volatilen Ölpreisen nicht in neue Ölprojekte investiert wurde (Rose 2011).

Enhanced oil recovery (EOR): Zu Beginn der Förderung herrscht ein natürlicher Druck im Ölfeld, der das Rohöl durch das Bohrloch nach oben treibt. Mit zunehmender Förderung nimmt der Druck und ebenso der Ölfluss ab. Um den Druck und damit die Förderung künstlich aufrecht zu erhalten, wird Wasser und/oder Gas in das Feld injiziert. Eine weitere Möglichkeit ist das Einpumpen von Chemikaliencocktails die die Viskosität des verbliebenen Öls verringern. Diese sogenannten EOR-Methoden waren in der Vergangenheit recht erfolgreich, sodass ein größerer Anteil aus den Feldern gefördert werden konnte. Problematisch an ihnen ist jedoch,

50 Kostentreibend wirken zudem höhere Umweltauflagen und soziale Proteste (zur Ölförderung im peruanischen Amazonas vgl. Orta-Martínez und Finer 2010).

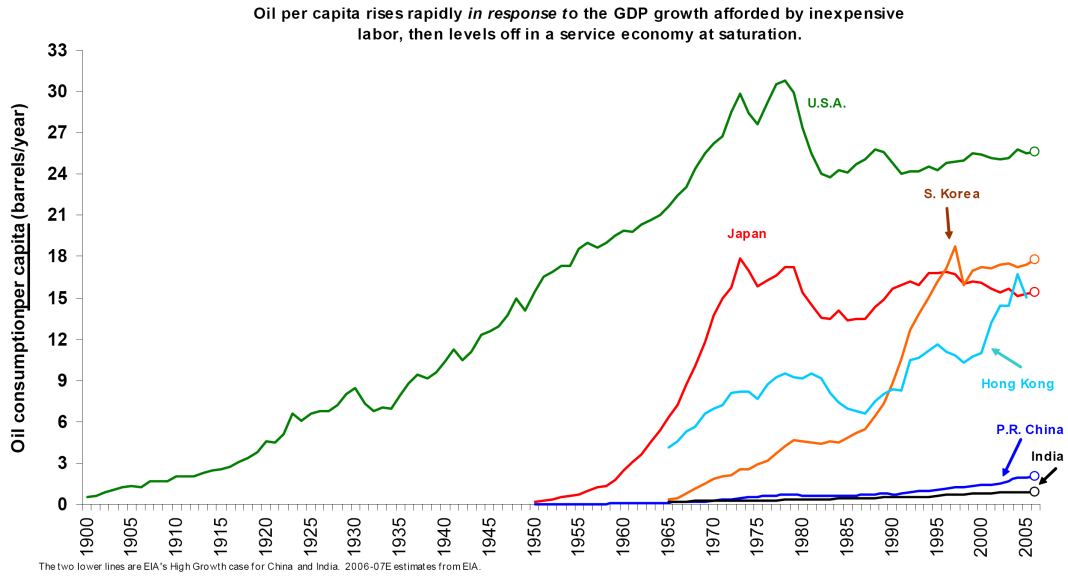
dass sie sich beschleunigend auf die Förderrückgangsrate der betroffenen Felder auswirken (Höök et al. 2009a).

Förderrückgangsrate (decline rate): EOR-Maßnahmen ermöglichen das Förderniveau eines Feldes länger auf einem Plateau zu halten, den Förderabfall also hinauszuzögern.[51] Dies hat jedoch zur Folge, dass der Förderrückgang nach der Plateauphase schneller verläuft als wenn keine EOR-Maßnahmen angewendet würden, wie Höök et al. (2009a: 55) in einer Studie der 300 weltgrößten Ölfelder, die mehr als 50 % zur globalen Förderung beitragen, zeigen. Die höchste *decline rate* weisen die Nordseefelder (*offshore* und starke EOR) mit 10–11 % auf (Höök 2009a: 48). In alten Feldern, in denen weniger hoch technisierte Methoden angewendet wurden, liegen die Rückgangsraten bei 5–6 % (Höök et al. 2009a: 49). Daher ist damit zu rechnen, dass Felder, die in Zukunft ihr Förderplateau verlassen, eine deutlich höhere *decline rate* aufweisen werden, als solche, die schon vor Jahrzehnten, als in geringerem Maße EOR-Methoden angewandt wurden, ihren Peak erlebten (Höök et al. 2009b: 2267). Bisher werden die sich im Niedergang befindlichen Regionen (z. B. Nordsee, US-Festland, Mexiko) durch Förderungssteigerungen in neueren Regionen (Angola, Brasilien, Golf von Mexiko, Irak, Russland) ausgeglichen. Mit der Zeit wird die Erdölproduktion zunächst leicht sinken und dann umso schneller abfallen, je mehr bedeutende Felder in die Decline-Phase eintreten. Wie sich der Ölpreis entwickelt, hängt jedoch nicht nur vom Angebot, sondern auch von der Nachfrage ab.

Globale Nachfrage: Bei einem stagnierenden Angebot (Förderplateau) sind die zentralen Faktoren der Preisbildung die Nachfrage und die Erwartung der Preisentwicklung (Spekulation). Diese sind engstens mit der globalen Wirtschaftsentwicklung verknüpft. In der vergangenen Dekade waren drei Trends für die Nachfrageentwicklung maßgeblich: ein konstanter Erdölumsatz der OECD-Staaten, eine steigende Nachfrage aus China und Indien sowie ein steigender Eigenverbrauch der erdölexportierenden Staaten. Legt man die Annahme zugrunde, China, Indien und andere Schwellen- und Entwicklungsländer strebten einen ähnlichen materiellen Le-

51 Die Anwendung von EOR-Methoden erklärt zu einem Großteil auch die Kluft zwischen den Vorhersagen der Geologen und den realen Produktionsraten (Höök 2009a: 55).

Abbildung 17: Entwicklung des Erdölverbrauchs pro Kopf in ausgewählten Ländern

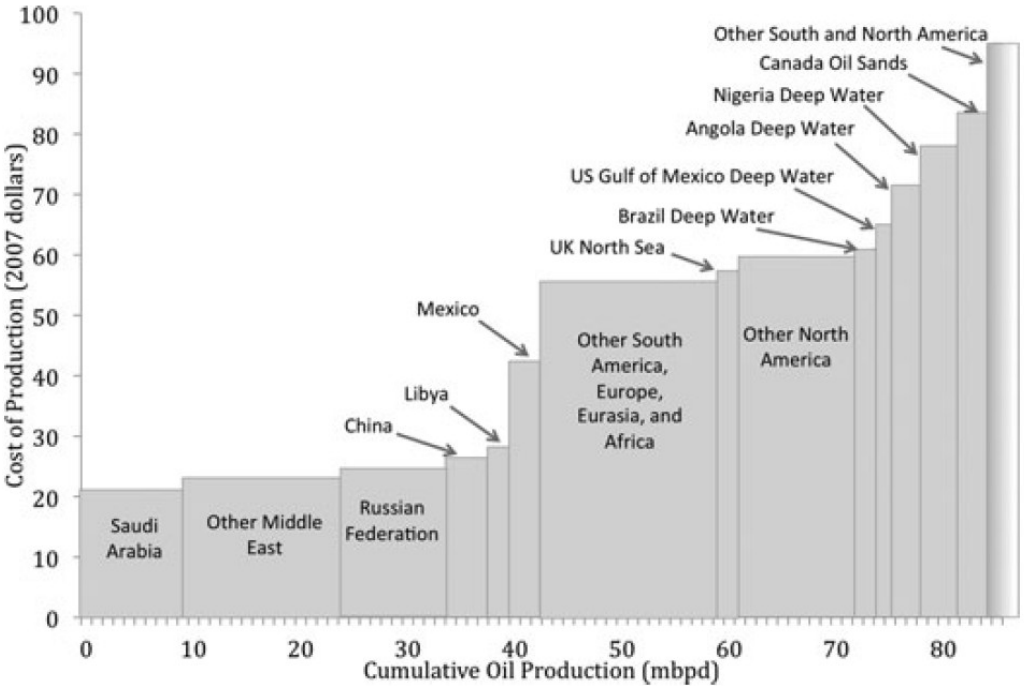


Quelle: Speidell (2010: 60)

bensstandard wie die OECD-Staaten an, und setzt dieses Streben mit dem derzeitigen Pro-Kopf-Verbrauch von Erdöl in Verbindung, so ergibt sich daraus ein für die nächsten Jahrzehnte wachsender Nachfragetrend (Abb. 17). Würde China z. B. das Niveau von Südkorea erreichen, so läge allein der chinesische Erdölumsatz bei etwa 60 mb/d (Daten: BP und UN). Bei einem derzeitigen Förderplateau von 87 mb/d bleibt nur eine Schlussfolgerung: „That is physically impossible" (Franssen zit. n. International Herald Tribune 2005). Durch die verstärkte Nachfrage aus China und Indien[52] bleibt für den Rest der Welt weniger Öl übrig, sodass die Preise steigen, wodurch wiederum die Nachfrage in den Ländern gedrosselt wird, die hohe Preise nicht abfedern können. Da ebenfalls der Eigenkonsum in den ölexportierenden Ländern steigt (Brown und Foucher 2010) – es bleibt ungewiss, wie sich der „Arabische Frühling" auf diesen Trend auswirkt – wird die auf dem Ölmarkt gehandelte Menge relativ geringer. Für kurzfristige Entspannung am Ölmarkt sorgen hingegen globale Wirtschaftskrisen, die zu einer geringeren Nachfrage und einem Ölpreiseinbruch führen. Allerdings wirken sich niedrige und volatile Ölpreise negativ auf das Investitionsklima aus, was die zukünftige Produktionsrate begrenzt.

52 Von 2005 bis 2009 wuchs ihr Netto-Import-Anteil am globalen Netto-Export von 11 auf 17 % (Brown und Foucher 2010).

Abbildung 18: Schätzungen der Ölförderkosten nach Lagerstätte



Quelle: Murphy und Hall (2011: 67)

Anmerkung: Horizontal sind die täglichen Fördermengen, vertikal die Förderkosten der jeweiligen Region abgetragen. Der Ölpreis orientiert sich an den Kosten der letzten Lagerstätte, die benötigt wird, um die Nachfrage zu decken. Entsprechend sind die Gewinne pro Barrel im Nahen und Mittleren Osten und in Russland am höchsten. Nicht einbezogen sind Transport- und Transitkosten.

Das Ende des billigen Öls: Die aufgeführten Trends machen deutlich, dass die Zeit des *Easy Oil* der Vergangenheit angehört (Rose 2011): Öl aus neueren Tiefwasserfeldern oder aus nichtkonventionellen Vorkommen (wie Teersand) ist (1) energetisch und finanziell teurer (Abb. 18) und hat (2) nicht das Potenzial, den Förderabfall des *Easy Oil* zu kompensieren. Diese beiden Trends, die konzeptionell als eine Abnahme der Erdölqualität (geringeres EROI) und eine stagnierende und anschließend abnehmende Ölförderrate (Peak Oil) aufgefasst werden können, deuten auf einen steigenden realen Ölpreis hin. Diese *Tendenz* wird zudem durch die Ölpolitik ölexportierender Staaten gestärkt, die auf hohe Ölpreise angewiesen sind, um ihre Staatshaushalte zu finanzieren. Iran und Venezuela benötigen 100–110 US-$ und Saudi Arabien etwa 80 US-$ pro Barrel, um ihre Staatsausgaben zu decken (Rose 2011). Daher sind viele OPEC-Staaten nicht an einer höheren Förderung, die mit

tieferen Ölpreisen einhergeht, interessiert. Wie der Ölpreiseinbruch 2008 von 147 auf 37 US-$ lehrte, steigt der Ölpreis nur „tendenziell“. Die ökonomischen Systeme werden von äußerst komplexen Rückkopplungsschleifen dominiert, die über unterschiedlich lange Zeiträume wirken (Mobus 2010). Dies führt zu nichtlinearen Entwicklungen hinsichtlich Ölpreis (Ölpreisvolatilität), Ölverbrauch und Investitionen in Ölprojekte. Prognosen dieser nichtlinearen Entwicklungen sind nicht möglich.

5 Verwundbarkeit moderner Gesellschaften

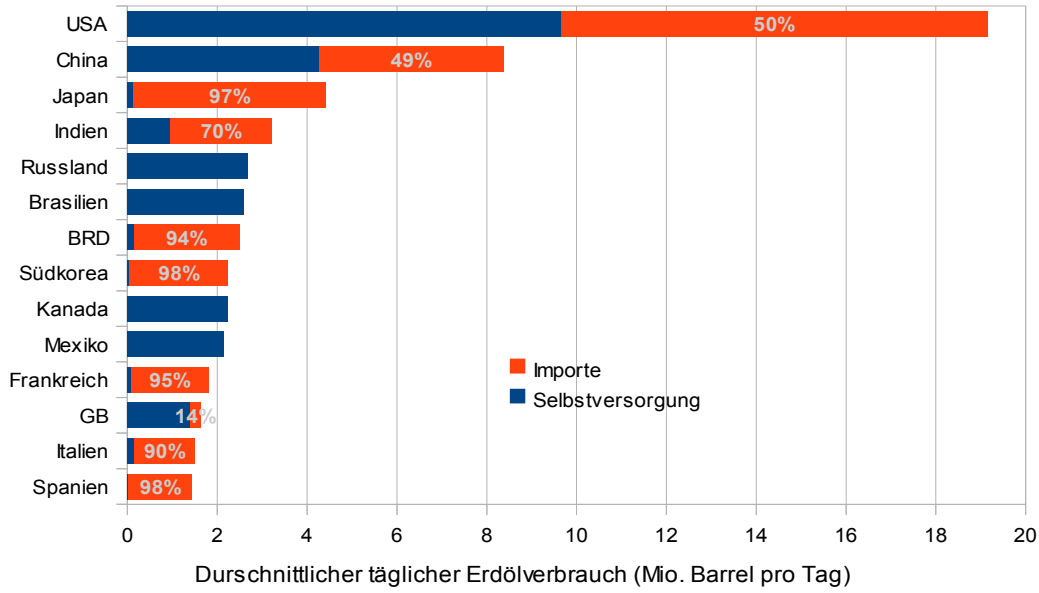
Wie reagieren moderne Gesellschaften auf das Ende des billigen Öls? Eine Verwundbarkeitssituation resultiert aus dem Stressor Peak Oil auf *direkte* Weise nur für die Gesellschaften, die von dem Phänomen betroffenen sind und deren Strukturen sensibel auf die veränderten Bedingungen reagieren, ohne eine ausreichende Bewältigungskapazität aufzuweisen. In der globalisierten Welt sind darüber hinaus all jene Gesellschaften *indirekt* betroffen, die mit verwundbaren Gesellschaften in interdependenten Beziehungen stehen. Wie sich langfristig die Verwundbarkeitssituation einer Gesellschaft ändert, hängt von ihrer spezifischen Anpassungsfähigkeit ab.

