

S O C I A L E C O L O G Y W O R K I N G P A P E R 1 2 8

Sylvia Gierlinger

**Die langfristigen Trends der Material- und
Energieflüsse in den USA in den Jahren
1850 bis 2005**

Sylvia Gierlinger (2010):

Die langfristigen Trends der Material - und Energieflüsse in den USA in den Jahren 1850 bis 2005

Social Ecology Working Paper 128, Vienna

Social Ecology Working Paper 128
Vienna, August 2010

ISSN 1726-3816

Institute of Social Ecology
IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies (Klagenfurt, Graz, Vienna)
Alpen-Adria Universitaet
Schottenfeldgasse 29
A-1070 Vienna
+43-(0)1-522 40 00-403

www.aau.at/socec
workingpaper@aau.at
© 2011 by IFF – Social Ecology

**Die langfristigen Trends der Material- und
Energieflüsse in den USA in den Jahren
1850 bis 2005***

von

Sylvia Gierlinger

** Masterarbeit verfasst am Institut für Soziale Ökologie (IFF-Wien), Studium der Sozial- und Humanökologie. Diese Arbeit wurde betreut von Univ.-Prof. Dr. Fridolin Krausmann.*

Danksagung

Ich möchte mich bei allen Menschen bedanken, die dazu beigetragen haben, dass diese Abschlussarbeit entstanden ist. Insbesondere bedanke ich mich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Fridolin Krausmann für die hervorragende Unterstützung. Für das Korrekturlesen und kritische Diskussionen bedanke ich mich bei Roland Jöbstl, Anouk Krammer, Martin Pühringer, Raphael Seiwald und Mirjam Weber. Für die moralische Unterstützung bedanke ich mich bei meinen FreundInnen und Eltern.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wird die langfristige Entwicklung von Material- (1870-2005) und Energieflüssen (1850-2005) in den USA untersucht. Es werden Trends der Inlandsentnahme (DE), der physischen Importe und Exporte sowie des Verbrauches (DMC, DEC) von Material und Energie dargestellt und im Kontext der industriellen Transformation diskutiert. Die Transition des Energiesystems, von einem hauptsächlich auf der Nutzung von Biomasse beruhendem System hin zu einem System, welches auf der Nutzung von fossilen Energieträgern basiert, wird nachgezeichnet. Dabei wird das Zusammenspiel von Ressourcennutzung und Wirtschaftswachstum untersucht. Die Entwicklung des gesellschaftlichen Stoffwechsels der USA wird jenem des Vereinigten Königreiches gegenübergestellt.

Auf Basis der Methode der Material- und Energieflussanalyse (MEFA) wurden umfangreiche Datenreihen zur Ressourcennutzung in den USA zusammengestellt. Aus zahlreichen nationalen und internationalen statistischen Quellen wurden Daten zur Inlandsentnahme, den Importen und Exporten von Material und Energie zusammengetragen.

Die Ergebnisse zeigen einen massiven Anstieg des Material- und Energieumsatzes im betrachteten Zeitraum. Zu Beginn war der Material- und Energieumsatz dominiert von der Nutzung von Biomasse. In den letzten Jahrzehnten des 19. Jh. folgten die USA dem Vereinigten Königreich auf dem Pfad der auf Kohlenutzung basierten Industrialisierung. Während des gesamten Zeitraumes liegt der Material- und Energieverbrauch der USA über jenem des Vereinigten Königreichs. Anfang des 20. Jh. entstand in den USA ein neues technologisches Cluster (Grübler 1992) bestehend aus dem Zusammenspiel von Erdöl, Automobil, chemischer Industrie und Elektrizität. Gemeinsam mit dem sozialökonomischen Regime des „Fordismus“ war dies die Grundlage für ein neues sozialmetabolisches Muster. Die Daten zeigen weiters einen massiven Anstieg im Material- und Energieumsatz nach der Weltwirtschaftskrise Anfang der 1930er Jahre. Dieser erfährt durch die beiden Ölkrisen in den 1970er Jahren einen starken Dämpfer. Seitdem ist der Material- und Energieumsatz pro Kopf nicht mehr darüber hinaus angestiegen. Eine Dematerialisierung der Wirtschaft fand allerdings nicht statt. Es kam lediglich zu einer relativen Entkoppelung von Material- und Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum.

ABSTRACT

In this paper long-term trends of energy and materials use in the USA from the year 1850 to 2005 are presented. The paper discusses major transitions in the physical economy of the USA and in particular the different stages of the transition of the energy system from a mainly biomass and land based energy system to a fossil fuel dominated system and the emerging patterns of natural resource use. It explores the changing relation of energy use, materials use and economic development during the period of industrialisation. It compares the development in the United States with that in the United Kingdom.

The method of economy wide material and energy flow analysis was applied to compile a comprehensive database on natural resource use in the USA. The study makes use of data on the extraction, imports and exports of materials and energy carriers from a wide range of national and international statistical sources.

The results show, that while at the beginning of the observed period, the energy system of the US was almost entirely based on biomass, from 1870, the US rapidly followed the pathway of coal based industrialisation of the UK. During the whole period the consumption of material- and energy was higher in the US than in the UK. At the beginning of the 20th century a new technology cluster consisting of oil, automobile, chemical industry and electricity emerges in the USA. Combined with a new socio-economic regime (Fordism) it formed the basis for the emergence of a new pattern of material and energy use. The data show a massive rise in material- and energy consumption after the great depression in the 1930th which lasted until the oil price shocks in the 1970th. However dematerialization of the economy did not take place.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
INHALTSVERZEICHNIS	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
TABELLENVERZEICHNIS	VIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Zur Transformation sozialmetabolischer Regimes.....	1
1.2 Historischer Überblick über die USA.....	2
1.3 Literaturübersicht.....	4
1.4 Fragestellung.....	10
2 METHODE UND DATENGRUNDLAGE	11
2.1 Das Konzept der Materialflussanalyse	11
2.1.1 Indikatoren	13
2.2 Datenquellen	14
2.3 Die methodische Vorgehensweise	17
2.3.1 Inländische Entnahme (DE) von Biomasse	17
2.3.2 DE der metallischen Erze	22
2.3.3 DE von nicht metallischen Mineralien.....	23
2.3.4 DE von fossilen Energieträgern	25
2.3.5 Außenhandel.....	26
2.3.6 Energieflussanalyse EFA.....	28
2.4 Besonderheiten der historischen Analyse	29
3 ERGEBNISSE	32
3.1 Materialflüsse	32
3.1.1 Inlandsentnahme DE	33
3.1.2 Außenhandel.....	37
3.1.3 Der Materialverbrauch DMC	41
3.2 Energieflüsse	45
3.2.1 Verbrauch Primärenergie.....	45
3.2.2 Verbrauch von Primärenergie pro Person	47
3.2.3 Transition des Energiesystems.....	47
3.3 Ressourcennutzung und Wirtschaftswachstum	50
4 DISKUSSION	53
4.1 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien	53
4.2 Die industrielle Transformation	56
4.2.1 Landnutzungsveränderungen	56
4.2.2 Phasen der industriellen Transformation aus sozialökologischer Perspektive.....	60
4.2.3 Vergleich der Transformation des Energiesystems des Vereinigtes Königreich und der Vereinigte Staaten von Amerika	69
5 SCHLUSSBETRACHTUNG	78
6 LITERATUR	80
ANHANG	XI

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Vergleich von Feuerholz aus der Produktionsstatistik und der Energiestatistik	22
Abbildung 2: Vergleich der Sand und Schotter Daten	25
Abbildung 3: Vergleich der Handelsdaten aus der UNCOMTRADE Datenbank und anderen Datenbanken in Mio. metrischen Tonnen von den Jahren 1962 bis 2003.....	28
Abbildung 4: DE, physische Importe und Exporte von 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen.....	32
Abbildung 5: DE von Materialien in den USA von den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen.....	33
Abbildung 6: DE der fossilen Energieträger in den USA von 1870 bis 2005 in Millionen Tonnen...	34
Abbildung 7: Inlandsentnahme der Biomasse in den USA von 1870 bis 2005.....	35
Abbildung 8: Nutztierbestand in den USA von 1870 bis 2005.	36
Abbildung 9: DE von ausgewählten Feldfrüchten in den USA von 1870 bis 2005	37
Abbildung 10: Die physischen Importe in die USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen...	37
Abbildung 11: Die physischen Exporte aus den USA in den Jahren 1870 bis 2005	38
Abbildung 12: Die physischen Exporte aus den USA in den Jahren 1870 bis 1920	38
Abbildung 13: Physische Handelsbilanz der USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen....	39
Abbildung 14: Physische Handelsbilanz der USA in den Jahren 1870 bis 1960 in Mio. Tonnen....	40
Abbildung 15: Der Materialverbrauch in den USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen....	41
Abbildung 16: Der Materialverbrauches pro Kopf in den USA in den Jahren 1870 bis 2005.	43
Abbildung 17: Anteil der Materialgruppen am DMC in den USA von 1870 bis 2005 in %.....	44
Abbildung 18: Der Verbrauch von Primärenergie in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.	45
Abbildung 19: Der Verbrauch von Primärenergie aus Biomasse, Kohle, Erdöl/Erdgas und Kernenergie in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.....	46
Abbildung 20: Der Verbrauch von Primärenergie pro Kopf und Jahr in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.....	47
Abbildung 21: Der Anteil ausgewählter Energieträger am DEC in %.	48
Abbildung 22: Vergleich des Material- und Energieverbrauches mit anderen sozioökonomischen Faktoren (indexierte Darstellung 1870 = 1).....	50
Abbildung 23: Vergleich der Daten mit der Studie von Matos und Wagner.....	53
Abbildung 24: Anteil des WRI DMC am vorliegenden DMC in %	54
Abbildung 25: Landnutzungsveränderungen in den USA von 1700 bis 1990	56
Abbildung 26: Ackerfläche in Millionen Hektar in den USA in den Jahren 1870 bis 2005.....	57
Abbildung 27: Ertrag der Feldfrüchte in metrischen Tonnen pro Hektar in den USA in den Jahren 1870 bis 2005.....	57
Abbildung 28: Landwirtschaftliche Bevölkerung in den USA in den Jahren 1880 bis 2005.....	58
Abbildung 29: Anzahl der Traktoren in den Farmen in den USA in den Jahren 1910 bis 1970.	59
Abbildung 30: Handelsdüngerverbrauch in den USA in den Jahren 1900 bis 2002.....	59
Abbildung 31: Phasen der industriellen Transformation in den USA von 1850 bis 2005.	61

Abbildung 32: DEC/Kopf in den USA und den Vereinigten Staaten von 1850 bis 2000.....	70
Abbildung 33: Vergleich der Anteile ausgewählter Energieträger am DEC	71
Abbildung 35: Das MFA Modell.....	XI
Abbildung 36: Nutzung von Elektrischer Energie in den USA von 1902 bis 2005.....	XI
Abbildung 37: Motorisierung in den USA von den Jahren 1900 bis 1970.	XII
Abbildung 38: Bevölkerungsentwicklung in den USA und dem Vereinigten Königreich.....	XII
Abbildung 39: Wirtschaftsentwicklung in den USA und im Vereinigten Königreich in den Jahren 1850 bis 2005.	XIII
Abbildung 40: Vergleich der Energienutzung in privaten Haushalten.....	XIII

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Materialkategorien und Datenquellen.....	14
Tabelle 2: Datenquellen zusätzlicher Indikatoren	16
Tabelle 3: Faktoren zur Umrechnung der Maßeinheiten landwirtschaftlicher Erzeugnisse in metrische Einheiten.....	18
Tabelle 4: Erntefaktoren für die Erntenebenprodukte	19
Tabelle 5: Durchschnittlicher Futterbedarf in Kilogramm Trockenmasse pro Kopf und Tag	20
Tabelle 6: Standard Faktoren um Festmeter (m ³) in Masse (mit 15% Wassergehalt)	21
Tabelle 7: Konversion von Maßeinheiten des Volumen ins metrische System	21
Tabelle 8: Die Erzgrade in den USA für das Jahr 2000 unter Berücksichtigung der Kuppelproduktion	23
Tabelle 9: Faktoren zur Schätzung des Verbrauches von Kalkgestein und Sand und Schotter	24
Tabelle 10: Umrechnungsfaktoren der fossilen Energieträger in metrische Tonnen.....	26
Tabelle 11: Durchschnittliches Lebendgewicht der Nutztiere für die Jahre 1980-1989 und 1990... ..	27
Tabelle 12: Ausgewählte Indikatoren je Phase der industriellen Transformation	62
Tabelle 13: Vergleich ausgewählter Indikatoren zwischen der USA und dem VK.....	72
Tabelle 14: Konversion von Maßeinheiten ins metrische System	XIV
Tabelle 15: Brennwert und berechneter Trockenmassegehalt der Biomasse in den USA.....	XIV
Tabelle 16: Brennwerte der fossilen Energieträger.....	XIV