5.1 Betroffenheit: Abhängigkeit von Erdölimporten

Ein Indikator für die direkte Betroffenheit einer Gesellschaft durch Peak Oil ist die relative (Anteil am Verbrauch) und absolute (Gesamtmenge) Abhängigkeit von Ölimporten (Abb. 19). Außer Norwegen, Kanada und Mexiko sind alle OECD-Staaten auf Importe angewiesen und auch Indien (70 %) und China (49 %) beziehen einen Großen Teil ihres Öls über den globalen Ölmarkt. Darüber hinaus können sich auch viele Entwicklungsländer nicht selbst mit Öl versorgen. Die erdölexportierenden Staaten sind in der OPEC und auf dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion konzentriert.

Allen Regierungen ist die Bedeutung von Öl bewusst und sie dürften auch über Peak Oil Bescheid wissen (vgl. Zentrum für Transformation der Bundeswehr

Abbildung 19: Täglicher Erdölumsatz und Importabhängigkeit



Quelle: Eigene Darstellung; Daten: EIA International Energy Statistics (2010)

Anmerkung: Aufgeführt sind die Industrie- und Schwellenländer mit dem größten Erdölverbrauch. Die Importabhängigkeit ist hier der Anteil der Importe am Gesamtverbrauch.

2011; US-Botschaft Riad 2007), auch wenn sie dies öffentlich nicht äußern oder sich auf (unseriöse) Prognosen berufen, die eine Steigerung der globalen Erdölförderung bis 2035 vorhersagen (Deutsche Bundesregierung 2010). Es kann angenommen werden, dass jeder Staat Interesse an einer sicheren Erdölversorgung hat. Dazu gibt es mehrere Strategien: den Marktmechanismus, langfristige bilaterale Verträge mit Ölproduzenten, Joint Ventures zwischen Ölunternehmen aus dem Im- und Exportland oder militärische und ökonomische Macht. Die westlichen Staaten unter Führung der USA setzen auf den Marktmechanismus unter Flankierung von militärischem und ökonomischem Druck und Anreizen. China versucht seinen steigenden Ölbedarf durch langfristige Verträge mit Ölstaaten zu sichern, die nicht von westlichen Konzernen dominiert werden (Sudan, Iran, Venezuela). Durch derartige Abkommen, die im Jahr 2007 etwa 12 % der chinesischen Ölimporte ausmachten (Sullivan 2006: 103–104), wird Öl vom Weltmarkt genommen. Auf diesem entscheidet die relative Finanzkraft gegenüber den Wettbewerbern, wer den Zuschlag erhält. Aktuell sind alle Ölimporteure vom Weltölmarkt abhängig und damit auch von Ölpreissteigerungen betroffen. Allerdings darf nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Öl-

bezugsmechanismen in Zukunft ändern – etwa durch eine stärkere militärische Komponente.

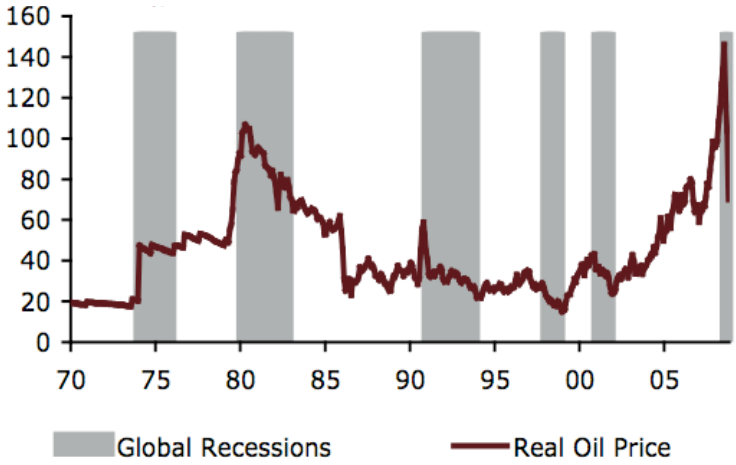
5.2 Sensibilität und Auswirkungen: Reaktionen auf hohe Ölpreise

Wie reagieren die modernen sozioökonomischen Systeme auf Ölpreissteigerungen? Sind unausgelastete Produktionskapazitäten und -potenziale vorhanden, können hohe Preise durch eine Ausweitung des Angebots gedrückt werden. Diese ökonomische Regel funktioniert aber nicht in einer Welt, die sich an ihren biophysikalischen Grenzen befindet. Ist eine Angebotsausweitung nicht möglich, so kann ein hoher Ölpreis prinzipiell durch eine Kombination von drei Optionen kompensiert werden: (1) verstärkte Produktion von Öl-Alternativen, (2) Steigerung der Effizienz des Öl umsetzenden Kapitalstocks und (3) Reduktion der ökonomischen Aktivität (Kaufmann und Shiers 2008: 409). Wie vor dem Hintergrund der obigen Ausführungen zu Teersand, CtL, GtL und Agrarkraftstoffen (Kap. 4) angenommen wird, ist die erste Option einerseits nicht ausreichend, um den Förderrückgang von *Crude Oil* zu kompensieren, und andererseits sind für Investitionen in Öl-Alternativen hohe Ölpreise notwendig (vgl. auch Tverberg 2011a). Option zwei ist ein langfristiger Prozess, der hinsichtlich des Erdöls bereits seit den 1970er Jahren praktiziert wird und stark ausgereizt ist. Die größten kurzfristigen „Erfolge", die Nachfrage an das Angebot anzupassen, müssen durch Einsparungen mittels Nichtkonsum erzielt werden – Option drei. Und dies geschieht bereits durch den Preismechanismus: Die Erdölnachfrage wird durch einen hohen Ölpreis „zerstört" *(demand destruction)*. Wo diese Nachfragereduktion stattfindet, wird nach marktwirtschaftlichen Spielregeln über die Finanzkraft und Zahlungsbereitschaft der jeweiligen Akteure bestimmt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie sensibel die modernen „Wachstumsökonomien" (Abschnitt 3.3) auf Ölpreissteigerungen reagieren?

Gemäß den Aussagen von Murphy und Hall (2011), Tverberg (2011b), Rubin (2011a), Hamilton (2011) und Rose (2011) folgten bisher auf Perioden mit hohen Ölpreisen stets Rezessionen (Abb. 20). Diese Korrelation zwischen Ölschocks und

Wirtschaftskrisen „appears to be too strong to be just a coincidence“, meint Hamilton (2011: 26).

Abbildung 20: Globale Rezessionen und Ölpreisentwicklung (US-$ von 2008)



Quelle: Rubin (2008: 4)

Ein Grund für eine mögliche Kausalität ist die Abhängigkeit der Wachstumsökonomien von einem hohen Konsumniveau („Konsumgesellschaft“): Hohe Ölpreise verändern die Ausgabenrelationen von Haushalten. Ein größerer Anteil des Budgets muss für ölintensive oder ölpreisabhängige Güter (wie Nahrung, Benzin, Gas und Energie allgemein[53]) aufgebracht werden (Ayres 2008: 18). Als Reaktion werden diese Güter „effizienter“ konsumiert (z. B. Heizung herunterregeln, weniger Auto fahren, kleinere Autos kaufen). Da sich jedoch viele dieser Güter durch eine geringe Preiselastizität auszeichnen, werden insbesondere nicht gebundene Ausgaben (z. B. Freizeitaktivitäten, Gastronomie) reduziert, wodurch das Konsumniveau sinkt und die Wirtschaft schrumpft.[54] Volkswirtschaftlich betrachtet geben Gesellschaften einen größeren Anteil des BIPs für Erdöl/Energie aus (z. B. stieg von 2002–2008 der Anteil der US-Konsumausgaben am BIP für Energie von 6 auf 11 %, Hall et al. 2009: 34). Um die höhere Rechnung für Ölimporte finanzieren zu können, müssen entwe-

53 Zum Beispiel sind Erdgaspreise in Kontinentaleuropa direkt an den Ölpreis gekoppelt (und damit indirekt auch an die Strompreise, da Gaskraftwerke die Preissetzer sind). In den USA und GB besteht diese Verbindung nur indirekt über Substitutionsbeziehungen. Für den Kohlebergbau und -transport ist Erdöl in ähnlicher Weise notwendig wie für die Kupfergewinnung (vgl. Abschnitt 3.4.2); auch hier ist daher mit steigenden Preisen zu rechnen. Grundsätzlich kann deshalb angenommen werden, dass die Energiepreise in der Peak-Oil-Ära tendenziell ansteigen werden.

der mehr Güter exportiert[55] oder andere Importe reduziert werden. Als dritte Möglichkeit bietet sich die Verschuldung an – ein Weg, der von vielen westlichen Staaten praktiziert wird und solange gangbar bleibt, wie die Gläubiger in die Zahlungsfähigkeit der Schuldner vertrauen.

Ein zweiter Erklärungsversuch, wie Peak Oil zu Rezessionen führt, betrachtet die Angebotsseite. Ein geringeres globales Erdölangebot verringert schlicht die wirtschaftliche Aktivität: „The recessionary impact may be the signal that the amount of net energy that the economy is receiving is too low" (Tverberg 2010).

Der eigentlich positive Anpassungsmechanismus einer verringerten Ölnachfrage aufgrund hoher Ölpreise hat somit für Wachstumsökonomien negative Begleiterscheinungen in Form einer Drosselung des Wirtschaftswachstums oder sogar einer Wirtschaftsschrumpfung. Damit befinden sich die modernen Gesellschaften mit ihrer ölbasierten Infrastruktur in einem Dilemma: Wirtschaftswachstum wird einerseits benötigt, andererseits führt eben dieses bei einem stagnierenden oder rückläufigen Ölangebot zu hohen Ölpreisen, die wiederum Wirtschaftskrisen auslösen. Die Hoffnung einer Rückkehr zu *dauerhaftem* Wachstum erscheint vor diesem Hintergrund solange nicht gerechtfertigt, wie ölabhängige Infrastrukturen bestehen. Murphy und Hall (2011) gehen davon aus, dass die Grenzen des Wachstums erreicht sind. In der (Post-)Peak-Oil-Ära kann Wirtschaftswachstum nicht mehr als Normalfall angenommen werden.

Peak Oil wirkt aber nicht nur auf die Wirtschaft; in die umgekehrte Richtung erfolgen ebenfalls Rückkopplungen: Wirtschaftskrisen reduzieren die Nachfrage nach Öl, das spekulative Kapital wird vom Ölmarkt abgezogen und stark volatile

54 Einem solchen Schrumpfungsprozess liegen laut Binswanger (2006) folgende angenommene Rückkopplungseffekte zugrunde: (1) Das geringere Konsumniveau schmälert die Gewinne der Unternehmen, die Arbeitskräfte entlassen, um ihre Kosten zu senken und aufgrund mangelnder Gewinnaussichten Investitionen zurückfahren; (2) Konsum und Investitionen sinken weiter aufgrund gestiegener Arbeitslosigkeit und schlechter Zukunftserwartungen; (3) die Zahl der Unternehmensinsolvenzen nimmt zu, da Gewinne notwendig sind, um die Zinszahlungen der aufgenommenen Kredite zu bedienen; (4) Banken geraten aufgrund hoher Kreditausfälle in Schieflage und gehen zu einer restriktiven Kreditvergabe über; (5) dies verringert wiederum Konsum und Investitionen usw.

55 Höhere Exporte könnten z. B. in die ölexportierenden Staaten erfolgen. Wo diese Staaten ihre Petrodollars einsetzen und wie lange das Petrodollar-System noch besteht, werden vermutlich entscheidende Faktoren für die Verteilung der finanziellen Lasten von Peak Oil sein.

Ölpreise sind die Folge. 2008 fiel der Ölpreis von 147 auf 37 US-$. Volatile Ölpreise bieten jedoch kein gutes Investitionsklima für die Erschließung neuer Ölfelder oder nichtkonventionellen Öls (Hirsch 2005: 61; Rose 2011). Bleiben diese Investitionen – wie zwischen 2008 und Mitte 2011 (Rose 2011) – jedoch aus, so verläuft der Ölförderrückgang *(decline rate)* schneller als erwartet (Foss 2008).

Die Notwendigkeit der modernen Gesellschaften zu wachsen, vermindert ihre Fähigkeit, sich an die biophysikalischen Gegebenheiten (Endlichkeit des Öls) anzupassen. Mit ihrer auf Expansion ausgerichteten Systemarchitektur haben sie sich in eine Verwundbarkeitssituation manövriert. Verwundbarkeit bedeutet jedoch nicht, dass ein Schaden eintreten *muss*. Es besteht vielmehr eine Schadens*gefahr*. Besitzen Gesellschaften adäquate Bewältigungsfähigkeiten, so können Auswirkungen kurzfristig überwunden werden. Implementieren Gesellschaften sogar rechtzeitig Maßnahmen zur langfristigen Anpassung an die sich verändernden biophysikalischen Bedingungen, so können sie sich womöglich aus der Verwundbarkeitssituation befreien (vgl. hierzu Abschnitt 5.3).

Ein erstes Schadensanzeichen ist ein Schrumpfen der Wirtschaft („Wirtschaftskrise“), das zumindest teilweise auf Peak Oil zurückgeführt werden kann (vgl. Daly und Green 2008; Rubin 2011b). Welche Faktoren jedoch als Krisenursache „geframed“ werden, gibt nicht unbedingt Aufschluss über die multiplen Ursachen von Wirtschaftsschrumpfungen. Insofern ist es schwierig zu beweisen, dass Peak Oil *die* Ursache einer Krise darstellt (vgl. Whipple 2011).