1 EINLEITUNG

1.1 Zur Transformation sozialmetabolischer Regimes

Die Material- und Energieflussanalyse, so wie sie in dieser Arbeit angewendet wird, basiert auf dem Konzept des sozialen Metabolismus nach Fischer-Kowalski (1997). Mit diesem Konzept kann ein wichtiger Teil der Beziehung zwischen Gesellschaft und Natur beschrieben werden. Im Fokus stehen dabei die biophysischen Austauschbeziehungen zwischen Gesellschaft und ihrer Umwelt und dementsprechend die biophysischen Aspekte von Gesellschaften. Gesellschaften entnehmen Stoffe aus der Natur, verarbeiten diese und geben sie verändert wieder an die Natur ab¹. Welche Stoffe aufgenommen werden, welche Transformationsprozesse stattfinden und in welcher Form die Stoffe wieder abgegeben werden, kann sehr unterschiedlich sein. Über einen langen Zeitraum hinweg können in der Menschheitsgeschichte „epochale Einheiten der Interaktion zwischen menschlichen Gesellschaften und ihrer natürlichen Umwelt“ (Sieferle et al. 2006: 15) unterschieden werden. Diese werden von ebd. als sozialmetabolische Regimes bezeichnet. Ein sozialmetabolisches Regime ist gekennzeichnet durch ein spezifisches Muster der Interaktion zwischen Gesellschaft und Natur und grundlegende Unterschiede in der Ressourcennutzung (Land, Energie, Material, Wasser). Universalgeschichtlich wird in der Literatur zwischen Jäger- und Sammlergesellschaften, Agrargesellschaften und der Industriegesellschaft² unterschieden. Die einzelnen Regimes sind gekennzeichnet durch je spezifische quantitative und qualitative Material- und Energieinputs, eine unterschiedliche gesellschaftliche Organisation von Ressourcennutzung und das Ausmaß technologischer Innovation.

Das Konzept sozialmetabolischer Regimes ist sehr abstrakt. Es kann unterschiedliche Ausprägungen oder Subsistenzweisen geben. So ist auch nicht die Rede von der Agrargesellschaft, sondern von Agrargesellschaften. Darunter fallen sowohl einfache bäuerlichen Gesellschaften, wie auch komplexe agrarische Zivilisationen (Sieferle 1997). In Europa gab es eine Entwicklung von Jäger- und Sammlergesellschaften, einfachen bäuerlichen Gesellschaften, komplexen agrarischen Zivilisationen bis hin zur industriellen Transformation. Dazwischen gab und gibt es Überlappungsbereiche, in denen mehrere Formen nebeneinander existierten. In den USA war der Verlauf anders. Hierfür muss eine spezifische Perspektive auf diese klassische Epochen-Einteilung eingenommen werden. Aufgrund der Kolonisation durch die EuropäerInnen kam es zu einem Bruch in der sozialökologischen Entwicklung. Die indigene Bevölkerung wurde ab diesem Zeitpunkt zurückgedrängt und fast flächendeckend von dem von ihnen bewohnten Land vertrieben. Die EuropäerInnen verdrängten damit auch die bis dahin vorherrschenden Subsistenzweisen, einer Mischung aus Jagen, Sammeln und regional auch etwas Landwirtschaft (Krech III 1999). Sie brachten ihre eigene Kultur im Umgang mit der Natur und ihren Ressourcen mit. Unter dem Einfluss der

¹ Dies ist eine stark vereinfachte Beschreibung des Stoffwechsels zwischen Gesellschaften und Natur. Mehr dazu in Fischer-Kowalski 1997.

² Nach Sieferle (Sieferle 2003) ist der Übergang zu einem dauerhaft stabilen Regime einer Industriegesellschaft noch nicht abgeschlossen, daher soll von industrieller Transformation gesprochen werden.

in der Neuen Welt gegebenen Umweltbedingungen entstand eine neue Kultur und neue Subsistenzweisen, deren europäische Wurzeln letztlich aber unverkennbar sind.

In dieser Arbeit wird versucht die industrielle Transformation, die ihren Ausgangspunkt in England in der Mitte des 18. Jahrhunderts nahm, in den USA von 1850-2005 anhand der Entwicklung der Material- und Energieflüsse zu beschreiben und ihren Verlauf zu analysieren. Um 1850 war der Transformationsprozess in den USA bereits im Gange: Es waren noch Elemente agrarisch geprägter Gesellschaften vorhanden, der Anteil der in der Landwirtschaft beschäftigten Bevölkerung war hoch, der Biomasseanteil am Materialverbrauchs dominant (siehe Tabelle 12, Kapitel 4.2.2) Auf der anderen Seiten waren auch schon Elemente der Industrialisierung vorhanden, es gab eine Orientierung am Außenhandel, ein ausgeprägtes Finanzsystem, eine beginnende Stahlproduktion,... (Adams 2009).

1.2 Historischer Überblick über die USA

In diesem Kapitel werden kurz die für diese Arbeit wichtigsten geschichtlichen Entwicklungen und Eckdaten dargestellt.

Die Vereinigten Staaten von Amerika wurden von 13 Britischen Kolonien gegründet. Diese erklärten im Jahre 1776 ihre Unabhängigkeit vom Vereinigten Königreich. Bis dahin konzentrierten sich die Besiedelung und die Landwirtschaft auf den Osten und den Süden. Erst danach begann die Besiedelung großer Teile Nordamerikas durch europäische EinwanderInnen. SiedlerInnen zogen Richtung Westen und begannen sich niederzulassen und das Land zu „kultivieren“. In Folge wurde die indigene Bevölkerung verdrängt (Adams 2009) und riesige natürliche Grasländer in Ackerland umgewandelt.

Die Energieflussanalyse, die in dieser Arbeit präsentiert wird, beginnt mit dem Jahr 1850. Aufgrund der Datenverfügbarkeit beginnt die Materialflussanalyse erst mit dem Jahr 1870. Die Phase der frühen Besiedelung der Ostküste kann damit nicht abgebildet werden, der wesentlichen Teil der flächendeckenden Besiedelung Nordamerikas – die Bewegung Richtung Westen ist aber abgedeckt. Im amerikanischen Sprachgebrauch ist die Rede von der so genannten „Frontier“³.

In den 1860er Jahren (1861-1865) fand der amerikanische Bürgerkrieg, in dem die Nordstaaten gegen die Südstaaten kämpften, statt. Die Zeit nach dem Bürgerkrieg ist von einer beschleunigten wirtschaftlichen Entwicklung und Industrialisierung gekennzeichnet. Eine wichtige Rolle nahmen dabei die Errichtung und der Ausbau des Eisenbahnnetzes ein. Die erste transkontinentale Eisenbahnlinie der USA wird im Jahr 1869 fertig gestellt (Adams 2009). Erst die Eisenbahn und damit die Anbindung der fruchtbaren aber abgelegenen Gebiete im Mittleren Westen an die Wirtschafts- und Konsumzentren an den Küsten ermöglichen die flächendeckende Besiedelung und die Ausbreitung der Landwirtschaft in diese Gebiete (vgl. Cronon 1992). Durch die Erleichterung des Transports nehmen die Siedlungsbewegungen

3 Der Begriff der „Frontier“ wurde geprägt von Fredrick Jackson Turner. Damit ist vereinfacht ausgedrückt das „...Vorschieben der Siedlungsgrenze der Europäer Richtung Westen“ (Adams 2008: 7) gemeint. In der amerikanischen Geschichtsschreibung spielt Turner's Frontier-These eine bedeutende Rolle.

zu. Es werden Farmen errichtet und das Land bewirtschaftet.⁴ Mit dem „homestead act“⁵ von 1862 konnte Land sehr günstig erworben werden. Es bilden sich städtische Zentren, welche in regem Austausch mit dem Hinterland stehen (Cronon 1992). Die Städte wachsen rasant. Aufgrund der hohen Einwanderungszahlen aus Europa und später Asien nimmt die Bevölkerung sehr schnell zu. Zwischen 1865 und 1917 wandern mehr als 19 Mio. Menschen in die USA ein. (Adams 2009), Insgesamt wächst die Bevölkerung zwischen 1850 und 1918 um das Viereinhalbfache.

Wie bereits erwähnt, kommt es nach dem Bürgerkrieg zu einer verstärkten Industrialisierung. Die Stahlproduktion, für den Ausbau der Eisenbahn und die Konstruktion der ersten Hochhäuser mit Stahlgerippen, nimmt zu. Zentren der Hochindustrialisierung bilden sich v.a. dort, wo Eisenerz und Kohle günstig zusammengebracht werden können, wie in Pittsburgh im westlichen Pennsylvania, in Cleveland, Detroit, Gary und Chicago an den großen Seen und Birmingham/Alabama an den südlichen Ausläufern der Appalachen (Adams 2009:103). Bereits 1870 wird die Standard Oil Company von Rockefeller gegründet und die USA beginnen früh große Mengen an Erdöl zu fördern und zu nutzen. Der Wert des Bruttoinlandprodukts (BIP)⁶ pro Kopf in den USA übersteigt jenen des Vereinigten Königreichs erstmals im Jahr 1901 (siehe Anhang, Abbildung 38).

Im Jahr 1879 erfindet Thomas Edison die Glühlampe. Im Jahr 1900 wurden in den USA 5% der Stadthäuser und wenige Straßen elektrisch beleuchtet (Adams 2009: 103). Die allgemeine Nutzung von Elektrizität wird mit den fallenden Strompreisen in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts massentauglich. Wesentlicher Faktor für die rasante ökonomische Entwicklung (und letztlich auch für die Veränderungen im Stoffwechsel) ist nach der Eisen- und Stahlproduktion die Automobilindustrie. Die ersten Automobile werden ab 1903 von Henry Ford serienmäßig hergestellt. Bis 1919 werden in den USA bereits 7,5 Mio. Autos⁷ gefahren (Adams 2009).

Ab 1917 beteiligen sich die USA am ersten Weltkrieg. In dieser Zeit kommt es zu großen Material- und Lebensmittellieferungen der USA an die Alliierten Nationen. Die 1920er Jahre sind zunächst gekennzeichnet von steigendem Wohlstand. Dieser wird durch den Börsenkrach von 1929 und die daran anschließende Weltwirtschaftskrise erschüttert. Durch Gesetzgebungsprogramme von 1933-1939, auch als „New Deal“⁸ bekannt, kommt es zu Veränderungen im amerikanischen Wirtschaftssystem. Riesige Bauprojekte werden ins Leben gerufen, beispielsweise werden Dämme errichtet und die Elektrifizierung von peripheren Gebieten vorangetrieben. Der „New Deal“ führt auch zu strukturellen Änderungen in der Landwirtschaft. Mit dem Landwirtschaftsgesetz (Agricultural Adjustment Act) von 1933 wurden die Preise für landwirtschaftliche Produkte per

4 Im Gegensatz zu Europa, wo zu diesem Zeitpunkt die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Fläche kaum mehr möglich war.

5 Der „Homestead Act“ ist ein vom Kongress verabschiedetes Gesetz, welches es beinahe mittellosen SiedlerInnen bzw. neu Eingewanderten ermöglichte, Land sehr günstig zu erwerben (Adams 2009).

⁶ Gemessen in International Geary-Khamis Dollar. In vorliegender Arbeit wird manchmal die englische Bezeichnung (GDP für Gross Domestic Product) verwendet.

⁷ Daten wurden entnommen aus Adams 2009: 104.

⁸ Umfassende Informationen zur Weltwirtschaftskrise und zum „New Deal“ finden sich im Kapitel „Die USA in der Weltwirtschaftskrise, 1930-1941“ in Adams 2008, S. 72-93.

Gesetz stabilisiert (Adams 2008). Die Industrialisierung der Landwirtschaft schreitet voran. Die Wirtschaftsdepression endet schließlich durch das Aufstreben der Rüstungsindustrie im Zuge des zweiten Weltkriegs. 1941 treten die USA offiziell in diesen ein. Die Zeit nach dem zweiten Weltkrieg ist gekennzeichnet von gesteigertem Wohlstand für eine breite Mittelklasse. Erst mit dem Ölpreisschock von 1973 wird diese Entwicklung beendet. Aufgrund eines fünfmonatigen Ölembargos nach dem Jom-Kipur Krieg kommt es zu drastischen Preissteigerungen von Erdöl. 1979 beginnt die zweite Ölkrise. Zu Beginn der 1980er Jahre steigen die Staatsverschuldung und das Handelsbilanzdefizit. Von Präsident Carter (1977-1981) wird zum ersten Mal zur Kenntnis genommen, dass es keine unbegrenzte Verfügbarkeit von Rohstoffen und unbegrenztes Wirtschaftswachstum geben kann. (Adams 2008)

Außenpolitisch war die Zeit nach dem 2. Weltkrieg bis 1991 geprägt vom Kalten Krieg. Mit der Gründung der Nato 1949 gingen die USA ein uneingeschränktes Verteidigungsbündnis ein. Das Pendant dazu, der Warschauer Pakt, wurde 1955 unter der Leitung der ehemaligen Sowjetunion ins Leben gerufen. Der kalte Krieg war geprägt vom Rüstungswettlauf der beiden Supermächte⁹. Bereits 1942 entstand in den USA so etwas wie eine Atomindustrie. Diese umfasste (geheime) militärische Produktionsstätten und Testgelände, u.a. die erste Plutoniumfabrik weltweit in Hanford (Stöver 2007).

Seit dem Ende des Kalten Krieges kann die USA ihre Position als die führende Weltwirtschaftsmacht erhalten. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass weitere Staaten wie China diese Position strittig machen können. So wird prognostiziert, dass China die USA als Wirtschaftsmacht Nummer 1 in den nächsten 10 Jahren ablösen wird (Maddison 2007).

1.3 Literaturübersicht

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über die für diese Arbeit relevante wissenschaftliche Literatur gegeben. Das umfasst zum einen vergleichbare Material- und Energieflussanalysen, die ähnlich lange Zeiträume abdecken und sich mit sozialmetabolischen Transitionen beschäftigen. Zum anderen handelt es sich um Studien, welche sich mit Material- und Energieflüssen in den USA auseinandersetzen.

Historische MEFAs

Zuerst werden einige Material- und Energieflussanalysen vorgestellt, welche einen langen Zeitraum (mindestens 100 Jahre) abdecken und sich mit der Transformation des sozialmetabolischen Regimes beschäftigen. Methodisch orientiert sich diese Arbeit sehr stark an jenen Analysen. Daher werden in dieser Zusammenstellung relevante Vorgehensweisen herausgearbeitet.

Die ersten Langzeitmaterial- und Energieflussanalysen wurden zum Vereinigten Königreich und Österreich durchgeführt (Schandl et al. 2002a, Krausmann et al. 2002). In diesen ersten Arbeiten wird über den grundsätzlichen theoretischen Zugang zu Mensch-Natur Interaktionen nachgedacht und der Zusammenhang zwischen gesellschaftlichen Material- und Energieflüssen, Landnutzung und

⁹ Gegen Ende des Kalten Krieges sollen von Nato und Warschauer Pakt jährlich bis zu 700 Mrd. Dollar für die Rüstung ausgegeben worden sein (Stöver 2007: 145).

sozioökonomischer Entwicklung untersucht. Dies kann über eine Periodisierung der sozioökonomischen Entwicklung und einer entsprechenden Verknüpfung mit physischen Indikatoren wie dem DMC (Domestic Material Consumption), den Energieinputs, etc. erfolgen (Schandl et al. 2002a) oder über die Verbindung einer Energieflussanalyse mit anderen sozialökologischen Indikatoren wie HANPP oder den CO₂ Emissionen (Krausmann et al. 2002). In diesen ersten Langzeitstudien zu Material- und Energieflüssen wird grundsätzlichen Fragen nachgegangen, z.B.: Wie verändert sich die Interaktion zwischen Gesellschaft und Natur quantitativ und qualitativ über die Zeit und was sind die dahinterliegenden Faktoren?

In mehreren Artikeln wurden Österreich und das Vereinigte Königreich vergleichend untersucht (Krausmann et al. 2006, Siefert et al. 2006) und die industrielle Transformation des sozialökologischen Regimes dargestellt. Die biophysischen Grundlagen des Industrialisierungsprozesses wurden herausgearbeitet und die Konsequenzen für die Energienutzung, die Landnutzung und die Arbeitsorganisation diskutiert. Es werden zwei Phasen des Übergangs zu einem industriellen sozialmetabolischen Regime unterschieden. Die erste Phase, welche von England im 18. Jhd. ihren Ausgang nimmt, wird als Kohle-basiertes industrielles Regime bezeichnet. Es wurde vor allem argumentiert, dass die Landwirtschaft in dieser Phase noch in der metabolischen Struktur des agrarischen Regimes verhaftet bleibt, während im urban-industriellen Subsystem die metabolische Transition bereits weit fortgeschritten ist. Die zweite Phase beginnt in Europa nach dem zweiten Weltkrieg und basiert auf der Nutzung von Erdöl, Erdgas und Elektrizität. In dieser Phase wird auch die Landwirtschaft industrialisiert und damit der Wechsel von einem kontrollierten Solarenergiesystem zu einem fossilen Energiesystem abgeschlossen.¹⁰ Es wird gemutmaßt, dass dieser Prozess in den 1930er Jahren von den USA aus ausgeht (Krausmann et al. 2008a: 195, Krausmann et al. 2010). Eine umfassende Darstellung zum Sozialmetabolismus der Industrialisierung findet sich in „Das Ende der Fläche“ (Siefert et al. 2006). Ein weiterer wichtiger Aspekt dieses Werkes, welches auch für diese Arbeit eine Rolle spielt, ist die Verknüpfung von sozialem Metabolismus und Landnutzung.

Bei manchen Arbeiten liegt der Fokus auf der Transition des Energiesystems (Kuskova et al. 2008, Krausmann et al. 2002). Kuskova et al. beschäftigen sich mit dem Energiesystem in der ehemaligen Tschechoslowakei in den Jahren 1830-2000. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass im Großen und Ganzen die Transition des Energiesystems in diesen beiden Ländern nach einem ähnlichen Muster verlief, trotz der unterschiedlichen politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

In jüngerer Vergangenheit gibt es mehrere Veröffentlichungen zur Darstellung eines globalen gesellschaftlichen Stoffwechsels (Krausmann et al. 2009, Krausmann et al. 2008b, für kürzere Zeiträume: Behrens 2007). In diesen Arbeiten, welche bis zum Jahr 1900 zurückreichen, wird der universalgeschichtliche Charakter der Transformation des sozialen Metabolismus hervor gestrichen.

In vielen Artikeln zu Langzeitmaterial- und Energieflussanalysen wird eine Verknüpfung zur Landnutzung hergestellt. Dies ist wichtig, vor allem wenn es um die metabolische Transition geht: In allen vorindustriellen Gesellschaften ist die

¹⁰ Christian Pfister bezeichnet diese Phase als „50er Syndrom“. Er sieht den langfristigen Rückgang der relativen Energiepreise als hauptsächliche Triebkräfte dafür. (Pfister et al. 1995)

Gewinnung von Energie und somit auch die potentielle Mobilisierbarkeit von Material an die Verfügbarkeit von Biomasse und damit an die Fläche geknüpft. Am Beginn des Untersuchungszeitraums dieser Arbeit (1850/1870) ist auch in den USA der gesellschaftliche Stoffwechsel noch eindeutig von Biomasse dominiert. Somit werden den Landnutzungsveränderungen in den USA ein eigenes Kapitel gewidmet.

Wie bereits weiter oben beschrieben, geht es in dieser Arbeit darum, die langfristigen Trends der Material- und Energieflüsse zu untersuchen und in einen Zusammenhang mit der Transition zu einem industriellen sozialmetabolischen Regime zu stellen. Wie in einigen der oben angeführten Studien sollen unterschiedliche Phasen der metabolischen Transition identifiziert werden. In der Literatur werden zwei große Perioden des Industrialisierungsprozesses unterschieden. Können diese auch für die USA identifiziert werden? Sind die Zeiträume in denen sie stattfanden ähnlich? Kann die Vermutung, dass die zweite große Phase der Industrialisierung in den USA um 1930 seinen Ausgang nimmt bestätigt werden? Ging die Industrialisierung der Landwirtschaft von den USA aus?

In der Studie von Kuskova et al. wird ein Vergleich zwischen west- und osteuropäischen Ländern angestellt. Es wurde festgestellt, dass es viele Ähnlichkeiten in der metabolischen Transition und im metabolischen Profil gibt. In der vorliegenden Arbeit wird die USA mit dem Vereinigten Königreich verglichen. Bei diesem Vergleich stehen weniger die unterschiedlichen politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen im Vordergrund, sondern vielmehr die Tatsache, dass beide Länder führende Industriemächte sind bzw. waren. Verließ auch in diesen beiden Ländern die generelle Entwicklung ähnlich? Was sind die Gründe für mögliche Unterschiede?

MFAs mit USA-Bezug

In einem zweiten Teil sollen nun Studien vorgestellt werden, welche sich mit Material- und Energieflüssen in den USA beschäftigen. Allerdings decken diese meist einen viel kürzeren Zeitraum ab, als es in dieser Arbeit der Fall ist. Im Vergleich zu dieser Arbeit wird in jenen Studien methodisch meist anders vorgegangen. In dieser Zusammenschau werden wichtige Vorgehensweisen und Erkenntnisse vorgestellt und auf die methodischen Unterschiede wird hingewiesen.

Hier ist zunächst die Arbeit von Matos und Wagner aus dem Jahr 1998 zu nennen. (Matos et al. 1998, darauf aufbauend: Rogich et al. 2002). Das ist eine der ersten Arbeiten zur langfristigen Entwicklung des Materialverbrauches überhaupt. Sie deckt den Zeitraum von 1900 bis 1995 in den USA ab. Sie zeigen Trends des Verbrauchs an Rohmaterialien (ohne Nahrung und Treibstoffe) in physischen Einheiten auf. Die Methode weicht in manchen Aspekten von jener in dieser Arbeit ab. So wird bei Matos und Wagner z.B. auch recyceltes Material berücksichtigt. Der Anteil der Biomasse ist in jener Studie sehr gering, da Nahrungsmittel und indirekte Flüsse, wie Beweidung usw. nicht berücksichtigt werden. Die importierten und exportierten Fertigwaren werden bei der Bemessung des Materialverbrauches nicht berücksichtigt.

Zusätzlich wird der Materialverbrauch der USA mit jenem der ganzen Welt für den Zeitraum von 1970 bis 1995 verglichen. An anderer Stelle wird ein Vergleich der

Messung des Materialverbrauches in Gewicht und Volumen angestellt. Weiters interessiert sie der Zusammenhang zwischen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum und Materialverbrauch.

Die Autoren gehen davon aus, dass eine wachsende Bevölkerung und eine wachsende Ökonomie mehr Material benötigt. Sie kommen zu dem Schluss, dass sich in den USA seit 1900 nicht nur die Menge an genutztem Material stark verändert hat, sondern auch die Zusammensetzung der Materialien. Der Materialverbrauch ist stark angestiegen, von 161 Mio. Tonnen im Jahr 1900 auf 2,6 Mrd. Tonnen im Jahr 1995. Der Anteil der erneuerbaren Ressourcen ist von beinahe der Hälfte auf ca. 8% zurückgegangen. Mit dem Hinweis auf eine gewisse Unsicherheit der Daten kommen sie zu dem Ergebnis, dass der globale Materialverbrauch seit 1970 zwar schneller ansteigt als jener der USA, dass jener der USA aber nach wie vor ca. ein Drittel am gesamten Materialverbrauch ausmacht¹¹.

Eine wichtige Institution, welche den MFA Ansatz weiterentwickelte, ist das World Resource Institute (WRI). Vom WRI wurden bereits mehrere Arbeiten zur Entwicklung der Materialnutzung in den USA veröffentlicht. Die einzelnen Studien sind als Weiterentwicklung der jeweils vorhergehenden zu verstehen. Im Jahr 2008 wurde mit „Material Flows in the United States: A physical Accounting of the U.S. Industrial Economy“ (Rogich et al. 2008) eine umfangreiche MFA zur USA veröffentlicht. Diese baut auf die Studie „Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies“ (Adriaanse et al. 1997) aus dem Jahr 1997 und „The Weight of Nations“ (Matthews et al. 2000) aus dem Jahr 2000 auf. Die MFA reicht vom Jahr 1975 bis zum Jahr 2000. Das methodische Vorgehen weicht etwas von jenem in dieser Arbeit ab. Die Materialflüsse werden den einzelnen Sektoren, den Rohmaterialien und dem Endverbrauch zugeordnet. Bei den MFA Indikatoren gibt es leichte Verschiebungen. Die „Hidden flows“¹² spielen eine viel größere Rolle als in der vorliegenden Arbeit. Diese sind im DMC, dem Materialverbrauch, nicht inkludiert. Zu den „Hidden flows“ werden z.B. auch die Erntenebenprodukte, welche in der vorliegenden Arbeit sehr wohl im DMC enthalten sind, gezählt. Zusätzlich zu den in vorliegender Arbeit berechneten Indikatoren, wird in der WRI Studie unter anderem der Indikator TMR („Total Material Requirement“) berechnet. Dieser setzt sich zusammen aus DE, Importen und den inländischen und ausländischen „Hidden flows“.