In früheren, konjunkturellen Wirtschaftskrisen konnte der Staat im Geiste von Keynes mit öffentlichen Investitionsprogrammen eingreifen, um Schrumpfungsspiralen zu durchbrechen und die Wirtschaft wieder auf einen Wachstumskurs zu führen (Wiemann 2011: 97). Ist Peak Oil jedoch eine zentrale Rezessionsursache, so liegt ein physisch verknapptes Angebot von flüssigem Kraftstoff zugrunde (Angebotsschock) und keine konjunkturelle Abschwungphase. Hier versagen die klassischen Instrumente staatlicher Konjunkturpolitik. Irgendwo auf der Welt muss sich der Ölkonsum verringern. Wo dies sein wird, entscheidet auf dem Markt die Finanzkraft und Zahlungsbereitschaft der Akteure. Finanzschwache Akteure haben

entsprechend eine geringe Bewältigungsfähigkeit, sie leiden stärker unter hohen Ölpreisen und sind somit eher von Überschuldung und Wirtschaftskrisen betroffen. Wie die Rezessionen einzelner Länder auf andere Staaten ausstrahlen, bleibt ebenso abzuwarten wie die sozialen und politischen Verwerfungen durch Rezessionen infolge von Peak Oil (Zentrum für Transformation der Bundeswehr 2011).

Damit kristallisieren sich drei Faktoren heraus, die die regionalen Auswirkungen von Peak Oil beeinflussen: (1) der Grad der Öl- und Ölimportabhängigkeit, (2) die Finanzkraft, um hohe Ölpreise abzufedern und (3) der Grad, zu dem die Funktionstüchtigkeit einer Gesellschaft von Wirtschaftswachstum abhängig ist.[56] Legt man diese Kriterien zugrunde, so reagieren hoch verschuldete und ölabhängige Länder (etwa die USA, die PIIGS[57] oder ölabhängige Entwicklungsländer) besonders sensibel auf Peak Oil (Rubin 2011b). Sie könnten aus dem Wettbewerb ums Öl ausscheiden und sich in einer anhaltenden Rezession wieder finden. Die Kombination aus Wirtschaftskrise und Überschuldung geht in den modernen Gesellschaften mit Arbeitslosigkeit, Armut und einer Überforderung der politischen Systeme einher. Sofern die soziopolitische Kohäsion nicht intakt ist, drohen soziale und politische Verwerfungen. Die derzeitigen staatlichen Sozialleistungskürzungen, die Privatisierungen von Staatsbesitz, die *Bail-out*-Programme für Banken und die sozialen

56 Die modernen Gesellschaften sind, trotz leichter Differenzen, alle von Wirtschaftswachstum abhängig. Eine mögliche Differenzierung, die ich in dieser Arbeit jedoch nicht geleistet habe, wäre nach Wohlfahrtsregimen zu unterscheiden. Esping-Andersen (1990) differenziert zwischen liberalen (Markt), sozialdemokratischen (Staat) und konservativen (Familie) Wohlfahrtsregimen. Da sowohl markt- als auch staatsfinanzierte Regime auf Wachstum angewiesen sind, wären die familienbasierten Sozialsysteme weniger stark von Peak Oil betroffen. Letztere sind besonders in den südeuropäischen Ländern (Italien, Spanien, Portugal) und in Entwicklungsländern vertreten. Würde diese These einer Überprüfung standhalten, so hieße das, dass die südeuropäischen Staaten aufgrund ihrer Finanzschwäche zwar starke Wachstumseinbußen hinnehmen müssten, deren Bevölkerung jedoch durch einen größeren familiären Zusammenhalt weniger stark davon betroffen wäre als die Bürger von Staaten, deren Wohlfahrtsregime stärker von Wachstum abhängig sind.

57 Mit PIIGS sind die Länder Portugal, Irland, Italien, Griechenland und Spanien gemeint, die durch die Finanz- und Wirtschaftskrise seit 2008 besonders stark betroffen sind und ein hohes Schuldenniveau in Relation zum BIP aufweisen. Man kann davon ausgehen, dass diese Länder, angefangen mit Griechenland, niemals ihre Schulden vollständig zurückzahlen werden – Umschuldungen sind unausweichlich (Raffer 2011). Sie sind somit die ersten „Industriestaaten“, die von einer Wachstums- in eine Schrumpfungsspirale übergehen. Ein wenig diskutierter Grund für die hohen Schulden ist der seit 2004 ansteigende Ölpreis (Tverberg 2011a).

Proteste gegen diese als ungerecht empfundenen Maßnahmen[58] in Ländern wie Großbritannien, Griechenland, Portugal, Irland oder Spanien geben Hinweise darauf, welche Auswirkungen ein Ausbleiben des Wirtschaftswachstums durch Peak Oil haben könnte. Murphy interpretiert diese ökonomischen Entwicklungen bereits als Folge von Peak Oil: „the question is no longer ‚when will peak oil occur', but ‚how long will the effects of peak oil last?'" (Murphy 2010). Zwar spielt Peak Oil für die Entwicklung der Schuldenkrise sicherlich eine Rolle (Whipple 2011), aber dennoch liegen die primären Ursachen im ungedeckten Geldsystem.

5.3 Anpassung: Transition in die Post-Öl-Ära

Die heutigen modernen Gesellschaften sind die komplexesten, die jemals existierten. Ihr Informationsfluss ist einzigartig. Warum sollten diese Gesellschaften die Problematiken, die mit Peak Oil einhergehen, nicht erkennen und adäquat reagieren, um einen möglichen Kollaps zu verhindern? Das gewichtigste Argument dafür, dass es den modernen Gesellschaften nicht gelingen wird, Peak Oil unbeschadet zu überstehen, ist das Fehlen einer Alternative zu Öl, die (1) billig, (2) in ausreichenden Mengen und (3) rechtzeitig verfügbar ist. Diese Punkte wurden für direkte Rohölsubstitute wie nichtkonventionelles Öl schon zu Genüge diskutiert (vgl. Abschnitt 4). In diesem Abschnitt steht daher der langfristige Anpassungsprozess im Vordergrund, der mit einem deutlich reduzierten Verbrauch von flüssigem Kraftstoff einhergehen muss.

Hier will ich zwei Anpassungspfade vorstellen. Erstens den Versuch, die Dienstleistungen, die bis dato durch Erdöl erbracht werden (wie Fortbewegung), durch alternative Infrastrukturen zu ersetzen, die mit Strom (aus erneuerbaren Energien, Kohle, Gas, Atom) betrieben werden. Ein zweiter Weg ist die Reduktion nicht nur des Öl-, sondern des Energieverbrauchs insgesamt, was durch eine Komplexitätsreduktion und Relokalisierung der Gesellschaft erreicht werden soll. Diese

58 In wirtschaftlich und finanziell kargen Zeiten (u. a. durch Peak Oil) sind staatliche Sparmaßnahmen (nicht aber Privatisierungen) unausweichlich. Aber ob diese Maßnahmen von Protesten begleitet werden, hängt davon ab, ob die Lastenverteilung als gerecht wahrgenommen wird. Steigt durch die Maßnahmen die Ungleichheit weiter an, so sind Proteste wahrscheinlich.

zweite Option wäre praktisch eine Abkehr von der modernen Gesellschaft; in der ersten Option wird hingegen angestrebt, die moderne Gesellschaft auf einer neuen Energiebasis zu erhalten. Beide Wege oder deren Kombination benötigen viel Zeit – vermutlich mehrere Dekaden. Eine dritte Option, die ebenfalls in der Wissenschaft viel diskutiert wird (vgl. Foss 2007; Orlov 2008; Diamond 2006; Georgescu-Roegen 1971; Homer-Dixon 2007), ist der durch Peak Oil (bzw. durch eine Reduktion der verfügbaren Energie) ausgelöste Kollaps der heutigen Gesellschaftsform.

5.3.1 Technische Anpassung: Ölunabhängige Infrastruktur

Peak Oil wird offiziell von den wenigsten Regierungen anerkannt (z. B. Deutsche Bundesregierung 2010).[59] Es wird nur vage – und selten in den Massenmedien – von der „Abhängigkeit vom immer knapper werdenden Erdöl“ (Röttgen zit. n. ADAC Motorwelt 2010) gesprochen. Den offiziellen Szenarien zum Umbau des Energiesystems liegt entsprechend nicht Peak Oil, sondern der Klimawandel zugrunde. Viele Studien erörtern, wie sich der Energiesektor (oft steht der Stromsektor im Fokus) entwickeln müsste, damit er bis 2030, 2040 oder 2050 keine CO_2-Emissionen mehr emittierte, die Wirtschaft also „dekarbonisiert“ wäre (vgl. WGBU 2011; McKinsey 2010; SRU 2011; Forschungsverbund Erneuerbare Energien 2010). Die Ergebnisse sind meist optimistisch. Aufgrund der Fokussierung auf den Klimawandel sind diese Gutachten für die Problematik von Peak Oil jedoch nur bedingt tauglich.

Eine offizielle Studie, die sich explizit mit der Mitigation von Peak Oil auseinandersetzt, ist der 2005 erschienene Hirsch-Report, der insbesondere Vorschläge unterbreitet, welche Schritte die USA unternehmen müssten, um schwere wirtschaftliche Verwerfungen durch Peak Oil abzuwenden (Hirsch 2005). Die Lösungsvorschläge reichen von CtL, GtL und Teersand über EOR und Agrarkraftstoffe bis hin zu Wasserstoff- und Elektromobilität. Die hiesige Analyse (Kap. 4) hat ergeben, dass die Potenziale der ersten fünf Optionen nicht ausreichen, um den *All-Liquids*-Förderabfall nach dem Peak von *Crude Oil* merklich hinauszuzögern.

59 Aus Platzgründen beziehe ich mich hier lediglich auf den Diskurs in Deutschland.

Es verbleiben Elektro- und Wasserstoffmobilität. Diese beiden Techniken bedeuten im Prinzip eine langfristige Umstellung des Transportsystems von einem ölauf ein strombetriebenes System. Grundsätzlich kommen für den Ausbau der Elektrizitätserzeugung Nuklearenergie, Gas- und Kohlekraftwerke und erneuerbare Energien infrage. Trotz ihrer Risiken und der ungelösten Endlagerproblematik setzen weiterhin einige Akteure auf die Atomkraft. Andere schlagen vor, Kohlekraftwerke mit einer CO_2-Abscheidetechnik (carbon dioxide capture and storage, CCS) zu versehen, um deren Stromerzeugung klimafreundlicher zu gestalten. CCS ist jedoch teuer, reduziert den Wirkungsgrad der Kraftwerke und findet keine große Akzeptanz in der Bevölkerung. Angesichts von Nuklearkatastrophen und Klimawandel ruhen in „grünen" Kreisen die Hoffnungen insbesondere auf den erneuerbaren Energien. Scheer geht davon aus, dass erneuerbare Energien in der Lage wären, fossile Energien und die Nuklearenergie zu ersetzen (Scheer 2005).

Die langfristigen Aussichten von erneuerbaren Energien sind im Vergleich zur Nuklearenergie und den fossilen Energien unter mehreren Gesichtspunkten positiv: Photovoltaik (PV), Solarthermie und Windenergie sind bereits ausgereifte Techniken und teilweise bereits auf dem Markt konkurrenzfähig. Außerdem sind ihre EROIs mit 25:1 für Windkraft (Kubiszewski et al. 2010: 218) und 6,5:1 für PV (Kubiszewski und Cleveland 2009) besser als von nichtkonventionellem Öl oder Agrarkraftstoffen.[60] Zudem unterliegen Wind und Sonne im menschlichen Zeithorizont keiner Erschöpfung. Durch den technischen Fortschritt ist die EROI-Tendenz dieser Techniken somit steigend. Trotz des Potenzials erneuerbarer Energien sind diese noch weit davon entfernt, ähnliche Energiemengen bereitzustellen wie Erdöl. Langfristig könnten sich zudem Knappheiten bei (nicht erneuerbaren) Materialien bemerkbar machen, die für den Ausbau der erneuerbaren Energien nötig sind.[61] Trainer vertritt vor diesem Hintergrund das Argument, dass „renewable energy cannot sustain a consumer society" (Trainer 2007).

60 Belastbare EROI-Werte zur Nuklearenergie liegen nicht vor. Würde die Energie eingerechnet, die für die Endlagerung der Brennelemente nötig ist, so dürfte der EROI nicht deutlich über 5:1 liegen (vgl. Hall 2008).

61 Laut Lloyd und Forest (2010: 7378) werden bei einem jährlichen Wachstum der erneuerbaren Elektrizitätserzeugung von 2 % noch in diesem Jahrhundert ernsthafte Materialknappheiten auftreten.

Neben einer steigenden Stromerzeugung ist für den Umstieg auf die Wasserstoff- und Elektromobilität ein Stromnetz- und Speicherausbau sowie die Marktreife der Fahrzeuge selbst notwendig. Noch ist die nötige Fahrzeugtechnik unausgereift: Die Batterietechnik erlaubt bisher lediglich Leichtbaufahrzeuge mit begrenzter Reichweite (Fraunhofer ISI 2011). Elektrofahrzeuge sind mittelfristig demnach hauptsächlich für den Stadtverkehr relevant. Für den Flug- und Seetransport, den Bergbau und die industrielle Landwirtschaft ruhen die Hoffnungen auf der wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle als langfristige Alternative zum mineralölbetriebenen Verbrennungsmotor. Bis zu ihrem wirtschaftlichen Einsatz müssten sich ihre Kosten jedoch drastisch reduzieren (Fraunhofer ISI 2010).

Dieser kurze Überblick zeigt, dass der Faktor Zeit das primäre Hindernis zur Überwindung der Peak-Oil-Verwundbarkeit mittels einer technischen Anpassung darstellt. Gemäß Hirsch benötigt eine Umgestaltung der Infrastruktur sogar dann mehrere Dekaden (Hirsch 2005: 64–65), wenn die Technik vorhanden und der politische und wirtschaftliche Kontext stabil ist. Die Fahrzeugtechnik ist jedoch noch nicht ausgereift und ein stabiler polit-ökonomischer Kontext ist angesichts der Turbulenzen durch die Überschuldungskrise nicht gegeben.