Es werden sowohl die Inputs in das sozioökonomische System, wie auch die Outputs aus dem sozioökonomischen System berücksichtigt. Weiters erfolgt ein Vergleich mit den Berechnungen des DMC pro Kopf von der Europäischen Union für 15 europäische Länder. Als mögliche Ursachen für die beinahe durchgängig höheren Werte beim DMC pro Kopf in den USA¹³ führen sie folgende Gründe an: „... a result of fundamental variations in geography, resource availability, and population density, as well as differences in lifestyle and consumer preferences...“

¹¹ Es sollte bedacht werden, dass Matos und Wagner jene Materialien berücksichtigen, die in Wirtschaftsstatistiken aufscheinen. In vielen Ländern der Welt spielen jene Materialien, welche keinen wirtschaftlichen Wert besitzen, eine viel größere Rolle im Materialverbrauch. Diese sind bei Matos und Wagner allerdings nicht berücksichtigt.

¹² „Hidden flows“ sind laut WRI-Definition: „Materials that are mobilized or produced in the domestic and/or foreign environment but are not purchased as finished goods or consumed in the economy. Hidden flows occur during the extraction, processing, manufacturing, and use of materials...“ (Rogich et al. 2008: 6).

¹³ Finnland und Irland haben einen höheren DMC pro Kopf (Rogich et al. 2008).

(Rogich et al. 2008: 14). Die Studie schließt mit Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Methodik von Materialflussrechnungen.

Zentrale Resultate der WRI Studie sind: Der DMC pro Kopf in den USA ist im betrachteten Zeitraum (1975 – 2000) um 23% angestiegen. Ein Großteil davon kann durch den 83%igen Anstieg des Materialverbrauches, welcher in bebauter Infrastruktur geht, erklärt werden. Der DMC pro GDP fiel um 31%. Die AutorInnen sprechen von einer allgemeinen („general“) Dematerialisierung in der U.S. Ökonomie. Die Outputs sind im betrachteten Zeitraum um 26% angestiegen, die umweltschädlichsten Outputs wie synthetische und schwer abbaubare organische Chemikalien, radioaktive Substanzen und Schwermetalle sind um 24% auf 16 Mio. Tonnen angestiegen. Der DMC pro Kopf in den USA ist um mehr als 50% höher als der Durchschnitt der 15 EU Länder im Jahr 2002 (Europäische Kommission 2002, zitiert in Rogich et al. 2008).

EFAs mit USA-Bezug

Ein anderer Strang von Arbeiten fokussiert auf Energieflüsse. Es gibt zahlreiche Werke, die sich mit dem langfristigen gesellschaftlichen Energieverbrauch beschäftigen (z.B. Smill 1994, Grübler 2004, ideengeschichtlich: Martinez-Alier 1987) Eine wichtige Arbeit zur Entwicklung des langfristigen Energieverbrauchs in den USA ist von Schurr und Netschert (Schurr et al. 1960). Diese deckt den Zeitraum von 1850 bis 1975 ab. Zentrale Arbeiten mit einem langfristigen historischen Fokus sind die Studien von Robert Ayres. Der Artikel „Exergy, power and work in the US economy, 1900-1998“ (Ayres et al., 2003) liefert eine quantitative Betrachtung des Primärenergieinputs und verfügbarer Nutzenergie in den USA im Zeitraum 1900 bis 1998. Die Autoren betrachten Exergie¹⁴, was im Grunde genommen der Primärenergieverbrauch¹⁵ ist. Dabei interessiert sie zum einen die Konversion von Exergie in verfügbare Nutzenergie („useful work“), und zum anderen die Endnutzungseffizienz („end-use efficiency“). Die Autoren arbeiten heraus, dass im betrachteten Zeitraum die Konversionseffizienz gestiegen ist. Es wird dabei detailliert nachgezeichnet, welche technologischen Entwicklungen zu einer erhöhten Konversionseffizienz führten. Zwei wesentliche Trends werden identifiziert. Zum einen gab es einen strukturellen Wandel. Es kam zu einem Ersatz von menschlicher und tierischer Arbeitskraft im Transport, in der Landwirtschaft und in Fabriken durch Maschinen. Zum Anderen wird die gesteigerte Effizienz der Konversion von Wärme oder anderen Kraftquellen in Nutzarbeit dargestellt. Wie die Autoren betonen, führte die erhöhte Konversionseffizienz nicht dazu, dass weniger Energie genutzt wird. Vielmehr wird mehr Energie genutzt, da diese dann günstiger verfügbar ist. Ayres spricht vom „Rebound Effekt“ (Ayres 2002).

Anderswo beschäftigt er sich mit dem Zusammenhang von Wirtschaftswachstum und gesellschaftlicher Energie-Verwendung. Ayres (2002) erklärt Wirtschaftswachstum mit dem Bild eines Wachstumsmotors („growth engine“). Wirtschaftswachstum wird demnach durch mehrere Faktoren erklärt, welche zusammenspielen und sich gegenseitig verstärken. Einen Antrieb für diesen

¹⁴ Exergie wird definiert als die maximale Arbeit, die von einem Subsystem verrichtet werden kann, wenn es mit der Umgebung in thermodynamisches Gleichgewicht gebracht wird (Ayres et al. 2003: 221).

¹⁵ In gewöhnlichen Energiebilanzen oft als TPES (Total Primary Energy Sources) bezeichnet (Haberl et al. 2001a).

„Wachstumsmotor“ stellt die Steigerung der Konversionseffizienz von Exergie in Nutzarbeit („useful work“) dar.

Bei ihrer Analyse der Daten zur USA (Ayres et al. 2003) kamen die Autoren zu zwei wichtigen Schlüssen: Technische Entwicklungen, welche früher darauf abzielten, die Konversionseffizienz von Exergie zu erhöhen, sind heutzutage hauptsächlich auf die Steigerung der Endnutzungseffizienz ausgerichtet. Zweitens stellten sie fest, dass der „Rebound Effekt“ einen Antrieb für das Wirtschaftswachstum darstellte. Es wird die Frage aufgeworfen, ob der „Rebound Effekt“ in den USA nach wie vor der primäre Antrieb für Wirtschaftswachstum ist.

Viele der vorgestellten Studien behandeln auch den Zusammenhang von Wirtschaftswachstum und Material- bzw. Energieverwendung. In der besprochenen Literatur gibt es dazu zwei unterschiedliche Sichtweisen. Hinter der einen steckt die Annahme, dass eine wachsende Ökonomie mehr Material und Energie benötigt und es somit in Folge zu einem gesteigerten Material- bzw. Energieverbrauch kommt. In der anderen Sichtweise wird Wirtschaftswachstum als Prozess beschrieben, in dem Energiekonsum genauso Antrieb wie Konsequenz von Wachstum ist. In der vorliegenden Arbeit wird die zweite Sichtweise eingenommen. Wenn nun Material- bzw. Energieverbrauch sowohl Antrieb wie auch Konsequenz von Wirtschaftswachstum ist bzw. war, kann es dann auch möglich sein, dass sich das Wirtschaftswachstum vom Materialverbrauch entkoppelt? Wie war das in den USA von 1870 bis 2005? Gibt es Zeiten der Dematerialisierung?

Diese Arbeit folgt dem Ansatz wirtschaftsräumlicher Material- und Energieflussanalysen (siehe Kapitel 2) und fokussiert dabei auf eine Betrachtung des inländischen Verbrauchs bzw. dem Verhältnis von Entnahme natürlicher Ressourcen und Außenhandel. Die Outputseite wird, abgesehen von Exporten, nicht betrachtet. Ein wichtiger Aspekt, in dem sich diese Arbeit¹⁶ von den oben genannten Studien zur USA unterscheidet, ist die Setzung der Systemgrenzen. Das äußert sich unter anderem in der umfassenden Miteinbeziehung sämtlicher Biomasseflüsse. Gerade in einer universalhistorischen Sichtweise ist es wichtig, die Biomasseflüsse möglichst umfassend darzustellen, da diese in Agrargesellschaften, ebenso wie in Jäger- und Sammlergesellschaften, den Hauptteil der verwendeten Materialien ausmachen. Auch wenn in einer industrialisierten Gesellschaft die wirtschaftliche Bedeutung gering ist, macht die Biomasse dennoch einen großen Teil des Materialverbrauches aus. In den USA waren dies im Jahre 2005 21 %¹⁷ des gesamten Materialverbrauches.

Im Vergleich zu den oben dargestellten Studien zu Material- und Energieflüssen in den USA deckt diese Arbeit einen größeren Zeitraum ab. Sie reicht von 1850 bzw. 1870 bis zum Jahr 2005. Oben dargestellte Arbeiten fokussieren entweder auf Energie oder auf Materialien. In dieser Arbeit wird versucht energetische und materielle Aspekte der Ressourcennutzung gemeinsam zu betrachten. Weiters werden in dieser Arbeit konsistente Systemgrenzen nach aktuellen Kriterien (vgl. Haberl 2001a, Eurostat 2007) für die Material- und Energieflussanalyse verwendet. In dieser Arbeit wird versucht die Entwicklung der Material- und Energieflüsse in den USA in einem bestimmten Zeitraum in einen universalhistorischen Kontext zu stellen.

¹⁶ Bzw. der von der Eurostat (Weisz et al. 2007) verwendete Ansatz.

¹⁷ Eigene Berechnungen.

1.4 Fragestellung

Ausgehend von den bisherigen Ausführungen zur Geschichte der USA und dem Literaturüberblick zu Material- und Energieflussanalysen wurden folgende Forschungsfragen entwickelt:

- Wie entwickeln sich Entnahme, Importe und Exporte von Material und Energie in den USA seit der Mitte des 19. Jahrhunderts?
- Welche Phasen des Industrialisierungsprozesses, in Bezug auf sozialmetabolische Muster, können in den USA in den Jahren 1850 bis 2005 unterschieden werden?
- Kommt es in den USA in der Zeit der Industrialisierung zu Dematerialisierung?
- Welche Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede gibt es in der Entwicklung der Material- und Energieflüsse im Vergleich mit dem Vereinigten Königreich?

Es werden die langfristigen Trends der Material- und Energieflüsse in den USA von 1850 bis 2005 dargestellt und im größeren Kontext des „gesellschaftlichen Stoffwechsels der Industrialisierung“¹⁸ diskutiert.

¹⁸ Nach dem Titel des Buches „Das Ende der Fläche: zum gesellschaftlichen Stoffwechsel der Industrialisierung“ (Sieferle et al. 2006).

2 Methode und Datengrundlage

Den Forschungsfragen wird mit Hilfe einer Material- und Energieflussanalyse nachgegangen. Die Energieflussanalyse (EFA) basiert auf ähnlichen konzeptuellen Grundlagen und denselben Systemgrenzen wie die Materialflussanalyse (MFA), daher wird zuerst eine detaillierte Beschreibung der MFA geliefert. Nachdem das Konzept der Materialflussanalyse erklärt wurde, werden die Datenquellen vorgestellt und schließlich das konkrete Vorgehen bei der Erstellung dieser MFA beschrieben. Daran schließt ein kurzes Kapitel an, in dem beschrieben wird, in welchen Aspekten sich die EFA von der MFA unterscheidet und welche zusätzlichen Arbeitsschritte für die Berechnung von Energieflüssen durchgeführt wurden. Abschließend werden noch ein paar Anmerkungen zu den Besonderheiten, die sich bei dieser Material- und Energieflussanalyse (MEFA) aufgrund des langen betrachteten Zeitintervalls ergaben, hinzugefügt.

Sich mit dem Zusammenhang zwischen gesellschaftlicher Entwicklung und Energieverwendung zu befassen hat eine lange Tradition und war in den Gesellschaftswissenschaften seit dem späten 19. Jhdt. immer wieder ein Thema (Sieferle et al. 2006; siehe auch Martinez-Alier 1987; Cottrell 1955). Die materielle Komponente des sozialen Metabolismus – also die gesellschaftliche Nutzung von Materialien - wurde lange Zeit nicht betrachtet. Erst in den 1970er Jahren rückten Materialien bzw. die aus der Materialnutzung entstehenden Abfälle und Schadstoffe in den Brennpunkt der Betrachtung. Seit den 1990er Jahren, seitdem nachhaltige Entwicklung zum Leitparadigma der Umweltforschung wurde, gibt es vermehrt Bestrebungen die physischen Dimensionen der Gesellschaft bzw. der Wirtschaft zu erfassen (Sieferle et al. 2006). In neuen Disziplinen wie *ecological economics* oder *industrial ecology* wird betont, dass alle ökonomischen Prozesse auch eine materielle Grundlage haben und dass die physischen Austauschbeziehungen zwischen Gesellschaften und ihrer natürlichen Umwelt mit einbezogen werden müssen (Daly et al. 2004). Im Zuge dessen sind unterschiedliche Ausprägungen von Material- und Energieflussanalysen entstanden. Genauer zu den einzelnen Typen von MFA's findet sich in Bringezu und Moriguchi (2002) bzw. Daniels und Moore (2001). In dieser Arbeit wird der am Institut für Soziale Ökologie der Universität Klagenfurt (IFF Wien) verfolgte Ansatz verwendet. Die Zusammenstellung der Materialflussrechnung folgt dabei im wesentlichen den konzeptuellen und methodischen Vorgaben des „MFA Compilation guide“ (Weisz et al. 2007), welcher für das Europäische Statistische Amt verfasst wurde.