Die Neugestaltung der Transportinfrastruktur auf der Basis von Elektro- und Wasserstoffmobilität zielt darauf ab, die Knappheit einer Ressource (Erdöl) durch die Nutzung anderer Ressourcen (Lithium, Aluminium, Seltene Erden etc.) zu substituieren. Diese Strategie impliziert eine weitere Expansion des Zugriffs auf die Ressourcen der Welt. Um diese Expansion möglichst gering zu halten, wird die Substitutionsstrategie mit Effizienzmaßnahmen auf der Nachfrageseite flankiert. Historisch führten Effizienzsteigerungen zu einer *relativen* Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch: Die Energie- und Materialintensität der globalen Wirtschaft nahm im letzten Jahrhundert stetig ab. Allerdings generierten die Effizienzgewinne bisher keine *absolute* Reduktion des Material- und Energieverbrauchs (Krausmann et al. 2009: 2702; vgl. auch Polimeni et al. 2008; Denkwerk Zukunft 2010). Wachstum impliziert folglich einen zunehmenden Ressourcenverbrauch.

Die Hauptkritik an den dargestellten Strategien ist die Überschätzung technischer Lösungen: Viele Energieszenarien gehen davon aus, dass eine von fossilen Energien unabhängige Versorgung allein mit Energieeffizienz und der Erschließung erneuerbarer Energien erreicht würde (vgl. Linz und Scherhorn 2011). Zu den Hürden, die sich aus der Verknappung endlicher Ressourcen und dem Zeitbedarf der Anpassung ergeben, beziehen sie keine Position.

Erdöl ist nur die erste, aber sicherlich nicht die letzte Ressource, die sich ihrem Förderpeak nähert und deren Preise steigen (vgl. Grantham 2011; Heinberg 2007). Im Grundsatz wird durch die technische Anpassung versucht, das „Prinzip" der unendlichen Substituierbarkeit umzusetzen (s. S. 6). Eine unendliche Substitution und Expansion in einer endlichen und vollen Welt (s. S. 21) ist jedoch nicht möglich. Das Dilemma des leistungsstarken modernen Gesellschaftsmodells (Wachstumszwang, aber eine durch Wirtschaftswachstum schwindende Ressourcenbasis) ist durch technische Ansätze nicht vollständig aufzulösen. Zudem werden die Kosten der fortgesetzten Expansions- und Substitutionsstrategie (vgl. Spangenberg 2010) von den sozialen Akteuren getragen, deren Lebensräume vom Ressourcenabbau zerstört werden (vgl. Orta-Martínez und Finer 2010). Somit wird durch den technischen Ansatz zwar versucht, die Verwundbarkeit der modernen Gesellschaftsstrukturen zu mindern, doch erhöht sich dadurch die Verwundbarkeit anderer Akteure und Gesellschaften (Oliver-Smith 2004: 16).

Die Beibehaltung des Wachstumskurses ist die Grundannahme der technischen Anpassungsprozesse.[62] Das Ziel ist der Umbau der Energieinfrastruktur, mit der Annahme, dass andere Ressourcen die Rolle des Erdöls ausüben können und weiteres Wachstum ermöglichen. Angesichts der extremen Bedeutung von Öl für die Weltwirtschaft, der Dringlichkeit von Peak Oil und dem enormen Zeit- und Kapitalbedarf einer Anpassung der Energieinfrastruktur – die zudem nur mit mäßi-

62 Ein wachsendes BIP ist *die* dominante Richtlinie der Politik. Allerdings gibt es erste Versuche, alternative Wohlfahrtsindices zu etablieren, die als Bewertungsmaßstab politischen Handelns dienen könnten (Deutscher Bundestag 2011; Pinzler 2011). Solche Indices würden den Wachstums*drang* schwächen, den Wachstums*zwang* jedoch nicht mindern.

gem Einsatz betrieben wird[63] –, sieht es derzeit nicht danach aus, als ob die technischen Lösungen rechtzeitig implementiert werden, um die Verwundbarkeit der modernen Gesellschaften durch Peak Oil zu überwinden. Nichtsdestotrotz sind technische Entwicklungen wie etwa der Ausbau erneuerbarer Energien aus vielerlei Gründen äußerst sinnvoll, auch um die langfristige Abhängigkeit von Erdöl zu reduzieren.

5.3.2 Gesellschaftliche Anpassung: Transition-Town-Bewegung[64]

Die Mitglieder der Transition-Town-Bewegung glauben nicht an die Wirksamkeit und Richtigkeit technischer Lösungsansätze, sondern reagieren auf lokaler Ebene auf die Herausforderungen durch Peak Oil, Klimawandel und Globalisierung (Bailey et al. 2010: 595). *Transition Town* (TT) steht inzwischen für eine recht erfolgreiche Graswurzelbewegung: Sie formierte sich 2006 in England und breitete sich von dort in nahezu alle Industrieländer aus. Weltweit, aber mit einer starken Konzentration auf England, bestehen 374 offizielle Transition Towns und vermutlich mehrere Tausend Initiativen zur Gründung einer TT (vgl. www.transitionnetwork.org). Um als offizielle TT anerkannt zu werden, muss die Initiative dem *Transition Network* eine gewisse Erfahrung und Stabilität nachweisen können. In Deutschland bestehen vier offizielle TT und etwa 50 Initiativen (vgl. www.transition-initiativen.de). Die Stärke der TT-Bewegung in England erklärt sich nicht nur aus der dortigen Initiative, sondern auch aus der Entwicklung der britischen Erdölförderung: England erlebte 1999 den nationalen Peak Oil, seitdem fällt die Förderrate stark ab und inzwischen ist England zum Nettoimporteur geworden.

Aus der Perspektive der TT-Bewegung werden Klimawandel und Peak Oil als Chance und nicht als Krise wahrgenommen. Beide Entwicklungen bieten die Chance – so die Argumentation –, die bestehende Gesellschaftsform weiterzuentwickeln, die soziale Evolution voranzutreiben (vgl. Heinberg 2011). Das Ziel dieser

63 Diese Zurückhaltung dürfte dem Umstand geschuldet sein, dass Politiker „tend to react to a crisis rather than to get in front of it“ (Cohen 2011).

64 Dieser Abschnitt basiert zum einen auf Sekundärliteratur über die TT-Bewegung und anderen Community- und Relokalisierungsansätzen. Zum anderen fließen Gespräche mit den TT-Mitgliedern und Erfahrungen durch die Partizipation in der TT-Bewegung mit ein, ebenso wie Analysen der durch Transition Towns im Internet publizierten Materialien.

Entwicklung ist eine Gesellschaftsform, die sich gegenüber externen Schocks (wie Peak Oil, Klimawandel oder Finanzkrise) resilienter (widerstandsfähiger) erweist. Die menschlichen Subsistenzbedürfnisse sollen weniger von globalen oder nationalen Ereignissen abhängig sein. Mittel, um die Resilienz zu stärken, sind die Relokalisierung der Wirtschaft und die damit verknüpfte Reduktion des Energieverbrauchs sowie ein Kultur- und Wertewandel.

Rob Hopkins, ein Vordenker der Transition Towns, gliedert die Anliegen der TT-Bewegung in drei Teile: den Kopf, das Herz und die Hände (Hopkins 2008). Mit dem Intellekt (Kopf) sollen die biophysikalischen Phänomene Peak Oil und Klimawandel verstanden werden, um langfristig nachhaltige Lösungsstrategien zu entwickeln. Tabelle 1 zeigt drei unterschiedliche Strategien, wie auf Peak Oil und Klimawandel jeweils isoliert oder – wie es die TT-Bewegung anstrebt – kombiniert reagiert werden kann.

Mit Herz bezeichnet Hopkins das positive *framing* des Wandels. Der Motor der Bewegung ist die Vision einer positiven Zukunft. In der TT-Bewegung herrscht die Meinung vor, dass der Wandel zu einem geringeren Energieverbrauch aufgrund von Peak Oil und damit unweigerlich auch der Trendwechsel von der Globalisierung zur Lokalisierung unausweichlich sei: „Wir werden uns radikal umstellen

Tabelle 1: Lösungsstrategien für Peak Oil und Klimawandel

Peak Oil als isoliertes Problem *Lösungen des Hirsch-Reports (Versorgungssicherheit mit flüssigem Kraftstoff)*	**Peak Oil und Klimawandel als zwei Seiten einer Medaille** *Lösungen der TT-Bewegung (Resilienz bilden und CO_2-Emissionen senken)*	**Klimawandel als isoliertes Problem** *Lösungen des Stern-Reports (Klimastabilität)*
Kohleverflüssigung (CtL)	dezentrale erneuerbare Energieerzeugung	technische Klimaverbesserungen (Geoengineering)
Gasverflüssigung (GtL)	Energieeinsparungen	CO_2-Abtrennung und Speicherung (CCS)
Agrarkraftstoffe	lokale Nahrungsmittelerzeugung	CO_2-Zertifikate-Handel
Erdöl-Tiefwasserförderung	Wiederentdeckung traditioneller Kulturtechniken	Atomkraft
Teersandabbau	lokale medizinische Versorgung	Anpassung an den Klimawandel
Nationale Programme zur Erdölerschließung und Vorratshaltung	lokale Währungen	Aufforstung zur CO_2-Bindung

Quelle: Eigene Darstellung nach DCPS (2011) und Hopkins (2008: 37)

müssen, ob uns das passt oder nicht“ (Hopkins 2008: 44). Ziel ist also nicht der Wandel an sich, sondern die positive Gestaltung des Wandels. Sympathisanten sollen nicht durch Entsetzen oder Wut für die Gestaltung des Wandels gewonnen werden, indem man ihnen abschreckende Bilder havarierender Atomkraftwerke oder Ölplattformen vor Augen hält. Die TT-Bewegung versucht vielmehr, bei den Menschen Begeisterung für neue Möglichkeiten zu wecken. Die „Energiekrise“ wird als Chance verstanden. Um eine solches *framing* aufrecht zu erhalten, wird ein Kultur- und Wertewandel propagiert: Die lokale Gemeinschaft, das Arbeiten im Garten und generell das Selbermachen werden positiv bewertet; das Streben nach materiellem Reichtum und Individualisierung wird als etwas aufgefasst, was überwunden werden sollte. Insgesamt wird durch die Bewegung versucht, neue Geschichten zu erzählen und damit auch neue Realitäten zu schaffen. Es werden erstrebenswerte Zukunftsvisionen für die lokale Gemeinde/Stadt in 20 Jahren entworfen, die mit den sich wandelnden biophysikalischen Bedingungen in Einklang stehen.

Die Hände stehen als Symbol für die Umsetzung der Zukunftsvision. Die örtlichen Transition-Initiativen streben eine Relokalisierung mithilfe vieler lokaler Maßnahmen an, u. a. in den Bereichen Nahrung, Energie, Verkehr, Gesundheit, Bildung und Wirtschaft. Es sollen parallel zur bestehenden, aber verwundbaren Infrastruktur lokale, resilientere Infrastrukturen aufgebaut werden, die im Falle eines Versagens der existierenden Systeme die „soziale Fallhöhe“ (Paech 2011) der Menschen reduziert (Bailey et al. 2010: 599). Mit (Garten-)Aktionen, Veranstaltungen und Kampagnen wird eine starke Vernetzung insbesondere auf lokaler Ebene – aber auch mit anderen TT-Bewegungen – vorangetrieben, um eine Nachbarschaft hervorzubringen, in der sich die Menschen gegenseitig unterstützen. Das soziale Kapital soll gestärkt werden. Im Bereich der Nahrungsmittelerzeugung wird eine auf Permakulturprinzipien (vgl. Holmgren 2002) aufgebaute lokale Landwirtschaft angestrebt. In der Startphase werden hierzu lokale Gemüsegärten auf brachliegenden Flächen oder in privaten Gärten angelegt und Obst- und andere Nutzbäume gepflanzt (vgl. Neue Osnabrücker Zeitung 2011). Eine nachhaltige lokale Landwirtschaft ist im Erzeugungs- und Verteilungsprozess in geringerem Maße auf Ener-

gie-Inputs (N-Dünger, Pestizide, Herbizide, Diesel, Strom) angewiesen und ist damit weniger anfällig für eine Verteuerung oder ein Ausbleiben der Inputs. Im Mobilitätsbereich setzt die TT-Bewegung auf einen Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs und eine stärkere Fahrradnutzung; insgesamt sollen die Strukturen so ausgerichtet werden, dass ein geringerer Bedarf für den Transport von Personen und Gütern besteht (vgl. Transition Town Bielefeld 2010). Der stark reduzierte Energiebedarf soll zukünftig aus dezentral verfügbaren erneuerbaren Energien gespeist werden. In der Startphase errichten die Transition-Initiativen sogenannte „Bürgersolaranlagen" oder „Windräder in Bürgerhand", die von den Bewohnern der Region gemeinsam finanziert werden (vgl. Transition Town Witzenhausen 2011). Die Relokalisierung der Wirtschaft und die größere Unabhängigkeit der Lokalität von den globalen Geld- und Warenströmen sollen über die angesprochenen Maßnahmen hinaus durch Regional- bzw. Komplementärwährungen vorangetrieben werden (vgl. Transition Town Totnes 2011). Die Gültigkeit dieser Währungen ist auf eine Stadt oder Region begrenzt und die Geldmenge und Deckungsart (z. B. durch Euro oder Leistung) werden von den Initiatoren demokratisch bestimmt. Lokale Währungen – die komplementär zur nationalen Währung gelten – sollen die ethische Konsumentscheidung stärken: Durch die Nutzung der Regionalwährung entscheidet sich der Konsument bewusst für ein regionales Produkt. Es wird also das Bewusstsein geschärft, die lokale Wirtschaft zu fördern. Ein zweiter Aspekt der Regionalwährungen ist eine Liquiditätsgebühr (auch „negativer Zins" oder „Umlaufimpuls" genannt). Diese besteht bspw. in einem Wertverlust von 2 % pro Quartal (für die technischen Details, die von Währung zu Währung stark variieren, vgl. www.regiogeld.de; Hallsmith und Lietaer 2011; Kennedy und Lietaer 2004). Durch die Liquiditätsgebühr steigt die Geldumlaufgeschwindigkeit, wodurch die Wirtschaft angeregt wird, gleichzeitig aber keinen Wachstumszwang erzeugt: Die Geldmengenausweitung erfolgt auf demokratischer Basis und die Kreditvergabe ist zinslos. Dies ermöglicht, dass das Geld nicht mehr dahin fließt, wo es den höchsten Gewinn erzielt, sondern vermehrt dorthin, wo es den größten sozialen Nutzen stiftet (Kennedy 2005: 20). Als wertvoll erweisen sich lokale Währungen insbesondere in

Zeiten, in denen die nationalen Währungen aufgrund von Wirtschafts- und Finanzkrisen ihre Funktion als Tauschmittel nicht mehr erfüllen.