2.1 Das Konzept der Materialflussanalyse

Gesellschaften benötigen einen gewissen Stoffwechsel um ihre biophysischen Komponenten aufzubauen und zu erhalten. Zu den biophysischen Aspekten von Gesellschaft werden die Menschen, die Nutztiere und sämtliche Artefakte gezählt. Unter Artefakte werden alle vom Menschen geschaffenen und aufrechtzuerhaltenden physischen Dinge verstanden, z. B. Häuser, Autos, Möbel, Straßen,.... Um die biophysischen Komponenten von Gesellschaft aufzubauen

und aufrechtzuerhalten werden Stoffe aus der Natur entnommen, diese werden verarbeitet, in Bestände investiert und in veränderter Form wieder an die Umwelt abgegeben. Diese Austauschbeziehungen zwischen Gesellschaft und Natur werden in ihrer Gesamtheit als gesellschaftlicher Metabolismus bezeichnet (vgl. Fischer-Kowalski et al. 1997).

Mit Hilfe der MFA können die Austauschbeziehungen von Gesellschaft und Natur untersucht werden. MFA können auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen durchgeführt werden. Häufig und auch in vorliegender Arbeit wird mit der MFA der Metabolismus einer Volkswirtschaft abgebildet (sogenannte Wirtschaftsräumliche MFA). Die physischen Indikatoren der MFA sind auf Indikatoren aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung wie das BIP oder die Handelsbilanz abgestimmt (Schandl et al. 2002b).

In Abbildung 34 (siehe Anhang) sind die verschiedenen Materialflüsse, die in einer MFA unterschieden und abgebildet werden, schematisch dargestellt. Bei einer MFA ist die Unterscheidung in Bestandsgrößen und Flussgrößen wichtig. Die Materialflüsse werden durch menschliche Aktivitäten in Bewegung gebracht um gesellschaftliche Materialbestände zu produzieren und aufrechtzuerhalten. In der MFA werden in der Regel nur Materialflüsse quantifiziert und in metrischen Tonnen pro Jahr angegeben. Es ist dabei wichtig zwei Systemgrenzen zu unterscheiden: einerseits die Abgrenzung des sozioökonomischen Systems zur natürlichen Umwelt, andererseits die Grenze zu anderen sozioökonomischen Systemen. Auf der Seite der Inputs in das sozioökonomische System werden die Importe aus anderen (in diesem Fall) Volkswirtschaften und die inländische Materialentnahme bilanziert. Auf der Seite des Outputs werden Abgaben an die natürliche Umwelt (Abfälle, Emissionen und die Abwärme) bilanziert und die Exporte an andere Volkswirtschaften. Da Nutztiere zu den biophysischen Aspekten von Gesellschaften gezählt werden, wird auch zur inländischen Entnahme gerechnet, was diese Nutztiere an Nahrung aufnehmen. Die durch Weide aufgenommene Biomasse ist zwar ein ökonomisch kaum bewerteter Fluss, sie stellt allerdings einen oftmals sehr bedeutenden Materialinput in das Gesellschaftssystem dar und wird somit in der MFA berücksichtigt. Zu den Materialien die im gesellschaftlichen Stoffwechsel eine Rolle spielen gehören neben Erzen, fossilen Energieträger, nicht metallischen Mineralien und Biomasse auch Wasser und Luft. Aufgrund ihres großen Anteils am gesamten Materialverbrauch werden Luft und Wasser in der MFA in der Regel nicht berücksichtigt. Eine Ausnahme stellen Wasser und Luft dar, die in anderen Materialien enthalten sind (der Wassergehalt von Biomasse kann bis zu 95% betragen). Grundsätzlich werden in der MFA Materialien mit ihrem Wassergehalt zum Zeitpunkt des Überschreitens der Systemgrenzen angegeben. Die Ausnahme davon stellen Holz, genutzte Ernterückstände und geweidete Biomasse dar. Hier wird der Wassergehalt auf 15% standardisiert (Weisz et al. 2007).

Gemäß des Massenerhaltungssatzes kann Material und Energie in einem geschlossenen System weder geschaffen noch vernichtet werden. Durch Prozesse können Material und Energie in ein System aufgenommen und wieder an die Umwelt abgegeben werden. Die Menge des Materials und der Energie verändern sich dabei nicht, sondern nur ihre Eigenschaften bzw. ihre Qualität. Das bedeutet, dass die Material- und Energieinputs in ein sozioökonomisches System gleich groß wie die Material- und Energieoutputs an die Umwelt sein müssen (unter Berücksichtigung der Bestandsveränderungen) (Schandl et al. 2002b).

In der vorliegenden Arbeit werden nur bestimmte Flüsse betrachtet: Wie in der wirtschaftsräumlichen MFA weitgehend üblich, fokussiert diese Arbeit auf inländische Entnahme (DE), Importe und Exporte. Outputs an die Umwelt (DPO) sowie Bestandsveränderungen werden nicht untersucht. Für diese Flüsse ist auch die Standardisierung der Erfassungsmethoden noch nicht sehr weit fortgeschritten.

2.1.1 Indikatoren

Nachfolgend werden die in dieser Arbeit verwendeten Indikatoren aus der MFA aufgelistet. Die Definitionen stammen aus Weisz et al. 2007¹⁹.

Inlandsentnahme (DE)²⁰: Zur Inlandsentnahme werden alle festen, flüssigen und gasförmigen Materialien gezählt, mit Ausnahme von Wasser und Luft, welche innerhalb der nationalen Grenzen aus der Natur entnommen werden, um im sozioökonomischen System genutzt zu werden. Die Materialien umfassen Biomasse, Baumineralien und Industriemineralien, metallische Erze und fossile Energieträger.

Physische Importe und physische Exporte: Darunter werden alle importierten und exportierten Güter einer Ökonomie, gemessen in physischen Einheiten, verstanden. Diese Güter befinden sich in unterschiedlichen Produktionsstufen. Diese reichen von Rohmaterialien bis zu Fertigwaren.

Inländischer Materialverbrauch (DMC): Der DMC ergibt sich als Summe von DE und physischen Importen, abzüglich der physischen Exporte. Der DMC umfasst alle Materialien, welche ins sozioökonomische System gebracht werden und dort verweilen bis sie letztlich an die natürliche Umwelt abgegeben werden. Der DMC misst den Materialverbrauch einer Ökonomie („apparent consumption“), er kann aber auch als Abfall- und Emissionspotential einer Ökonomie interpretiert werden.

Physische Handelsbilanz (PTB): Die PTB ergibt sich aus den physischen Importen minus den physischen Exporten. Die physische Handelsbilanz ist an die monetäre Handelsbilanz angelehnt²¹. Es wird damit zum Ausdruck gebracht, dass in Ökonomien Geld und Güter in entgegen gesetzter Richtungen fließen. Ein Überschuss im physischen Handel bedeutet, dass diese Ökonomie ein Nettoimporteur von Materialien ist. Im Gegensatz dazu bedeutet ein Defizit, dass eine Volkswirtschaft ein Nettoexporteur von Materialien ist.

Materialproduktivität: Die Materialintensität gibt an wie hoch der Materialumsatz pro Einheit Wirtschaftsleistung ist (DMC [t] pro BIP [\$]). Die Materialintensität ist der Kehrwert der Materialeffizienz und ist ein wichtiger Indikator für Ressourcenintensität einer Ökonomie.

Materialeffizienz: Die Materialeffizienz gibt an wie hoch die Wirtschaftsleistung pro Einheit Materialumsatz ist. (BIP [\$] pro DMC [t]).

¹⁹ Die Definitionen wurden nicht immer wortwörtlich bzw. vollständig übernommen.

²⁰ Die Abkürzungen der Indikatoren in Klammer ergeben sich aus den englischen Begriffen. DE steht für *domestic extraction*, DMC für *domestic material consumption* und PTB für *physical trade balance*.

²¹ Allerdings wird umgekehrt gerechnet: höhere monetäre Importe bedeuten eine negative monetäre Handelsbilanz.

2.2 Datenquellen

Tabelle 1: Materialkategorien und Datenquellen

MFA Kategorie	Unterkategorien	Zeitraum	Verwendete Datenquellen
Biomasse (A.1.)	Haupternteprodukte und genutzte Erntenebenprodukte	1850 - 1960	U.S. Bureau of the Census 1975a, Potter et al. 1962, Manthy 1978
		1961 - 2005	FAO Datenbank auf CD-ROM 2005, FAOSTAT 2009
	Futter für Nutztiere	1850-1960	U.S. Bureau of the Census 1975a
		1961-2005	FAO Datenbank auf CD-ROM 2005, FAOSTAT 2009
	Holz	1850 - 1960	Bureau of the Census 1975a, Manthy 1978
		1961 - 2005	FAO Datenbank auf CD-ROM 2005, FAOSTAT 2009, Howard 2007
	Fisch und Meeresfrüchte	1880 - 1960	U.S. Bureau of the Census 1975a,
		1961 - 2005	FAO FISHSTAT 2007
Biomasse vom Jagen und Sammeln			
Metallische Erze (A.2.)	Eisenerze	1870 - 1899	U.S. Bureau of the Census 1975a
		1900 - 2005	Kelly et al. 2008 (USGS)
	nicht eisenhaltige Metalle	1870 - 1899	U.S. Bureau of the Census 1975a, Manthy 1978
		1900 - 2005	Kelly et al. 2008 (USGS)
Nicht metallische Mineralien (A.3.)		1870 - 1899	U.S. Bureau of the Census 1975a, Potter et al. 1962
		1900 - 2005	Kelly et al. 2008 (USGS)
Fossile Energieträger (A.4.)		1850 - 1959	U.S. Bureau of the Census 1975a, Kelly et al. 2008 (USGS)
		1960 - 2005	IEA 2007

Quelle: eigene Darstellung nach Weisz et al. 2007

In Tabelle 1 ist aufgelistet, welche Daten für welche Zeitabschnitte aus welchen Quellen stammen. Grundsätzlich können historische und aktuelle Datenquellen unterschieden werden. Aktuelle Quellen enthalten Daten die durchgängig bis ins Jahr 2005 verfügbar sind. Es handelt sich meist um Online-Datenbanken von internationalen Organisationen wie der Food and Agricultural Organisation (FAO), der internationalen Energieagentur (IEA) oder dem United States Geological Survey (USGS). Diese werden in dieser Arbeit von den historischen Datenquellen abgegrenzt, welche alle Datenquellen umfassen, die nicht bis ins Jahr 2005 reichen. Die wichtigsten darunter sind die Historical Statistics of the United States (U. S. Bureau of the Census 1975)²², Potter et al. (1962) und das Nachfolgewerk von Manthy (1978). Diese Unterscheidung in aktuellere und historische Datenquellen ist insofern relevant, da sich daraus gewisse Differenzen ergeben, was die Fülle an Daten, ihre Qualität und Vergleichbarkeit und die Aufarbeitung betrifft.

²² Diese werden anderswo in dieser Arbeit der Einfachheit wegen als *Historical Statistics* bezeichnet. Diese Reihe der *Historical Statistics* wurde im Laufe der Zeit von unterschiedlichen Herausgebern publiziert. In der Version von 1975 ist das U.S. Bureau of the Census hauptverantwortlich.

Alle verwendeten historischen Datenquellen befassen sich mit der nationalen Ebene. Das Werk von Potter und Christy und das Nachfolgewerk von Manthy wurden von der als Think Tank bezeichneten Organisation „Resources for the future“ (www.rff.org, 09.09.2009) herausgegeben. Ziel dieser frühen Zusammenstellungen von Daten zur Ressourcennutzung der USA war es eine Grundlage für die Erforschung des Zusammenhanges zwischen Wirtschaftswachstum und Ressourcenknappheit in den USA zu erkunden; ein Unterfangen, das vor allem auch aus strategischen Überlegungen im Zusammenhang mit der Sicherung der Versorgung mit Schlüsselressourcen zu sehen ist. Um dem nachzugehen, wurden „... comprehensive consistent long-term series for the principal economic aspects of major natural resource commodities,...“ (Potter et al. 1962: V) erstellt. Zwei Dinge sind an dieser Herangehensweise erwähnenswert: Zum einen, dass es sich bei dieser Auflistung von Daten um ökonomische Güter handelt. Materialien, welche nicht direkt ökonomisch verwertet werden (denen also kein Geldwert zugewiesen wird), sind nicht aufgelistet. Gerade bei einer historischen MFA spielen solche Materialien eine wichtige Rolle, z.B. das Gras, welches die Tiere auf der Weide aufnehmen oder das Feuerholz, welches zur Versorgung von Haushalten direkt aus dem Wald entnommen wird, usw. Die Menge dieser Materialien muss durch Beiziehen andere Quellen oder Schätzverfahren ermittelt werden. Diese Verfahren werden weiter unten genauer beschrieben. Zum anderen befassen sich die beiden Werke lediglich mit den bedeutendsten Rohstoffen. Bedeutend sind in diesem Falle jene Güter, welche in großen Mengen produziert werden oder welche einen hohen ökonomischen Wert haben wie z.B. Gold. In den aktuelleren Datenquellen sind mehr Güter aufgelistet als in den historischen, weil auch die weniger bedeutenden Güter gezählt werden. In der FAO Datenbank werden z.B. 97 verschiedene Feldfrüchte aufgelistet, bei Potter und Christy sind es hingegen lediglich 23. In den langen Zeitreihen der MFA gibt es ab dem Jahr 1961²³ auf niedrigster Ebene eine höhere Zahl an unterschiedlichen Materialien. Der Unterschied im gesamten Massenfluss bleibt aber unerheblich, da die Untererfassung in den frühen Jahren vor allem sehr kleine Massenflüsse betrifft.

Eine andere wichtige historische Datenquelle stellen die *Historical Statistics* (U.S. Bureau of the Census 1975a,b) dar. Diese Serie wurde vom statistischen Bundesamt („U.S. Bureau of the Census“) und dem Handelsministerium („U.S. Department of Commerce“) der USA herausgegeben. Die beiden Vorgängerwerke der *Historical Statistics* wurden in Kooperation mit dem Sozialwissenschaftlichen Forschungsrat („Social Science Research Council“) erstellt. Ziel dieser Zusammenstellung von Statistiken war es, Daten für die historische Analyse zur Verfügung zu stellen und diese möglichst genau zu beschreiben. In diesem Werk werden nicht nur ökonomische Daten gelistet, sondern Daten aus vielen verschiedenen Bereichen. Dieses Werk diente für die vorliegende Arbeit als Quelle von Daten zur Landnutzung, Landwirtschaft, Bevölkerung, usw. Auch dort sind lediglich die bedeutendsten Güter aufgelistet. Allerdings finden sich hier viel detailliertere Beschreibungen des Zustandekommens und des genauen Inhalts der einzelnen Reihen als bei Potter und Christy bzw. Manthy.

Die Daten für die metallischen Erze und die nicht metallischen Mineralien stammen größtenteils vom geologischen Dienst der Vereinigten Staaten (USGS).

²³ Ab 1961 werden die Daten aus der FAO Datenbank verwendet.

Der USGS sammelt Daten und Informationen auf dem Gebiet der Geologie weltweit (www.usgs.gov, 09.09.2009). Für die USA selbst gibt es detailliert beschriebene historische Zeitreihen, welche bis ins Jahr 1900 zurückreichen (Kelly et al. 2008). Sämtliche mineralische Jahrbücher der USA ab dem Jahr 1933 sind Online verfügbar (USGS 2009). Bei den Datenreihen aus dem USGS gibt es zwischendurch immer wieder Jahre ohne Angaben. Dieser Fall tritt dann auf, wenn es nur ein einziges Unternehmen gibt, das ein bestimmtes Mineral abbaut und somit Unternehmensgeheimnisse verletzt würden.

Zwischen den historischen und den aktuellen Datenquellen gibt es jeweils einen mehr oder weniger großen Überlappungsbereich. Für einige Jahre stehen dann Angaben aus verschiedenen Quellen zur Verfügung. Somit ist eine gewisse Überprüfung der Konsistenz der Daten möglich. Die Daten aus den *Historical Statistics* wurden mit jenen aus Potter und Christy bzw. Manthy verglichen. Erstaunlicherweise passen die Daten von den unterschiedlichen Quellen sehr gut zusammen und ergeben sehr konsistente Datenreihen ohne nennenswerte Brüche. Eine Ausnahme stellen die Daten zum Holz dar.²⁴

Zusätzlich zu den Daten für die Erstellung der MEFA wurden noch weitere Daten verwendet. In Tabelle 2 sind die jeweiligen Datenquellen dargestellt.

Tabelle 2: Datenquellen zusätzlicher Indikatoren

	Zeitraum	Verwendete Datenquelle
Bevölkerung, landwirtschaftliche Bevölkerung	1850-1960	U.S. Bureau of the Census 1975a
	1961-2005	FAO 2005, 2009
Landnutzung	1850-1960	U.S. Bureau of the Census 1975a
	1961-2002	FAO 2005
Bitumen	1900-1942	Abraham 1945
	1900-2002	Kelly et al. 2008
GDP in 1990 Intern. Geary Khamis Dollar	1850-2005	Maddison 2008
Nutztierbestand	1850-1960	U.S. Bureau of the Census 1975a
	1961-2005	FAO 2009
Anzahl der Traktoren	1910-1960	U.S. Bureau of the Census 1975a
	1961-2007	FAO 2009
Handelsdüngerverbrauch	1850-1960	U.S. Bureau of the Census 1975a
	1961-2002	FAO 2009
Eisenbahnnetz	1850-1951	U.S. Bureau of the Census 1975b
	1970-2005	U.S. DOT 2010
Anzahl der Autos	1900-1970	U.S. Bureau of the Census 1975b
	1971-2005	U.S. DOT 2010
Stahlproduktion	1860-1899	U.S. Bureau of the Census 1975a
	1900-2005	Kelly et al. 2008
Nutzung von Elektrizität	1902-1959	U.S. Bureau of the Census 1975b, (Use of Electric Energy)
	1960-2005	IEA 2007 (domestic supply of Electricity)

²⁴ Dies wird in Kapitel 2.3.1.5 noch genauer besprochen.

2.3 Die methodische Vorgehensweise

Die Darstellung der Vorgehensweise orientiert sich an den Materialgruppen der MFA. Die einzelnen Materialgruppen werden zuerst kurz vorgestellt und danach wird geschildert wie die jeweiligen Datenreihen zusammengestellt wurden. Nach der Inländischen Entnahme wird die Erstellung der Daten zum Außenhandel beschrieben und schließlich wird noch auf die Erstellung der EFA eingegangen. Genauere Ausführungen zu den einzelnen Kategorien finden sich bei Weisz et. al 2007.

2.3.1 Inländische Entnahme (DE) von Biomasse

Biomasse umfasst alle organischen nicht fossilen Materialien, welche biologischen Ursprungs sind. Zur DE werden sämtliche Pflanzen, welche von Menschen oder den Nutztieren entnommen werden, sowie die gejagten (in freier Wildbahn lebenden) Tiere gezählt (insbesondere Wildfang von Meerestieren). Produkte aus der Viehwirtschaft (Fleisch, Milch, Eier) dagegen werden nicht zur DE gezählt, sondern als innergesellschaftlicher Materialfluss betrachtet (Weisz et al. 2007).

Die aktuelleren Daten zur Biomasse stammen von der FAO (FAO 2005, FAO 2009). Für die Entnahme von Feuerholz wurden Daten des USDA²⁵ (Howard 2007) verwendet. Die Daten vor 1961 stammen zum größten Teil aus den *Historical Statistics* (U.S. Bureau of the Census 1975a). Ein paar zusätzliche Kategorien wurden aus Potter und Christy (1962) bzw. Manthy (1978) entnommen. Zur Materialgruppe der Biomasse wird auch eine Reihe von Materialien gezählt, welche nicht statistisch erfasst werden, z.B. verwendete Erntenebenprodukte und Weidebiomasse. Diese Kategorien werden mittels Schätzverfahren ermittelt. Die Materialgruppe der Biomasse wird in mehrere Untergruppen gegliedert. Folgend wird auf diese Untergruppen genauer eingegangen.

2.3.1.1 Haupternteprodukte

Die Haupternteprodukte umfassen alle Feldfrüchte, die vom Ackerland geerntet werden. (Weisz et al. 2007) Dazu zählen Getreide, Hackfrüchte, Zuckerfrüchte, Faserfrüchte, Hülsenfrüchte, Ölfrüchte, Obst und Gemüse, Nüsse und andere Feldfrüchte.

Die Mengenangaben zur Feldfruchternte in den historischen Datenquellen sind nicht metrisch. Für die Umrechnung wurden die in Tabelle 3 beschriebenen Faktoren verwendet.

²⁵ U.S. Department of Agriculture

Tabelle 3: Faktoren zur Umrechnung der Maßeinheiten landwirtschaftlicher Erzeugnisse in metrische Einheiten

Feldfrucht	Einheit	Kilogramm (kg)	Metrische Tonne (mt)
Mais	1 bushel	31,8	0,0318
Weizen	1 bushel	27,2	0,0272
Hafer	1 bushel	14,5	0,0145
Gerste	1 bushel	21,8	0,0218
Lein	1 bushel	25,4	0,0254
Soja	1 bushel	27,2	0,0272
Hirse	1 bushel	25,4	0,0254
Roggen	1 bushel	25,4	0,0254
Buchweizen	1 bushel	21,8	0,0218
Baumwolle ab 1962	1 bales, net	218	0,218
Baumwolle vor 1962	1 bales, gross	227	0,227

Quelle: USDA (1992: 11ff)

2.3.1.2 Erntenebenprodukte

Bei der Ernte von Feldfrüchten werden neben den Haupternteprodukten oft noch andere Teile der Pflanze als Futtermittel, zur Unterstreu, zur Energiegewinnung oder als industrielles Rohmaterial verwertet. Diese genutzten Erntenebenprodukte (Stroh, Blätter) werden in der MFA zur DE gezählt. (Weisz et al. 2007)

Die Erntenebenprodukte werden auf Basis der Angaben zu den Feldfrüchten berechnet. Zuerst wird mit Hilfe eines Erntefaktors („harvest factor“) berechnet, wie viele Erntenebenprodukte anfallen. Diese Menge wird schließlich mit einer Verwertungsrate („recovery rate“) multipliziert um die tatsächlich genutzte Menge an Erntenebenprodukten zu errechnen. Die Angaben zu den Erntefaktoren und zur Verwertungsrate von 1960 bis 2000 stammen aus Wirsenius (2000: 91ff). Für die Jahre 1880 bis 1920 wurde jener Ernteindex herangezogen, welche für Kansas für die wichtigsten Feldfrüchte (Mais, Weizen, Gerste, Roggen, Hafer) geschätzt wurde (basierend auf Krausmann 2001, persönliche Kommunikation), herangezogen. Es wurde über alle Jahre hinweg eine einheitliche Verwertungsrate von 70% angenommen. Für die Jahre vor 1870 wurden die Erntefaktoren des Jahres 1880 verwendet, zwischen 1880 und 1920 wurde linear intrapoliert. Die Erntefaktoren sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Erntefaktoren für die Erntenebenprodukte

	Erntefaktoren					
	1880-1920	1960	1970	1980	1990	2000
Weizen	0,71	1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Reis		1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Gerste	0,75	1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Mais	0,7	1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Roggen	0,75	1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Hafer	0,72	1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Hirse		1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Sorghum		1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Buchweizen		1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Zuckerrohr		0,79	0,75	0,68	0,63	0,60
Soja		1,26	1,16	1,02	0,91	0,86
Erdnuss in Schale		1,62	1,49	1,32	1,18	1,10
Sonnenblumensamen		1,59	1,93	1,18	1,01	0,93
Raps		2,22	2,70	1,65	1,42	1,30

Quelle: Wirsenius 2000: .91ff, Krausmann 2001, persönliche Kommunikation

2.3.1.3 Futterpflanzen und Grünfutter

Die Futterpflanzen umfassen Feldfrüchte die primär an Nutztiere verfüttert werden. Dazu zählen unter anderem auch Grünmais aus dem Silofutter hergestellt wird oder grasartige Futterpflanzen und Leguminosen. (Weisz et al. 2007)

In den historischen Statistiken ist Heu als eigene Kategorie angegeben. Diese Kategorie umfasst auch grasartige Futterpflanzen wie Klee und Luzerne. Allerdings sind die Feldfrüchte aus denen Silofutter hergestellt wird bereits bei den Haupternteerzeugnissen inkludiert. In der FAO Datenbank sind diese dann ab 1961 gesondert ausgewiesen. Dies führt zu einem Sprung in der Datenreihe der Futterpflanzen im Jahr 1961. Dieser statistische Bruch wird auf einer höheren Aggregationsebene ausgeglichen, da die geweidete Biomasse als Defizitposten in einer Gesamtfutterbilanz berechnet wird (siehe unten). Die Futterpflanzen und das Grünfutter werden in der MFA mit einem Wassergehalt von 15% gerechnet. In der FAO Datenbank war dieser ab dem Jahr 1985 mit 80% angegeben. Dieser wurde auf 15% standardisiert.