Dieser kurze Überblick zeigt: Die TT-Bewegung kombiniert eine Reihe verschiedener Instrumente zur Relokalisierung der Wirtschaft – mit dem Ziel, die Grundbedürfnisse der Menschen auch bei einem reduzierten Energieangebot befriedigen zu können. Die meisten Instrumente sind nicht neu: Experimente mit Regionalwährungen gab es schon in den 1930er Jahren und Permakultur wird in Australien seit den 1970er Jahren – nach den ersten Ölschocks – erforscht und angewendet (Bailey et al. 2010: 598). Das Neue an der TT-Bewegung ist vielmehr die Kombination dieser einzelnen Instrumente und damit einhergehend der (vielleicht utopische) Versuch, ein Wertesystem zu etablieren, gemäß dem die lokale Kooperation, die Daseinsmächtigkeit und die Naturverbundenheit einen höheren Stellenwert genießen als das Streben nach Wachstum, materiellem Besitz, Ansehen oder Macht. Die TT-Bewegung will auf diesem Wege Strukturen schaffen, die sich als weniger verwundbar gegenüber Peak Oil erweisen und den Klimawandel nicht weiter befördern. Der grundlegende Unterschied zu den technischen Mitigationsstrategien von Peak Oil oder Klimawandel ist die Fokussierung auf eine gesellschaftliche Veränderung und die Abkehr vom Glauben an Wachstum. Sowohl der Wachstumszwang (durch Regionalgeld und kürzere Wertschöpfungsketten) wie der Wachstumsdrang (durch einen Wertewandel) werden durch die Konzepte der TT-Bewegung angegangen. Dies heißt nicht, dass sektoraler Wachstum nicht mehr möglich sein soll, sondern vielmehr, dass Wirtschaftswachstum keine notwendige Bedingung darstellt. Insgesamt will die Transition-Town-Bewegung mit ihrem Relokalisierungsansatz den Wachstumsstrategien eine Alternative gegenüberstellen. Sie will das Signal aussenden: Ein nachhaltiger Lebensstil ist möglich.

Nimmt man die Vision der TT-Bewegung ernst, so wird im Vergleich zu den heutigen modernen Systemen eine Gesellschaft mit einem geringeren Komplexitätsniveau angestrebt. Dies impliziert eine geringere Arbeitsteilung, eine geringere (betriebswirtschaftliche) Effizienz und eine relativ größere Land- und eine entsprechend kleinere Stadtbevölkerung. Häufig wird der Wandel der kubanischen Land-

wirtschaft als eine gelungene Anpassung an ein erdölarmes Zeitalter angeführt (vgl. Friedrichs 2010; Pfeiffer 2006; Wright 2009). Doch dieses Beispiel zeigt auch die Umstellungsschwierigkeiten auf eine nachhaltige Landwirtschaft. Zwar produziert Havanna 70 % des konsumierten Gemüses selbst, doch ist Kuba weiterhin etwa zu 80 % von Nahrungsmittelimporten abhängig (Wright 2009: 234). Ein Grund für die mangelnde heimische Nahrungsmittelproduktion ist die sehr langsame Umstellung von der Zuckerexport- auf die Ernährungssouveränitätsstrategie sowie die nur unzureichend verfügbare Energie in der Landwirtschaft – nicht nur fossile Energie, sondern auch muskuläre: Die städtische Bevölkerung ist nicht bereit, aufs Land zu ziehen und Landwirtschaft zu betreiben. Dies gibt einen Hinweis darauf, was eine gesellschaftliche Umstellung *(transition)* bedeuten kann und wie langsam sich ein Werte- und Kulturwandel vollzieht. Auch ist unklar, wie stark sich die TT-Mitglieder durch ihre Aktivitäten wirklich aus den Strukturen der modernen Gesellschaften lösen können und welche Mittel sie haben, um mögliche Staatseingriffe (z. B. Regionalgeldverbot) abzuwehren, wenn der Staat Aktivitäten der TT-Bewegung als störend (wachstums- und fortschrittsfeindlich) einstuft.

Es bleibt daher abzuwarten, ob der Weg der Transition-Town-Initiativen die Verwundbarkeit ihrer Mitglieder gegenüber Peak Oil verringert. Aber auch wenn dies gelänge, so wird die Bewegung schwerlich über ein Nischendasein hinaus kommen; für einen gesamtgesellschaftlichen Effekt dürfte ihr Mobilisierungspotenzial nicht ausreichen. Unabhängig vom möglichen Erfolg oder Misserfolg ist der TT-Bewegung anzurechnen, dass ihre Relokalisierungsstrategie im Gegensatz zum technischen Ansatz nicht die Verwundbarkeit von Dritten erhöht.

6 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde die Hypothese überprüft, ob die modernen Gesellschaften durch Peak Oil verwundbar sind. Moderne Gesellschaften sind komplexe Systeme, die in die biophysikalische Umwelt eingebettet sind. Aus dieser beziehen sie Stoffe und Energie, um den gesellschaftlichen Stoffwechsel (Motabolismus) und damit die gesellschaftlichen Strukturen zu erhalten. Die spezifische Ausgestaltung der modernen Gesellschaften stellt drei energetische Anforderungen: (1) Energie ist nicht gleich Energie. Moderne Gesellschaften benötigen einen *austarierten Energiemix* aus Energieträgern wie Nahrung, Strom, flüssigen Kraftstoffen und solchen, die sich effizient zur Wärmeerzeugung nutzen lassen. Diese Energieträger werden zu einem großen Teil aus fossilen Energiequellen gewonnen. (2) Wie jede komplexe Gesellschaften erfordert die Erhaltung der modernen Gesellschaft einen stetigen *Energiefluss* aus der Umwelt in die Gesellschaft (und wieder zurück). Die Größe des Energieflusses hängt von der jeweiligen Komplexität der gesellschaftlichen Strukturen und anderen Faktoren wie Lebensstilen und klimatischen Bedingungen ab. (3) Der Energiegewinnungsprozess muss einen *energetischen Überschuss (Netto-Energie)* bereitstellen, der die gesellschaftlichen Strukturen „finanziert". Neben dem Output des Energiegewinnungsprozesses muss somit auch der Energieverbrauch (Input) des Energiesektors berücksichtigt werden.

Erdöl, als wichtigste Energiequelle für die Gewinnung von flüssigen Kraftstoffen, ist für die heutigen Gesellschaftsstrukturen von essenzieller Bedeutung, da es in den ökonomischen Sektoren, die die Basis der modernen Gesellschaften bilden (Landwirtschaft, Bergbau, Transport und chemische Industrie), kurz- bis mittelfristig nicht substituierbar ist.

Über diese energetischen Anforderungen hinaus hat sich herausgestellt, dass die modernen Systeme aufgrund eines (1) ökonomischen Wachstumszwangs, der seinen Ursprung in der Geld- und Unternehmensordnung hat, und eines (2) soziokulturellen und politischen Wachstumsdrangs auf ein stetiges Wachstum der Wirtschaft angewiesen sind. Wirtschaftswachstum geht auf globaler Ebene mit einem ge-

steigerten Ressourcen- und Energieumsatz einher. D. h., das bestehende Energieflussniveau muss nicht nur gehalten, sondern Jahr für Jahr gesteigert werden, um die Funktionalität der modernen Gesellschaftssysteme aufrecht zu erhalten.

Fossile Energien ermöglichten in den letzten 200 Jahren den Aufbau komplexer Gesellschaftsstrukturen. Erdöl ist die erste der fossilen Energien, die Erschöpfungstendenzen zeigt. Bis in die 1970er Jahre wuchs die Erdölförderung exponentiell, von den 1980er Jahren bis 2004 nur noch linear um durchschnittlich 1,5 % pro Jahr (Tverberg 2011a); seitdem verharrt sie auf einem Plateau mit einer 4 %igen Fluktuation (Höök et al. 2009b: 2263). Seriösen Prognosen zufolge beginnt der Förderrückgang *(All Liquids)* vor 2015 (Aleklett et al. 2010). An diesem Szenario ändern auch die großen Reserven und Ressourcen von nichtkonventionellem Öl (z. B. Teersand) wenig, da sich als entscheidende Variable nicht die Größe der Vorkommen, sondern die Produktionsrate herausgestellt hat (vgl. Abschnitte 3.2.2 und 4.4). Darüber hinaus erfüllen die nichtkonventionellen Kraftstoffe aus Teersand, Kohle, Erdgas oder Agrarerzeugnissen nicht die Anforderung eines hohen energetischen Überschusses (4.4). Würde die Kraftstoffproduktion ausschließlich auf diesen Quellen beruhen, müsste der Energiesektor aufgrund seines hohen Eigenverbrauchs um ein Vielfaches anwachsen, um das gleiche gesellschaftliche Komplexitätsniveau unterstützten zu können. Nichtkonventionelles Öl ist aufgrund seiner minderen Qualität somit auch langfristig nicht in der Lage, Rohöl zu ersetzen und die Energieanforderungen komplexer Gesellschaften zu erfüllen.

Durch den Rückgang sowohl der Erdölförderung (Energieflussniveau) als auch der Erdölqualität (EROI, Netto-Energie) zeichnet sich ab, dass die zentralen energetischen Anforderungen der modernen Gesellschaften zukünftig nicht mehr erfüllt sein werden. Diese Entwicklungen, die in dem Konzept Peak Oil zum Ausdruck kommen, bringen die modernen Gesellschaften in eine Position der Verwundbarkeit. Zuerst macht sich Peak Oil in der ökonomischen Sphäre bemerkbar: Ein hoher Ölpreis infolge eines unzureichenden Ölangebots wirkt sich negativ auf das Wachstum der Weltwirtschaft aus. Dies bedroht das Fundament der modernen Gesellschaften, da sie auf Wirtschaftswachstum angewiesen sind.

Will man diese Verwundbarkeit durch Peak Oil regional eingrenzen, so erweisen sich insbesondere die Gesellschaften als verletzlich, (1) deren Grad der Öl- und Ölimportabhängigkeit groß ist, (2) die über eine zu schwache Finanzkraft verfügen,[65] um hohe Ölpreise abzufedern und (3) deren Funktionstüchtigkeit eine hohe Abhängigkeit von Wirtschaftswachstum aufzeigt. Auf Basis dieser Kriterien ist zu erwarten, dass ölabhängige und hoch verschuldete Staaten (wie die PIIGS, die USA und ölimportierende Entwicklungsländer) besonders sensibel auf Peak Oil reagieren; soziopolitische Verwerfungen sind eher in Staaten zu erwarten, die eine schwach ausgeprägte gesellschaftliche Kohäsion aufweisen und deren Sozialsysteme monetarisiert sind und somit auf „Wachstumskrisen" stärker reagieren. Aufgrund der engen Verflechtungen und entsprechenden Rückkopplungsschleifen in Zeiten der Globalisierung sind jedoch indirekt alle modernen Gesellschaften durch Peak Oil verwundbar: Wirtschaftswachstum kann nicht mehr als Normalfall angenommen werden. Die realen Auswirkungen von Wachstumskrisen werden vermutlich je nach Lokalität stark variieren.

Die Analyse der langfristigen Anpassung lässt den Schluss zu, dass die Verwundbarkeit durch technische Anpassungsreaktionen kurz- bis mittelfristig nicht signifikant reduziert werden kann. Grund ist das Zusammenspiel aus dem enormen Zeitbedarf, der für die Umgestaltung der Energie- und Transportinfrastruktur (z. B. Elektromobilität) benötigt wird, und der Dringlichkeit von Peak Oil: Der Beginn des Förderrückgangs wird in den nächsten Jahren erwartet und die Auswirkungen des Förderplateaus sind bereits heute in Form von Ölpreisausschlägen und Wachstumskrisen bemerkbar. Der Überschuldungskontext erschwert die technischen Anpassungen zusätzlich. Ein anderer Ansatz ist die gesellschaftliche Anpassung, die von der Transition-Town-Bewegung angestrebt wird. Durch Bottom-up-Maßnahmen wird versucht, die Wirtschaft zu relokalisieren und die gesellschaftlichen Strukturen resilienter gegenüber externen Schocks auf den globalen Energie-, Waren- und Geldmärkten zu gestalten. Auch dieser Anpassungsprozess ist zeitintensiv und mühsam,

65 Im derzeitigen Kontext ist die Finanzkraft entscheidend. Würde allerdings Öl nicht mehr über den Weltölmarkt, sondern mittels langfristiger Verträge oder militärischer Macht den Besitzer wechseln, so wären andere Variablen relevant.

kollidiert aber langfristig nicht mit den biophysikalischen Grenzen der Erde. Allerdings ist die TT-Bewegung noch weit davon entfernt, eine Massenbewegung zu sein und hat somit keinen signifikanten Einfluss auf die gesamtgesellschaftliche Verwundbarkeit.

Peak Oil bedeutet für die modernen Gesellschaften eine Trendwende. Diese ist nicht an einem Datum, einem Event festzumachen – wobei der Begriff „Peak" fälschlicherweise genau dies suggeriert –, sondern vollzieht sich schleichend. Wenn man so will, begann die Peak-Oil-Ära 1973 mit dem Ende des exponentiellen Wachstumspfades der Erdölförderung. 2004 begann die Phase der Stagnation, die in Kombination mit einer hohen Nachfrage zu stark steigenden Ölpreisen führte. Nun steht die Decline-Phase bevor. In dieser Post-Peak-Oil-Ära wird das durchschnittliche Wachstum schwächer werden und vermutlich in eine Schrumpfung übergehen. Die politischen, ökonomischen und sozialen Rückkopplungen – die sich wiederum auf das Ölangebot auswirken – sind nicht vorhersehbar, aber sicherlich werden sie turbulent sein. Aufgrund der vielen Zeitverzögerungen dieser Rückkopplungen und der Transformation von Öl in Geld auf dem Ölmarkt ist es dennoch schwierig, Kausalitäten zwischen auftretenden (ökonomischen) Problemen und dem Mangel an billigem Erdöl zu beweisen. Z. B. ist die Rolle des stagnierenden Erdölangebots in der sich seit 2007 zuspitzenden Finanz-, Schulden- und Wachstumskrise sehr unklar (Whipple 2011). Erschwerend kommt hinzu, dass offenbar keine öffentliche Diskussion des Themas erwünscht ist, wie die Reaktionen auf den Hirsch-Report von 2005 – eine der wenigen offiziellen Untersuchungen zu Peak Oil – vermuten lassen: Hirsch zitiert hohe Angestellte des US Department of Energy mit den Worten: „No more work on peak oil, no more talk about it" (Hirsch 2010). Vor diesem Hintergrund stellt Bardi (2009: 324) zurecht die Frage, ob die Öffentlichkeit diese Trendwende überhaupt wahrnimmt, oder ob Peak Oil in den Turbulenzen politischer Geschehnisse, die dieses Ereignis begleiten, untergeht.