2.3.1.4 Weidebiomasse

Jene Biomasse, welche von Nutztieren durch Beweidung aufgenommen wird, wird in der MFA zur DE gezählt. Da die Weidebiomasse in den gängigen landwirtschaftlichen Statistiken nicht berichtet wird, wurde zur Ermittlung ein Schätzverfahren angewendet (Weisz et al. 2007; Krausmann et al. 2008b)

Für die Schätzung wurde eine, an der Nachfrage orientierte, Futterbilanz erstellt. Dabei wird vom Bestand an Nutztieren ausgegangen und über art- und leistungsspezifische Informationen zum täglichen Futterbedarf ermittelt, wie viel Futter nach Abzug des verfügbaren Marktfutters und der Futterpflanzen bzw. des Grünfutters noch benötigt wird. Dieser Differenzbetrag wird mit der durch Weide

aufgenommenen Biomasse gleichgesetzt. In Tabelle 5 sind die Futterbedarfsfaktoren für die unterschiedlichen Tierarten aufgelistet. Die Faktoren für die Rinder wurden zwischen den Jahren intrapoliert und vor 1880 und nach 2000 fortgeschrieben.

Tabelle 5: Durchschnittlicher Futterbedarf in Kilogramm Trockenmasse pro Kopf und Tag

	durchschnittlicher Futterbedarf kg dm/Kopf/Tag					
	1880-1920	1960	1970	1980	1990	2000
Rinder	7.9	9.8	11.3	12.4	13.9	14.3
Schafe und Ziegen	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Pferde	10	10	10	10	10	10
Esel und Maultiere	6	6	6	6	6	6

Quelle: Krausmann et al. 2008b, Cunfer et al. 2010, persönliche Kommunikation

2.3.1.5 Holz

Diese Gruppe setzt sich zusammen aus dem Nutzholz und dem Feuerholz (Weisz et al. 2007). Bei beiden Unterkategorien gab es Probleme beim Zusammenstellen konsistenter Reihen. Für Nutzholz standen verschiedene Datenreihen mit zum Teil sehr unterschiedlichen Angaben zur Verfügung (Bureau of the Census 1975a Series L 72-86 oder Series L 98, L 166, L151, Potter et al. 1962 FO-2, FO-10 Column A oder Column C, FO-11, FO-12). Es wurden schließlich die Daten aus den *Historical Statistics* (Bureau of the Census 1975, Series L 72-86) verwendet. In dieser Reihe sind die Produktionsdaten zum Holz von 1900 bis 1970 einheitlich in „cubic foot roundwood equivalent“ angegeben (Bureau of the Census 1975a: 539). Im Vergleich zu den Angaben in den *Historical Statistics* Series L 98, L 166, L 151 waren diese viel höher. In Potter und Christy wird auch eine Reihe mit viel niedrigeren Werten geführt. In den Notizen findet sich der Hinweis, dass die Werte aufgrund der Erhebungsmethoden mittels Brieffragebogen²⁶ viel zu niedrig sind (Potter et al. 1962: 266). Im Nachhinein wurden diese Werte vom U.S. Forest Service korrigiert (vgl. ebd.). Die in dieser Arbeit verwendeten Daten aus den *Historical Statistics* stammen auch vom U.S. Forest Service. Diese Reihe ist im Überschneidungszeitraum mit den Angaben aus der FAO Datenbank weitgehend übereinstimmend. Ein weiteres Problem ist, dass die Werte zum Nutzholz lediglich bis zum Jahre 1900 in jährlicher Auflösung zurückreichen. Angaben für die Jahre davor sind lückenhaft und deutlich geringer, da sie nur Bauholz und Holz zur Papiererzeugung enthalten. Es gibt einen gewissen Bruch in den Daten. Die Werte für das Nutzholz vor 1900 sind um ca. 25% niedriger als danach.

Das Nutzholz ist in den statistischen Quellen in Volumen (Festmeter) angegeben. Mit den Umrechnungsfaktoren aus Tabelle 6 wurden die Angaben in Masse (15% Wassergehalt) umgerechnet. Die Angaben aus den historischen Statistiken mussten davor in metrische Volumeneinheiten umgerechnet werden (siehe Tabelle 7). Bei der Berechnung des Nutzholzes gebührt der Rinde besondere Aufmerksamkeit. Diese wird in den Statistiken nicht angeführt. Dennoch wird sie häufig genutzt, z.B. zur Energiegewinnung. Daher wird sie in der MFA

²⁶ Tausende kleine Sägemühlen wurden per Briefsendung nicht erreicht. In der Produktionsstatistik der National Lumber Manufacturers Association waren diese nicht enthalten. (Potter et al. 1962: 266)

berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Rinde 10% der Masse des Rundholzes aus der Statistik entspricht (Weisz et al. 2007).

Tabelle 6: Standard Faktoren um Festmeter (m³) in Masse (mit 15% Wassergehalt) umzurechnen

	Dichte [mt bei 15% Wassergehalt/m ³]
Weichholz	0,52
Hartholz	0,68
Durchschnitt (bei 75% Weichholz)	0,56

Quelle: Weisz et al. 2007 und eigene Berechnung

Tabelle 7: Konversion von Maßeinheiten des Volumen ins metrische System

Einheit	Kubikmeter (m ³)	Metrische Tonnen (mt)
1 Board foot	0,00236	
1 Cubic foot	0,02830	
1 Cord (77 cubic feet roundwood)	2,18040	
1 Cord (fuelwood)	3,62460	
1 BBL		0,165
1 Drum		0,236

Quelle: Howard 2007, U.S. Bureau of the Census 1975a, USDA 1992, Schurr et al. 1960

2.3.1.6 Feuerholz

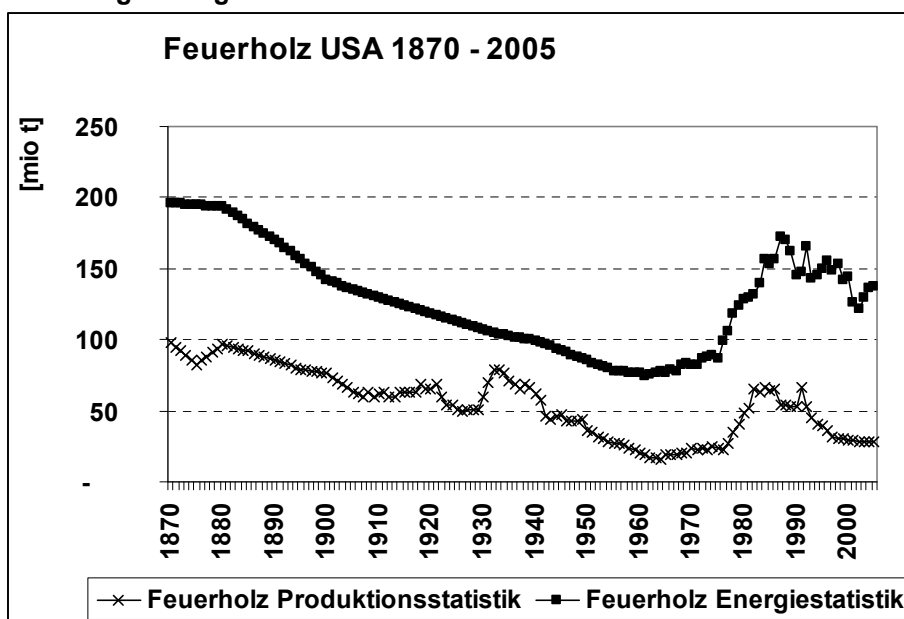
Als besonders problematisch stellte sich die Kompilation der Datenreihe zum Feuerholz heraus. Es lassen sich zwei verschiedene Datenreihen erstellen, je nachdem ob Daten aus der Energiestatistik oder aus der Produktionsstatistik verwendet werden. Es spielt dabei keine Rolle, ob es sich um historische oder aktuelle Datenquellen handelt. In Abbildung 1 sind die beiden Datenreihen dargestellt. Bei der Umrechnung in metrische Tonnen Trockengewicht wurde so vorgegangen wie weiter oben für das Nutzholz beschrieben. Die Daten aus Schurr et al. (1960) wurden mit dem von Weisz et al. (2007) vorgeschlagenen Faktor von 0,7 von Raummeter in Festmeter umgerechnet. Die Daten aus der IEA Datenbank sind in energetischen Einheiten angegeben. Zur Umrechnung in metrische Tonnen wurde von einem Heizwert von 16 MJ/kg²⁷ (OECD/IEA/Eurostat 2004) ausgegangen. In Abbildung 1 ist ersichtlich, dass der allgemeine Verlauf der beiden Reihen ähnlich ist²⁸, allerdings ist das Niveau unterschiedlich. Die Daten aus der Energiestatistik liegen deutlich über jenen aus der Produktionsstatistik. Es kann nun gemutmaßt werden, welche Datenreihe plausibler erscheint. Bei Feuerholz handelt es sich um eine Ressource, welche statistisch nicht genau erfasst werden kann. Jenes Holz, welches von Haushalten direkt dem Wald entnommen wird, scheint in der Regel in der Produktionsstatistik nicht auf. Die Angaben aus der historischen Energiestatistik beruhen auf Schätzungen aufgrund der Bevölkerungsverteilung, des Klimas usw. unter Einbeziehung von Angaben

²⁷ bei einem Wassergehalt von 10-20%.

²⁸ Eine Ausnahme stellt der Anstieg des Feuerholzes in der Produktionsstatistik Anfang der 1930er Jahre dar.

aus der Produktionsstatistik (Schurr et al. 1960: 46). Dies spricht dafür, dass die Daten aus der Energiestatistik plausibler sind. In einem anderen Werk (Potter et al. 1962: 275) findet sich der Hinweis, dass jene Daten vom *Forest Service*, auf die sich Schurr et al. (1960) beziehen, vom *Forest Service* zu einem späteren Zeitpunkt nach unten revidiert wurden. Aufgrund dieser Unsicherheiten wurden in der vorliegenden MFA die Daten, die aus der Produktionsstatistik stammen, verwendet. Damit wurde eine konservative Annahme getroffen und der Massenfluss von Feuerholz ist vermutlich unterschätzt.

Abbildung 1: Vergleich von Feuerholz aus der Produktionsstatistik und der Energiestatistik



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus Schurr et al. 1960, IEA 2007, Manthy 1978, Howard 2007

2.3.2 DE der metallischen Erze

Diese Materialgruppe beinhaltet alle metallischen Erze. In der MFA wird eine Unterscheidung in Eisenerze und nicht eisenhaltige Erze vorgenommen. Mengenmäßig ist der Anteil der metallischen Mineralien an der DE eher gering. Einzelne Metalle können aber einen hohen ökonomischen Wert haben. (Weisz et al. 2007)

Bis zum Jahr 1899 stammen die Daten aus den *Historical Statistics* (1975). Die Angaben zu Blei und Zink sind aus Manthy (1978), da in den *Historical Statistics* keine Unterscheidung nach der Herkunft der Erze aus dem Inland oder dem Ausland getroffen wird²⁹. Ab dem Jahr 1900 werden die Daten aus der USGS Datenbank verwendet. Blei und Zink sind im USGS teilweise auch aus der Produktion von Erzen aus dem Ausland angegeben. Der Anteil der Erze aus dem Ausland an der gesamten DE der metallischen Erze ist allerdings sehr gering. Das mengenmäßig bei weitem bedeutendste Erz, das Eisenerz, stimmt mit den Angaben aus den historischen Datenquellen sehr gut überein. Im USGS sind zahlreiche Metalle angeführt, welche in den historischen Datenquellen nicht

²⁹ Zur DE werden ausschließlich Erze gezählt, die im Inland entnommen werden.

aufgelistet werden, da deren Produktion sehr gering ist oder weil diese zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgebaut wurden. Da der Anteil dieser Metalle sehr gering ist, führt die graduelle Zunahme an gelisteten Erzen im Gesamtverlauf der Kurve zur DE der metallischen Mineralien kaum zu nennenswerten Verzerrungen.