7 Literatur

ADAC Motorwelt. (2010): „Das alte Super gibt es unbefristet weiter". Bundesumweltminister Norbert Röttgen zur Einführung des E 10-Kraftstoffs und zur Nachhaltigkeit von Bio-Sprit. *ADAC Motorwelt*, (12).

Adger, W. (2006): „Vulnerability". *Global Environmental Change*, 16 (3), 268–281.

Ajanovic, A. (2011): „Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices?" *Energy*, 36 (4), 2070–2076.

Aleklett, K. (2011, 27. März): „The ASPO Perspective on Fossil Fuels". ASPO 9 Energy Conference, Brüssel. http://www.aspo9.be/assets/ASPO9_Wed_27_April_Aleklett.pdf (Zugriff: 20.5.2011).

Aleklett, K., Höök, M., Jakobsson, K., Lardelli, M., Snowden, S. & Söderbergh, B. (2010): „The Peak of the Oil Age – Analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008". *Energy Policy*, *38*(3), 1398–1414.

Anderson, B. (2008): „The evolution of peak oil coverage – a grassroots view". *Energy Bulletin*. http://www.energybulletin.net/stories/2008-09-20/evolution-peak-oil-coverage-grassroots-view (Zugriff: 11.5.2011).

ASPO Netherlands. (2010): Oilwatch Monthly August 2010.

Ayres, R. (2008): „Energy and Economic Growth", in F. Barbir & S. Ulgiati (Hg.): *Sustainable Energy Production and Consumption and Environmental Costing*, NATO Science for Peace and Security Series. Dordrecht: Springer, (1–23).

Badal, L. (2010, 24. Mai): „How The Global Oil Watchdog Failed Its Mission". *Inteldaily.* http://inteldaily.com/2010/05/how-the-global-oil-watchdog-failed-its-mission/ (Zugriff: 3.6.2011)

Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Avilés-Vázquez, K. & Samulon, A. (2007): „Organic Agriculture and the Global Food Supply". *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22 (2), 86–108.

Bailey, I., Hopkins, R. & Wilson, G. (2010): „Some things old, some things new: The spatial representations and politics of change of the peak oil relocalisation movement". *Geoforum*, 41 (4), 595–605.

Bardi, U. (2009): „Peak oil: The four stages of a new idea". *Energy*, 34 (3), 323–326.

Bardi, U. (2011, 17. Januar): „No peak oil yet? The limits of the Hubbert model". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7241?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+theoildrum+%28The+Oil+Drum%29 (Zugriff: 19.1.2011).

Bentley, R. W. (2009): „The expected dates of resource-limited maxima in the global production of oil and gas". *Energy Efficiency*, 3 (2), 115–122.

BGR. (2009): *Energierohstoffe 2009. Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Bianciardi, C. & Ulgiati, S. (2004): „Entropy", in C. Cleveland (Hg.): *Encyclopedia of Energy*. New York: Elsevier, (Bd. 2, 459–470, Bde. 6).

Binswanger, H. (2006): *Die Wachstumsspirale. Geld, Energie und Imagination in der Dynamik des Marktprozesses*. Marburg: Metropolis.

Birkmann, J. (2006): *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*. TERI Press.

Blaikie, P. (1985): *The political economy of soil erosion in developing countries*. London: Longman.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (1994): *At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. London, New York: Routledge.

Boddey, R., Soares, L., Alves, B. & Urquiaga, S. (2008): „Bio-Ethanol Production in Brazil", in D. Pimentel (Hg.): *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Dordrecht: Springer. (321–356).

Bohle, H. (2001): „Vulnerability and Criticality". *IHDP – Update*, (2). http://www.ihdp.uni-bonn.de/html/publications/update/IHDPUpdate01_02.html (Zugriff: 20.12.2010).

Brown, J. & Foucher, S. (2010, 18. Oktober): „Peak Oil Versus Peak Exports". *ASPO-USA*. http://www.aspousa.org/index.php/2010/10/peak-oil-versus-peak-exports/ (18.4.2011).

Bukold, S. (2009a): *Öl im 21. Jahrhundert. Band 2: Alternativen und Strategien*. München: Oldenbourg.

Bukold, S. (2009b): *Öl im 21. Jahrhundert. Band 1: Grundlagen und Kernprobleme.* München: Oldenbourg.

Campbell, C. (2011): „*Introduction ASPO-9".* 9th Annual ASPO conference 27–29 April: Brussels. http://www.aspo9.be/assets/ASPO9_Wed_27_April_Campbell.pdf (Zugriff: 5.5.2011).

Campbell, C., Liesenborghs, F., Schindler, J. & Zittel, W. (2007): *Ölwechsel! Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft*. München: dtv.

Campbell, C. & Laherrère, J. (1998). „The End of Cheap Oil". *Scientific American*, (March), 78–83.

Chambers, R. (2006): „Vulnerability, coping and policy". *IDS bulletin*, 37 (4), 33–40.

Chueh, W., Falter, C., Abbott, M., Scipio, D., Furler, P., Haile, S. & Steinfeld, A. (2010): „High-Flux Solar-Driven Thermochemical Dissociation of CO2 and H2O Using Nonstoichiometric Ceria". *Science*, 330 (6012), 1797–1801.

Ciaian, P. & Kancs, D. (2011): „Interdependencies in the energy-bioenergy-food price systems: A cointegration analysis". *Resource and Energy Economics*, 33 (1), 326–348.

Cleveland, C. (1987): „Biophysical economics: Historical perspective and current research trends". *Ecological Modelling*, 38, 47–73.

Cleveland, C. (1992): „Energy quality and energy surplus in the extraction of fossil fuels in the U.S". *Ecological Economics*, 6 (2), 139–162.

Cleveland, C. (2005): „Net energy from the extraction of oil and gas in the United States". *Energy*, 30 (5), 769–782.

Cohen, B. (2011, 28. Januar): „A Tangled Mess – Why Oil Mixes With Gold". *SafeHaven. Preservation of Capital*. http://www.safehaven.com/article/19811/a-tangled-mess-why-oil-mixes-with-gold (Zugriff: 18.2.2011).

Collins, T. & Bolin, B. (2007): „Characterizing vulnerability to water scarcity: The case of a groundwater-dependent, rapidly urbanizing region". *Environmental Hazards*, *7* (4), 399–418.

Conforti, P. & Giampietro, M. (1997): „Fossil energy use in agriculture: an international comparison". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 65 (3), 231–243.

Creutz, H. (2001): *Das Geld-Syndrom. Wege zu einer krisenfreien Wirtschaftsordnung*. München: Ullstein.

Croft, G. & Patzek, T. (2009): „Potential for Coal-to-Liquids Conversion in the U.S.-Resource Base". *Natural Resources Research*, 18 (3), 173–180.

Daly, H. (1993): „Sustainable Growth: An Impossibility Theorem", in H. Daly & K. Townsend (Hg.): *Valuing the Earth : Economics, ecology, ethics*. Cambridge (MA): MIT Press, (267–273).

Daly, H. (1997): *Beyond growth: the economics of sustainable development.* Boston: Beacon.

Daly, H. & Farley, J. (2004): *Ecological economics: principles and applications*. Washington: Island Press.

Daly, H. & Green, T. (2008): „The Crisis". *Adbusters Journal of the mental environment*, 81. https://www.adbusters.org/magazine/81/the_crisis.html (Zugriff: 12.2.2011).

Daly, H. (1985): „Ultimate confusion: The economics of Julian Simon". *Futures*, 17 (5), 446–450.

DCPS – Dynamic Cities Project Society. (2011): „Energy Transition. An overview". *Dynamic Cities Project*. http://dynamiccities.org/the-coming-energy-transition/ (Zugriff: 7.5.2011).

Denkwerk Zukunft. (2010): „Wirtschaften unter Bedingungen stagnierenden bzw. sinkenden materiellen Wohlstands". *Denkwerk Zukunft. Stiftung kulturelle Erneuerung*. http://www.denkwerkzukunft.de/index.php/aktivitaeten/index/WirtschaftApril2010 (Zugriff: 8.5.2011).

Deutsche Bundesregierung. (2010, 26. November): Drucksache 17/4007. Vorbereitung Deutschlands auf Peak Oil und seine Folgen. Antwort auf die Kleine Anfrage 17/3765.

Deutscher Bundestag. (2011): Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität – Wege zu nachhaltigem Wirtschaften und gesellschaftlichem Fortschritt in der Sozialen Marktwirtschaft". http://www.bundestag.de/bundestag/ausschuesse17/gremien/enquete/wachstum/index.jsp (Zugriff: 22.5.2011).

Diamond, J. (2006): *Collapse. How societies choose to fail or succeed*. New York: Penguin.

Dietz, T., Rosa, E. A. & York, R. (2010): „Human Driving Forces of Global Change: Dominant Perspectives", in E. Rosa, A. Diekmann, T. Dietz & C. Jaeger (Hg.): *Human footprints on the global environment: threats to sustainability*. Cambridge (MA): MIT Press, (83–134).

Dietz, T., Stern, P. C. & Rycroft, R. W. (1989): „Definitions of conflict and the legitimation of resources: The case of environmental risk". *Sociological Forum*, 4 (1), 47–70.

Doran, J. W. (2007): „Preface". *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22 (2), 80.

Dürr, H. (2009): *Warum es ums Ganze geht neues Denken für eine Welt im Umbruch*. München: Oekom.

Ehrlich, P. (1968): *The Population Bomb*. New York: Ballantine Books.

Entman, R. M. (1993): „Framing: Toward clarification of a fractured paradigm". *Journal of communication*, 43 (4), 51–58.

Esping-Andersen, G. (1990): *The three worlds of welfare capitalism*. Princeton University Press.

Ewing, B., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A., Moore, D. & Wackernagel, M. (2009): *The Ecological Footprint Atlas 2009*. Oakland: Global Footprint Network. http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/ (Zugriff: 22.1.2011).

Farkas, T. (2008): *The Investor's Guide to the Energy Revolution*. Lulu.com.

FAZ.net. (2009, 30. September): Josef Ackermann und Hans Christoph Binswanger: „Es fehlt das Geld. Nun gut, so schaff es denn!". http://www.faz.net/s/Rub58241E4DF1B149538ABC24D0E82A6266/Doc~E10569058E50A4F888BFCCAD3B5A4648C~ATpl~Ecommon~Scontent.html (Zugriff: 4.3.2011).

Foerster, H. V. (1993): *Wissen und Gewissen: Versuch einer Brücke*. Suhrkamp Verlag.

Forschungsverbund Erneuerbare Energien. (2010): *Energiekonzept 2050. Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien*. Berlin: Fachausschuss „Nachhaltiges Energiesystem 2050" des ForschungsVerbunds Erneuerbare Energien. http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf (Zugriff: 5.5.2011).

Forsyth, T. (2003): *Critical political ecology*. London: Routledge.

Forsyth, T. (2008): „Political ecology and the epistemology of social justice". *Geoforum*, 39 (2), 756–764.

Forum Wissenschaft & Umwelt (Hg.). (2009): *Nachhaltiges Wachstum?* Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär. Wien.

Foss, N. (2007, 20. März): „Entropy and Empire". *The Oil Drum: Canada*. http://canada.theoildrum.com/node/2381?nocomments (Zugriff: 18.2.2011).

Foss, N. (2008, 7. Dezember): Energy, Finance and Hegemonic Power. *The Automatic Earth*. http://theautomaticearth.blogspot.com/2008/12/debt-rattle-december-7-2008-energy.html (Zugriff: 18.2.2011).

Foucher, S. (2009, 7. Juli): „Peak Oil Update – July 2009: Production Forecasts and EIA Oil Production Numbers". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/5521?nocomments (Zugriff: 5.11.2010).

Frankfurter Rundschau. (2010, 17. September): FR-Interview mit Erfinder der Öko-Steuer: „Materialismus ist Gefahr für die Umwelt". http://www.fr-online.de/wirtschaft//-/1472780/4654840/-/index.html (Zugriff: 12.3.2011).

Fraunhofer ISI. (2010): „Vergleich von Strom und Wasserstoff als CO2-freie Endenergieträger". *Frauenhofer Institut für System- und Innovationsforschung*. http://isi.fraunhofer.de/isi-de/e/download/publikationen/Endbericht_H2_vs_Strom-final.pdf (Zugriff: 3.5.2011).

Fraunhofer ISI. (2011): „Mobilitätsszenarien der Zukunft". *Frauenhofer Institut für System- und Innovationsforschung*. http://isi.fraunhofer.de/elektromobilitaet/ (Zugriff: 1.5.2011).

Friedrichs, J. (2010): „Global energy crunch: How different parts of the world would react to a peak oil scenario". *Energy Policy*, 38 (8), 4562–4569.

Frontal21. (2010, 10. August): „Öl: Explodieren die Spritpreise?". *ZDF*. http://www.zdf.de/ZDFmediathek/beitrag/video/1111002/Oel-Explodieren-die-Spritpreise%253F-#/beitrag/video/1111002/Oel-Explodieren-die-Spritpreise%253F (Zugriff: 20.11.2010).

Gagnon, N., Hall, C. & Brinker, L. (2009): „A Preliminary Investigation of Energy Return on Energy Investment for Global Oil and Gas Production". *Energies*, 2 (3), 490–503.

Gately, M. (2007): „The EROI of U.S. offshore energy extraction: A net energy analysis of the Gulf of Mexico“. *Ecological Economics*, 63 (2–3), 355–364.

Georgescu-Roegen, N. (1971): *The entropy law and the economic process*. Cambridge (MA): Harvard University Press.

Georgescu-Roegen, N. (1975): „Energy and Economic Myths“. *Southern Economic Journal*, *41*(3), 347–381.

Georgescu-Roegen, N. (1986): „The entropy law and the economic process in retrospect“. *Eastern economic journal*, 12 (1), 3–25.

Gesellschaft für Strahlenschutz. (2011, 23. März): „Die Gesellschaft für Strahlenschutz warnt: Supergau in Fukushima 1. Pressmitteilung“. *Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.* http://www.gfstrahlenschutz.de/pm110323.htm (Zugriff: 24.3.2011).

Gever, J., Kaufmann, R. Stoke, D. & Vörösmarty, C. (1986): *Beyond Oil: The Threat to Food and Fuel in the Coming Decades*. Cambridge (MA): Ballinger.

Giampietro, M. (2006): „Comments on ‚The Energetic Metabolism of the European Union and the United States‘ by Haberl and Colleagues“. *Journal of Industrial Ecology*, 10 (4), 173–185.

Giampietro, M. (2008): „Studying the Addiction to Oil of Developed Societies Using the Multi-Scale Integrated Analysis of Societal Metabolism (MSIASM)“, in F. Barbir & S. Ulgiati (Hg.): *Sustainable Energy Production and Consumption and Environmental Costing*, NATO Science for Peace and Security Series. Dordrecht: Springer.

Giampietro, M. & Mayumi, K. (2008): „Complex Systems Thinking and Renewable Energy Systems“, in D. Pimentel (Hg.): *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Dordrecht: Springer, (173–213).

Giampietro, M. & Mayumi, K. (2009): *The biofuel delusion: the fallacy of large-scale agro-biofuel production*. London: Earthscan.

Giampietro, M., Mayumi, K. & Ramos-Martin, J. (2006): „How serious is the addiction to oil of developed society? A multi-scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism: Part 2". *International Journal of Transdisciplinary Research*, 1 (2), 42–92.

Giddens, A. (1984): *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. Cambridge: Polity press.

Goffman, E. (1986): *Frame Analysis: An Essay on the Organization of Experience*. Northeastern University Press.

Grantham, J. (2011, April): „Time to Wake Up: Days of Abundant Resources and Falling Prices Are Over Forever". *GMO Quarterly Letter.* http://www.gmo.com/websitecontent/JGLetterALL_1Q11.pdf (Zugriff: 3.5.2011).

Greene, D. (2004): „Transportation and Energy, Overview", in C. Cleveland (Hg.): *Encyclopedia of Energy*. Elsevier, (Bd. 6, 179–188).

Haberl, H., Weisz, H., Amann, C., Bondeau, A., Eisenmenger, N., Erb, K. & Fischer-Kowalski, M.(2006): „The Energetic Metabolism of the European Union and the United States". *Journal of Industrial Ecology*, 10 (4), 151–171.

Hagens, N. (2008, 15. August): „Unconventional Oil: Tar Sands and Shale Oil". *The Oil Drum: Net Energy*. http://www.theoildrum.com/node/3839 (Zugriff: 19.5.2011).

Hagens, N. (2009, 28. Mai): „A Net Energy Parable Revisited". *The Oil Drum: Net Energy*. http://campfire.theoildrum.com/node/5436?nocomments (Zugriff: 30.7.2010).

Haggard, S. & Noland, M. (2009): „Famine in North Korea Redux?“. *Journal of Asian Economics*, 20 (4), 384–395.

Hall, C. (2008): „The Energy Return of Nuclear Power (EROI on the Web-Part 4)“. *The Oil Drum: Net Energy*. http://www.theoildrum.com/node/3877?nocomments (Zugriff: 30.7.2010).

Hall, C., Balogh, S. & Murphy, D. (2009): „What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have?“. *Energies*, 2 (1), 25–47.

Hall, C., Tharakan, P., Hallock, J., Cleveland, C. & Jefferson, M. (2003): „Hydrocarbons and the evolution of human culture“. *Nature*, 426 (6964), 318–322.

Hallsmith, G. & Lietaer, B. (2011): *Creating Wealth: Growing Local Economies with Local Currencies*. New Society Publishers.

Hamilton, J. (2011): *Historical Oil Shocks*. NBER Working Paper.

Hammerschlag, R. (2006): „Ethanol's Energy Return on Investment: A Survey of the Literature 1990−Present“. *Environmental Science & Technology*, 40 (6), 1744–1750.

Heinberg, R. (2007): *Peak Everything: Waking Up to the Century of Declines*. New Soc Press.

Heinberg, R. (2011, 15. Mai): „Peak oil: a chance to change the world“. *Energy Bulletin*. http://www.energybulletin.net/stories/2011-05-16/peak-oil-chance-change-world (Zugriff: 19.6.2011).

Hirsch, R. (2005): Hirsch-Report. www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf (Zugriff: 20.10.2010).

Hirsch, R. (2007): „Peaking of World Oil Production: Recent Forecasts“. *DOE/NETL-2007/1263.* http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/Peaking%20of%20World%20Oil%20Production%20-%20Recent%20Forecasts%20-%20NETL%20Re.pdf (Zugriff: 20.4.2011).

Hirsch, R. (2010): Peak oil : „A conspiracy to keep it quiet“ in Washington, says Robert Hirsch. http://petrole.blog.lemonde.fr/2010/09/16/interview-with-robert-l-hirsch-22/ (Zugriff: 20.4.2011).

Holmgren, D. (2002): *Permaculture: Principles & pathways beyond sustainability*. Chelsea Green.

Holt-Giménez, E. (2007): „Sprit vom Acker. Fünf Mythen vom Übergang zu Biokraftstoffen“. *Le Monde diplomatique, deutsche Ausgabe*, (8294), 12–13.

Holzer, S. (2008): *Sepp Holzers Permakultur: praktische Anwendung für Garten, Obst und Landwirtschaft*. Stocker.

Homer-Dixon, T. (2007): *The upside of down: catastrophe, creativity and the renewal of civilization*. London: Souvenir.

Höök, M., Hirsch, R. & Aleklett, K. (2009b): „Giant oil field decline rates and their influence on world oil production“. *Energy Policy*, 37 (6), 2262–2272.

Höök, M., Söderbergh, B., Jakobsson, K. & Aleklett, K. (2009a): „The Evolution of Giant Oil Field Production Behavior“. *Natural Resources Research*, 18 (1), 39–56.

Hopkins, R. (2008): *Energiewende: Das Handbuch. Anleitung für zukunftsfähige Lebensweisen*. Frankfurt/M.: Zweitausendeins.

Howard, J. (2006): „Printed media coverage of ‘Peak Oil’: A crude statistical review“. http://www.powerswitch.org.uk/portal/images/stories/papers/poitmacsr.pdf (Zugriff: 20.4.2011).

Hubbert, M. K. (1956): „Nuclear Energy and the Fossil Fuels“. http://www.energybulletin.net/node/13630 (Zugriff: 26.4.2011).

IEA. (2006): *World Energy Outlook 2006*. International Energy Agency.

IEA. (2010): *World Energy Outlook 2010*. International Energy Agency.

IIER. (2010, 26. Juni): „Fake firemen – why are we cheating ourselves on energy?“. *Institute for Integrated Economic Research*. http://www.iier.ch/content/fake-firemen-why-are-we-cheating-ourselves-energy (Zugriff: 23.7.2010).

International Herald Tribune. (2005, 2. Dezember): „A world without easy oil: What now?“. http://www.nytimes.com/2005/12/02/your-money/02iht-mround03.html?_r=1&sq=Franssen&st=cse&scp=4&pagewanted=all (Zugriff: 25.4.2011).

Jackson, T. (2009): *Prosperity without growth. Economics for a finite planet*. London: Earthscan.

Jackson, W. (2010): „The 50-Year Farm Bill“. *Solutions Journal*, 1 (3), 28–35.

Jaeger, C., Paroussos, L., Mangalagiu, D., Kupers, R., Mandel, A. & Tàbara, J. (2011): *A New Growth Path for Europe. Generating Prosperity and Jobs in the Low-Carbon Economy Synthesis Report*. Potsdam: European Climate Forum e.V.

Jakobsson, K., Söderbergh, B., Höök, M. & Aleklett, K. (2009): „How reasonable are oil production scenarios from public agencies?“. *Energy Policy*, 37 (11), 4809–4818.

Kasperson, J., Kasperson, R. & Turner II, B. (2010): „Vulnerability of Coupled Human-Ecological Systems to Global Environmental Change“, in E. Rosa, A. Diekmann, T. Dietz & C. Jaeger (Hg.): *Human footprints on the global environment: threats to sustainability*. Cambridge (MA): MIT Press, (232–294).

Kaufmann, R. & Shiers, L. D. (2008): „Alternatives to conventional crude oil: When, how quickly, and market driven?“. *Ecological Economics*, 67 (3), 405–411.

Kennedy, M. (2005): „Komplementärwährungen zur wirtschaftlichen Lösung sozialer Probleme“. *Zeitschrift für Sozialökonomie*, 144, 20–28.

Kennedy, M. (2010): „Müssen wir das Geld neu erfinden?“. http://www.margritkennedy.de/media/interview30_08_10mk_26.pdf (Zugriff: 5.4.2011).

Kennedy, M. & Lietaer, B. A. (2004): *Regionalwährungen: Neue Wege zu nachhaltigem Wohlstand*. Riemann Verlag.

Kerschner, C. & Hubacek, K. (2009): „Erratum to „Assessing the suitability of Input-Output analysis for enhancing our understanding of potential effects of Peak-Oil“ [Energy (2008) 34: 284–290]“. *Energy*, 34 (10), 1662–1668.

König, J. (2011): „Entwicklung und Nachhaltigkeit. Kritische Betrachtung von zwei dehnbaren Konzepten“, in J. König & J. Thema (Hg.): *Nachhaltigkeit in der Entwicklungszusammenarbeit. Theoretische Konzepte, strukturelle Herausforderungen und praktische Umsetzung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, (41–68).

Kostic, M. (2004): „Work, Power, and Energy“, in C. Cleveland (Hg.): *Encyclopedia of Energy*. New York: Elsevier, (Bd. 6, 527–538).

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K., Haberl, H. & Fischer-Kowalski, M. (2009): „Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century“. *Ecological Economics*, 68 (10), 2696–2705.

Kubiszewski, I. & Cleveland, C. (2009): „Energy return on investment (EROI) for photovoltaic energy“, in C. Cleveland (Hg.): *Encyclopedia of Earth*. Washington, D.C.: Environmental Information Coalition. http://www.eoearth.org/article/Energy_return_on_investment_(EROI)_for_photovoltaic_energy (Zugriff: 4.4.2011).

Kubiszewski, I., Cleveland, C. & Endres, P. (2010): „Meta-analysis of net energy return for wind power systems“. *Renewable Energy*, 35 (1), 218–225.

Kümmel, R. (1998): *Energie und Kreativität*. Stuttgart, Leipzig: Teubner Verlag.

Kümmel, R., Ayres, R. & Lindenberger, D. (2010): „Thermodynamic Laws, Economic Methods and the Productive Power of Energy“. *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, 35 (2). http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user/Veroeff/2010_Lindenberger_Lawsmethods.pdf (Zugriff: 2.4.2011).

Linz, M. & Scherhorn, G. (2011): „Für eine Politik der Energie-Suffizienz“. *Impulse zur WachstumsWende*. Wuppertal: Wuppertal Institut. http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/Impulse_Energiesuffizienz.pdf (Zugriff: 3.6.2011).

Liverman, D. (1990): „Vulnerability to global environmental change“, in R. Kasperson, K. Dow & J. Kasperson (Hg.): *Understanding global environmental change: the contributions of risk analysis and management*. Earth Transformed Program, Clark University, (27–44).

Liverman, D. (2001): „Vulnerability to global environmental change“, in J. Kasperson & R. Kasperson (Hg.): *Global environmental risk*. New York, London: United Nations University Press (201–216).

Lloyd, B. & Forest, A. S. (2010): „The transition to renewables: Can PV provide an answer to the peak oil and climate change challenges?“. *Energy Policy*, 38 (11), 7378–7394.

Mathis, F. (1992): *Die deutsche Wirtschaft im 16. Jahrhundert*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag.

Mauriaud, P. (2011, 27. April): „Total's view on future oil production“. *9th Annual ASPO conference 27–29 April, Brüssel.* http://www.aspo9.be/assets/ASPO9_Wed_27_April_Mauriaud.pdf (Zugriff: 5.6.2011).

Max-Neef, M. (1992): „Development and human needs“, in P. Ekins & M. Max-Neef (Hg.): *Real-life Economics. Understanding Wealth Creation*. London: Routledge, (197–213).

McKinsey. (2010): *ROADMAP 2050. Vollversorgung Europas mit Ökostrom: realistisch, sicher, bezahlbar*. Europäische Klimastiftung (Hg.). http://www.roadmap2050.eu (Zugriff: 4.4.2011).

McLaughlin, P. & Dietz, T. (2008): „Structure, agency and environment: Toward an integrated perspective on vulnerability“. *Global Environmental Change*, 18 (1), 99–111.

Meadows, D., Meadows, D., Randers, J. & Behrens, W. (1972): *Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

Merten, K. (1999): *Einführung in die Kommunikationswissenschaft. Grundlagen der Kommunikationswissenschaft* (Bd. 1). Münster: Lit Verlag.

Minera Escondida Limitada. (2010a): „Estados Financieros 2009“. http://www.escondida.cl/mel/descargas/Informe_Sust_MEL_2009.pdf (Zugriff: 5.4.2011).

Minera Escondida Limitada. (2010b): „Informe de Sustentabilidad 2009“. http://www.escondida.cl/mel/descargas/Estados_Financieros_MEL_2009.pdf (Zugriff: 5.4.2011).

Mobus, G. (2010, 5. August): „Peak Oil: How Supply Crunch Can Lead to Lower Prices (for a while!)“. *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/6814?nocomments (Zugriff: 5.8.2010).

Monitor. (2010, 9. September): „Nach der BP-Katastrophe – Das Ende des Erdölzeitalters“. *ARD*. http://www.wdr.de/tv/monitor/ (Zugriff: 22.1.2011).

Mudd, G. (2009): „Historical Trends in Base Metal Mining: Backcasting to Understand the Sustainability of Mining“. *48th Annual Conference of Metallurgists.* Canadian Metallurgical Society, Sudbury (Ontario, Canada).

Münch, R. (2009): „Wachstum und Freiheit. Ist Wirtschaftswachstum die Basis für Demokratie und Liberalität?“, in Forum Wissenschaft & Umwelt (Hg.): *Nachhaltiges Wachstum?* Wien, (150–156).

Munn, T. (2002): „Preface to the Encyclopedia of Global Environmental Change“, in M. MacCracken & J. Perry (Hg.): *Volume One: The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. Encyclopedia of global environmental change*. Chichester: John Wiley & Sons, (Bd. 1, xi–xv).

Murphy, D. (2010, 17. Dezember): „Does Peak Oil Even Matter?“. *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7246?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+theoildrum+%28The+Oil+Drum%29 (Zugriff: 19.12.2010).

Murphy, D. & Hall, C. (2010): „Year in review-EROI or energy return on (energy) invested“. *Ecological Economics Reviews*, 1185, 102–118.

Murphy, D. & Hall, C. (2011): „Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth“. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219 (1), 52–72.

Murphy, D., Hall, C. & Powers, B. (2010): „New perspectives on the energy return on (energy) investment (EROI) of corn ethanol“. *Environment, Development and Sustainability*, 1 (13), 179–202.

Nelder, C. (2007a, 25. August): „Tar Sands: The Oil Junkie's Last Fix, Part 1“. *The Oil Drum: Canada*. http://canada.theoildrum.com/node/2915?nocomments (Zugriff: 18.2.2011).

Nelder, C. (2007b, 9. September): „Tar Sands: The Oil Junkie's Last Fix, Part 2“. *The Oil Drum: Canada*. http://canada.theoildrum.com/node/2931?nocomments (Zugriff: 18.2.2011).

Neue Osnabrücker Zeitung. (2011, 28. April): „Osnabrücker Initiative macht sich für regionale Lebensmittel stark“. http://www.noz.de/lokales/53751106/osnabruecker-initiative-macht-sich-fuer-regionale-lebensmittel-stark (Zugriff: 2.5.2011).

Norgate, T. & Haque, N. (2010): „Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations“. *Journal of Cleaner Production*, 18 (3), 266–274.

Odell, P. (2010): „Our long-term energy future: a reality check“. *European Energy Review*. http://www.europeanenergyreview.eu/index.php?id_mailing=20&toegang=98f13708210194c475687be6106a3b84&id=1601 (Zugriff: 12.1.2011).

Odum, H. (2007): *Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy*. New York: Columbia University Press.

OECD & IEA. (2008): „World Energy Outlook 2008. Zusammenfassung“. http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_german.pdf (Zugriff: 3.3.2011).

OECD & IEA. (2011): „IEA Energy Statistics – 2008 Energy Balances for OECD Total". http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=28 (Zugriff: 6.4.2011)

Oliver-Smith, A. (2004): „Theorizing Vulnerability in a Globalized World: A Political Ecological Perspective", in G. Bankoff, G. Frerks & D. Hilhorst (Hg.): *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. London: Earthscan, (10–24).

Orlov, D. (2008): *Reinventing collapse: the Soviet example and American prospects*. Gabriola Island (BC): New Society Publishers.

Orta-Martínez, M. & Finer, M. (2010): „Oil frontiers and indigenous resistance in the Peruvian Amazon". *Ecological Economics*, 70 (2), 207–218.

Paech, N. (2011, 9. Februar): „Brücken zwischen Post-Wachstums-Ökonomik und moderner klassischer Ökonomie". Vortrag auf der Ringvorlesung WachstumsWende, Wuppertal Institut.

Papong, S., Chom-In, T., Noksa-nga, S. & Malakul, P. (2010): „Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand". *Energy Policy*, 38 (1), 226-233.

Pfeiffer, D. (2006): *Eating fossil fuels: oil, food and the coming crisis in agriculture*. Gabriola Island BC: New Society Publishers.

Pimentel, D. (2003): „Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are negative". *Natural Resources Research*, 12 (2), 127–134.

Pimentel, D. (Hg.) (2008): *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Dordrecht: Springer.

Pimentel, D., Doughty, R., Carothers, C., Lamberson, S., Bora, N. & Lee, K. (2008): „Energy Inputs in Crop Production in Developing and Developed Countries“, in D. Pimentel & M. Pimentel (Hg.): *Food, energy, and society*. New York: CRC Press, (137–159).

Pimentel, D. & Patzek, T. (2008a): „Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower“, in D. Pimentel & M. Pimentel (Hg.): *Food, energy, and society*. New York: CRC Press, (311–331).

Pimentel, D. & Patzek, T. (2008b): „Ethanol Production: Energy and Economic Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane“, in D. Pimentel (Hg.): *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Dordrecht: Springer, (357–371).

Pimentel, D. & Pimentel, M. (2008): *Food, energy, and society*. New York: CRC Press.

Pinzler, P. (2011, 19. Mai): „Die Grünen: ... und plötzlich reich“. *Zeit Online*. http://www.zeit.de/2011/21/Landtagswahl-Schleswig-Holstein?page=all (Zugriff: 20.5.2011).

Polimeni, J., Mayumi, K., Giampietro, M. & Alcott, B. (2008): *The Jevons paradox and the myth of resource efficiency improvements*. London: Earthscan.

Pommeresche, H. (2004): *Humussphäre: Humus – ein Stoff oder System?* Xanten: Organischer Landbau.

Prisching, M. (2009): „Fetisch Wachstum. Die politische Ausweglosigkeit der Steigerungsprogrammatik“, in Forum Wissenschaft & Umwelt (Hg.): *Nachhaltiges Wachstum?* (136–149). Wien.

Raffer, K. (2011): „Finanzkrise und Staatsinsolvenzen. Marktlösung statt Spekulantensubvention“. *Zeitschrift für Außen- und Sicherheitspolitik*. doi:10.1007/s12399-011-0188-5.

Rosa, E., Diekmann, A., Dietz, T. & Jaeger, C. (Hg.). (2010): *Human footprints on the global environment: threats to sustainability*. Cambridge (MA): MIT Press.

Rosa, E. (1998): „Metatheoretical foundations for post-normal risk". *Journal of Risk Research*, 1 (1), 15–44.

Rose, K. (2011, 23. Juni): Experteninterview zu Peak Oil. Interviewer: J. König.

Rubin, J. (2008): „Just How Big is Cleveland?". *StrategEcon*, CIBC World Markets. http://research.cibcwm.com/economic_public/download/sapr08.pdf (Zugriff: 29.3.2011).

Rubin, J. (2011a, 3. Februar): „Only A Recession Stands in the Way of $200 Oil". *Jeff Rubin's Smaller World*. http://www.jeffrubinssmallerworld.com/2011/03/02/only-a-recession-stands-in-the-way-of-200-oil/ (Zugriff: 30.4.2011).

Rubin, J. (2011b, 4. Mai): „PIGS Don't Get To Burn Oil". *Jeff Rubin's Smaller World*. http://www.jeffrubinssmallerworld.com/2011/05/04/pigs-don%e2%80%99t-get-to-burn-oil/ (Zugriff: 22.5.2011).

Samuelson, P. & Nordhaus, W. D. (2007): *Volkswirtschaftslehre: das internationale Standardwerk der Makro- und Mikroökonomie*. Landsberg: Mi-Fachverlag Redline.

Scheer, H. (2005): *Energieautonomie: Eine neue Politik für erneuerbare Energien*. München: Kunstmann.

Schlesinger, J. (2010, 1. November): „Dr. James Schlesinger: ‚The Peak Oil Debate is Over' at ASPO-USA Conference". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7083?nocomments (Zugriff: 1.11.2010).

Schmitz, J. (2007): *The second law of life: energy, technology, and the future of Earth as we know it*. Norwich (NY): William Andrew Publishing.

Sen, A. (1981): *Poverty and famines an essay on entitlement and deprivation*. Oxford: Oxford Univiversity Press.

Simon, J. (1981): *The ultimate resource*. Oxford: Robertson.

Snow, D., Rochford, E., Worden, S. & Benford, R. (1986): „Frame Alignment Processes, Micromobilization, and Movement Participation". *American Sociological Review*, 51 (4), 464–481.

Spangenberg, J. (2010): „World civilisations at crossroads: Towards an expansionist or a sustainable future – Lessons from history". *Futures*, 42 (6), 565–573.

Speidell, L. (2010, 14. Januar): „Strange New World". *Frontier Market Asset Management.* http://www.cfacincinnati.org/Documents/Speidell %20Presentation%20-%20Handout%20-%201-14-10.pdf (Zugriff: 24.4.2011).

Spiegel Online. (2005, 29. Dezember): „Tiefseebohrung: Brasilien entdeckt Riesen-Ölfeld". http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,392676,00.html (Zugriff: 4.6.2011).

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2011): „Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung". http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_Sondergutachten_100Prozent_Erneuerbare.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff: 30.5.2011).

Staniford, S. (2008): „The Fallacy of Reversibility". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/3481 (Zugriff: 6.4.2011).

Sullivan, P. (2006): „Wildcats And Tigers: China's Oil Acquisition Strategy and Potential Outcomes". http://www.mr-ev.com/oildrum/wildcatsandtigers3.pdf (Zugriff: 23.5.2011).

Summers, D. (2011, 21. März): „The Japanese fuel crisis“. *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7697?nocomments (Zugriff: 22.3.2011).

Tainter, J. (2004): „Sociopolitical Collapse, Energy and“, in C. Cleveland (Hg.): *Encyclopedia of Energy*. New York: Elsevier, (Bd. 5, 529–543).

Tainter, J. (1990): *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge University Press.

Tainter, J. (2006): „Social complexity and sustainability“. *Ecological Complexity*, 3 (2), 91–103.

The Australian. (2011, 16. März): „Japan pleads 'we need the world's help'“. http://www.theaustralian.com.au/news/breaking-news/japan-pleads-we-need-the-worlds-help/story-fn3dxity-1226022666851 (Zugriff: 20.3.2011).

Trainer, T. (2007): *Renewable energy cannot sustain a consumer society*. Dordrecht: Springer.

Transition Town Bielefeld. (2010): „AG Verkehr“. *Transition Town Bielefeld*. http://www.ttbielefeld.de/content/ag-verkehr (Zugriff: 9.6.2011).

Transition Town Totnes. (2011): „Totnes Pound Project“. *Transition Town Totnes*. http://www.transitiontowntotnes.org/totnespound/home (Zugriff: 9.6.2011).

Transition Town Witzenhausen. (2011):“ Atomausstieg selber machen – Bürgersolaranlage startet im Mai“. *Transition Town Witzenhausen – Stadt im Wandel*. http://www.transition-town-witzenhausen.de/77-projekte/94-atomausstieg-selber-machen-buergersolaranlage-startet-im-mai.html (Zugriff: 9.6.2011).

Turner II, B. (2010): „Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?“. *Global Environmental Change*, 20 (4), 570–576.

Turner II, B., Kasperson, R., Matson, P., McCarthy, J., Corell, R., Christensen, L. & Eckley, N. (2003): „A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (14), 8074–8079.

Tverberg, G. (2010, 11. November): „IEA World Energy Outlook 2010: Questionable Assumptions and Major Omissions". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7102?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+theoildrum+%28The+Oil+Drum%29 (Zugriff: 12.11.2011).

Tverberg, G. (2011a, 25. März): „WSJ, Financial Times Raise Issue of Oil Prices Causing Recession". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7562?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+theoildrum+%28The+Oil+Drum%29 (Zugriff: 26.3.2011).

Tverberg, G. (2011b, 2. Mai): „Peak Oil – April 2011 Update". *The Oil Drum*. http://www.theoildrum.com/node/7831 (Zugriff: 3.5.2011).

UNEP. (2011): *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. http://www.unep.org/GreenEconomy/Portals/93/documents/Full_GER_screen.pdf (Zugriff: 30.5.2011).

US-Botschaft Riad. (2007, 10. Dezember): „Cable 07RIYADH2441". *Wikileaks*. http://www.wikileaks.de/cable/2007/12/07RIYADH2441.html (Zugriff: 12.2.2011).

Wallgren, C. & Höjer, M. (2009): „Eating energy – Identifying possibilities for reduced energy use in the future food supply system". *Energy Policy*, 37 (12), 5803–5813.

Weber, M. (1986/1920): *Gesammelte Aufsätze zur Religionssoziologie. Bd 1.* Tübingen: Mohr Siebeck. http://www.zeno.org/nid/20011440473 (Zugriff: 20.3.2011).

Weinberg, A., Schnaiberg, A. & Gould, K. (2000): *Urban recycling and the search for sustainable community development*. Princeton: Princeton University Press.

Weiß, U. (1998): „Moderne", in D. Nohlen (Hg.): *Lexikon der Politik. Band 7: Politische Begriffe*. München: C.H. Beck (395–396).

Weizsäcker, E. U. V., Hargroves, K. & Smith, M. (2010): *Faktor Fünf: Die Formel für nachhaltiges Wachstum*. München: Droemer.

WGBU. (2011): *Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.

Whipple, T. (2011): „Peak Oil and the Great Recession", in Post Carbon Institute (Hg.): *The Post Carbon Reader Series: Energy*. http://www.postcarbon.org/Reader/PCReader-Whipple-Oil.pdf (Zugriff: 7.6.2011).

Wiemann, J. (2011): „Von einer Weltwirtschaftskrise zur nächsten. Die Rolle der Weltfinanz- und Welthandelsordnung für nachhaltige Entwicklung", in J. König & J. Thema (Hg.): *Nachhaltigkeit in der Entwicklungszusammenarbeit. Theoretische Konzepte, strukturelle Herausforderungen und praktische Umsetzung.* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, (97–119).

Wilkinson, R. G. (1973): *Poverty and progress*. London: Methuen.

Windsperger, A. & Forum Wissenschaft & Umwelt (Hg.). (2008): *Energiezukunft. Energieprognosen und politisches Handeln, Energiesysteme und globale Strukturen, Energiewende in Österreich, Energiestile und Verhaltensänderung*. Wissenschaft & Umwelt interdisziplinär. Wien. http://fwu.at/wu_print/2008_11_energiezukunft.pdf (Zugriff: 2.2.2011).

World Resources Institute. (2011): „Searchable Database – Energy and Resources“. *EarthTrends. The Environmental Information Portal*. http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.php?theme=6 (Zugriff: 22.3.2011).

Wright, J. (2009): *Sustainable agriculture and food security in an era of oil scarcity : lessons from Cuba*. London: Earthscan.

Yergin, D. (1991): *The prize. The epic quest for oil, money, and power*. New York: Simon & Schuster.

Zentrum für Transformation der Bundeswehr. (2011): *Peak Oil. Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen*. Strausberg. http://peak-oil.com/download/Peak%20Oil.%20Sicherheitspolitische%20Implikationen%20knapper%20Ressourcen%2011082010.pdf (Zugriff: 3.4.2011).