Bei den metallischen Mineralien gibt es wichtige Systemgrenzen zu beachten. So ist die Unterscheidung in genutzte und ungenutzte Entnahme von Material bedeutend. Zur ungenutzten Entnahme zählt jenes Material, welches zwar bewegt wird um z.B. an die Erze heranzukommen, aber nicht weiter verarbeitet wird. Dieses Material wird in der MFA nicht berücksichtigt. Nur die tatsächlich entnommenen Erze (metallhaltiges Material) werden gezählt. In den Statistiken kann sowohl das gesamte metallhaltige Material angegeben sein, oder nur das tatsächliche Metall, das sich im Erz befindet. Es ist wichtig zwischen dem Roherz und dem Metallgehalt zu unterscheiden. In der MFA wird schließlich mit den Werten des Roherzes weitergearbeitet. (Weisz et al. 2007)

Weiters muss die Kuppelproduktion berücksichtigt werden. Viele Erze enthalten mehr als nur ein Metall. Blei kommt z.B. oft gemeinsam mit Zink vor. Um Doppelzählungen bei Roherzen zu vermeiden muss dies bei der Berechnung berücksichtigt werden. (Weisz et al. 2007)

Sowohl in den historischen Statistiken, als auch im USGS ist mit Ausnahme des Eisenerzes immer die Menge des reinen Metalls angegeben. Um die Menge des Roherzes zu bestimmen, wurden die Metallgehalte durch die Erzgrade (siehe Tabelle 8) dividiert. Die Kuppelproduktion ist in den Erzgraden bereits berücksichtigt. Es wurden über die Jahre hinweg konstant dieselben Erzgrade verwendet, da keine konsistenten Angaben zur Veränderung in den durchschnittlichen Erzgehalten zur Verfügung standen.

Tabelle 8: Die Erzgrade in den USA für das Jahr 2000 unter Berücksichtigung der Kuppelproduktion

	Erzgrade		Erzgrade
Antimon	100%	Platin	0.00082%
Arsenik	100%	Quecksilber	100%
Bauxit	100%	Rhenium	100%
Blei	1%	Seltenerdmetall	100%
Chromit	50%	Silber	100%
Eisenerz	63%	Strontium	43.88%
Gold	100%	Titanium	70%
Kobalt	100%	Wismut	100%
Kupfer	0.67%	Wolfram	0%
Lithium	8%	Zink	6%
Mangan	100%	Zinn	0.15%
Molybdän	100%	Zirkonium	100%
Nickel	1%		

Quelle: USGS 2002, persönliche Kommunikation Fridolin Krausmann

2.3.3 DE von nicht metallischen Mineralien

Diese Materialgruppe umfasst alle nicht metallischen Bau- und Industriemineralien. Dazu zählen sämtliche Naturbausteine, kalkhaltigen Steine, Schiefer, Sand und Schotter, Lehm und Kaolin, Salz, Mineralien, welche als Düngemittel oder für die chemische Industrie geeignet sind, und andere

Bergbauprodukte. (Weisz et al. 2007) Jene Mineralien die industriell genutzt werden, sind statistisch gut erfasst. Die große Menge an Mineralien, welche zur Konstruktion von Gebäuden, Straßen, usw. verwendet werden, sind oft nicht oder nur teilweise aufgezeichnet. Daher wurden zur Ermittlung der Menge des Sands und Schotter und des Kalksteins Schätzungen angestellt und die Ergebnisse mit den Angaben aus der Statistik verglichen. Bei der Schätzung des benötigten Kalksteins wurde von der Zementproduktion ausgegangen (siehe Tabelle 9). Die Schätzung ergab niedrigere Werte als jene, die in den Datenquellen angegeben sind. Da davon auszugehen ist, dass Kalkstein nicht nur zur Zementherstellung benutzt wird sondern auch in großem Ausmaß als Schüttmaterial in der Bauwirtschaft („crushed stone“), wurden in der MFA die höheren Werte aus den Datenquellen verwendet.

Tabelle 9: Faktoren zur Schätzung des Verbrauches von Kalkgestein und Sand und Schotter

Kalkstein zur Zementherstellung

Produzierter Zement (t)*1,25 = benötigter Kalkstein (t)

Sand und Schotter für die Betonherstellung (konservative Schätzung)

DMC Zement (t) * 6.0 = benötigter Sand und Schotter für Beton

Sand und Schotter zur Asphaltherstellung

DMC Bitumen (t) * 20 * 1.5 benötigter Sand und Schotter für Asphalt

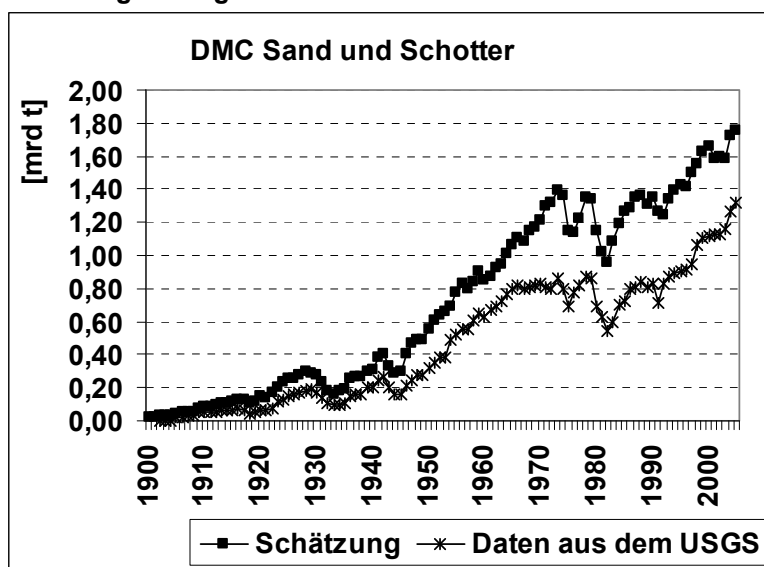
Quelle: Steinberger et al. 2010, persönliche Kommunikation Fridolin Krausmann

Die DE von Sand und Schotter wurde auf Basis der Betonproduktion und der Asphaltproduktion geschätzt. Es wurde von der Annahme ausgegangen, dass zur Herstellung von Beton sechs mal soviel Sand und Schotter benötigt wird wie Zement (siehe Tabelle 9). Weiters wurde angenommen, dass zur Asphaltherstellung 5% Bitumen und 95% Sand und Schotter verwendet werden. Die Daten zum Verbrauch von Bitumen stammen aus dem USGS³⁰. Ein Abgleich der Daten zum Bitumen mit jenen der Internationalen Energieagentur (IEA 2007) und Abraham (1945) wurde vorgenommen. Sand und Schotter wird auch für unasphaltierte Verkehrswege und als Schüttmaterial benutzt, daher wird der errechnete Wert schließlich noch mit dem Faktor 1,5 multipliziert (siehe Tabelle 9). Da jeweils vom Verbrauch der Materialien ausgegangen wird, wird noch die physische Handelsbilanz berücksichtigt. Die Schätzung der Menge an entnommenen Sand und Schotter ergibt höhere Werte als die Angabe dazu im USGS (Kelly et al. 2008). In Abbildung 2 ist der Unterschied zwischen der Schätzung und den Daten aus dem USGS dargestellt. Der Verbrauch von Sand und Schotter ist der Schätzung nach von 18,7 Mio. Tonnen im Jahr 1900 auf 1,7 Mrd. Tonnen im Jahr 2005 gestiegen. Die Daten aus dem USGS machen im Durchschnitt um die 60% der Werte der Schätzung aus.

Erfreulicherweise sind die Werte der Schätzung mit den Angaben aus den *Historical Statistics* konsistent. Das spricht für die Plausibilität der Schätzung. Für die MFA werden die Werte der Schätzung herangezogen.

³⁰ Es wurde die Kategorie „asphalt and road oils“ verwendet. Im amerikanischen Sprachgebrauch wird Bitumen als „asphalt“ bezeichnet.

Abbildung 2: Vergleich der Sand und Schotter Daten



Quelle: eigene Darstellung, Schätzung basierend auf Daten aus: Bureau of the Census 1975a, Kelly et al. 2008, IEA 2007

Bei der Materialgruppe der nicht metallischen Mineralien besteht das Problem, dass sich die MFA Klassifizierung nicht vollständig auf die Daten, wie sie in den verschiedenen Datenquellen angegeben sind, anwenden lässt. So gibt es z.B. bei Potter et al. die Kategorie „all stone“. In dieser werden die MFA Kategorien A.3.1. bis A.3.3.³¹ zusammengefasst. Da diese spezifische Einteilung für die weitere Analyse keine Rolle spielt, wurden die Kategorien der Datenquellen beibehalten.

2.3.4 DE von fossilen Energieträgern

Die Materialgruppe der fossilen Energieträger umfasst die Braunkohle, die Steinkohle, das Erdöl, das Erdgas und den Torf. Das sind Energieträger, welche in erdgeschichtlichen Zeiträumen durch geologische Prozesse aus Biomasse gebildet wurden. Das können feste, flüssige oder gasförmige Materialien sein. Zum größten Teil werden fossile Energieträger für die Bereitstellung von Energie genutzt. Sie dienen aber auch als Rohmaterial für industrielle Prozesse. (Weisz et al. 2007)

Die aktuelleren Daten zu den fossilen Energieträgern stammen von der IEA (IEA 2007). Die historischen Daten sind aus den *Historical Statistics* entnommen. Die Angaben zum Torf sind ausschließlich vom USGS. Manche Daten zu den fossilen Energieträgern sind in Volumen oder energetischen Einheiten angegeben. Die Umrechnung in Gewicht hängt vom Energiegehalt des jeweiligen Materials ab (OECD/IEA/Eurostat 2004). Diese kann von Region zu Region verschieden sein. Zur Umrechnung in metrische Tonnen wurden Durchschnittswerte herangezogen (siehe Tabelle 10). Die Daten aus den unterschiedlichen Datenbanken stimmen größtenteils überein.

³¹ Näheres zu dieser Kategorisierung siehe Weisz et al. 2007.

Tabelle 10: Umrechnungsfaktoren der fossilen Energieträger in metrische Tonnen

Energieträger	Maßeinheit	Umrechnungsfaktor	Quelle
Erdöl	42-gallon barrel	0,13637 mt	EIA 2008
Erdgas	1 cubic foot (cf) = 0,028317 Kubikmeter (m ³)	0,8 kg/m ³	Weisz et al. 2007
Erdgas	Terrajoule (TJ)	GCV: 50 MJ/kg	Weisz et al. 2007

2.3.5 Außenhandel

Der Außenhandel umfasst alle Importe von und Exporte in andere Nationalökonomien. Im Gegensatz zur DE, wo nur Rohmaterialien berücksichtigt werden, die aus der Natur entnommen werden, werden beim Außenhandel sämtliche Güter bzw. Produkte berücksichtigt, egal in welcher Phase des Herstellungsprozesses sie sich befinden. In der MFA wird zwischen Rohmaterialien, Halbfertigwaren und Fertigwaren unterschieden. Alle Güter werden mit dem Gewicht erfasst, das sie beim Übertritt der administrativen Grenzen haben und das auch in der Außenhandelsstatistik angegeben ist (Weisz et al. 2007). Beim Außenhandel werden eine Reihe von Materialgruppen erfasst, die in der DE nicht vorkommen: Dazu zählen insbesondere Importe und Exporte von Produkten aus der Viehwirtschaft (Eier, Milch, Fleisch).

Die historischen Daten zum Außenhandel stammen aus Potter und Christy bzw. Manthy. Ein Großteil der Handelsdaten ist ab dem Jahr 1870 dokumentiert. Für die Fischprodukte waren ab dem Jahr 1880 Daten verfügbar. Die Aufzeichnungen der Importdaten der nicht metallischen Mineralien beginnen im Jahr 1878, die Exportdaten ab dem Jahr 1880. Der Anteil dieser Produkte am Handel war zu diesem Zeitpunkt sehr gering, die entstehenden Verzerrungen sind vernachlässigbar.

Auch beim Außenhandel gab es Probleme mit den historischen Holzdaten. Bis zum Jahr 1950 sind lediglich die Nettoimporte (= Importe minus Exporte) angegeben. Ab dem Jahr 1961 konnten die Daten aus FAO Datenbank verwendet werden. Die Import Daten zwischen 1950 und 1960 sind um einiges höher als die Daten in den Jahren danach. Vergleicht man die PTB mit den Nettoimporten vor 1950, so zeigt sich auch hier ein Bruch. Die Außenhandelsdaten für Holz können somit nur vage interpretiert werden. Im Vergleich zur DE sind die Handelsflüsse für Holz relativ gering. Zwischen 1950 und 1960 machten die Importe ca. 11% der DE aus (eigene Berechnung).

Die gehandelten, nicht essbaren Teile der Fischindustrie waren für manche Jahre nur in monetären Werten angegeben. Die physischen Werte werden in diesem Fall über die monetären Werte geschätzt, die Flüsse sind allerdings sehr gering.

Die aktuelleren Daten zum Außenhandel stammen für die Biomasse von der FAO, für die fossilen Energieträger von der IEA und für die metallischen und nicht metallischen Mineralien vom USGS. Die Lebewesen sind in der FAO Datenbank in Stückzahlen angegeben. In Tabelle 11 finden sich die entsprechenden Faktoren für die Umrechnung in Masse.

Tabelle 11: Durchschnittliches Lebendgewicht der Nutztiere für die Jahre 1980-1989 und 1990 in den USA

Lebendgewicht	Durchschnitt 1980-89	Durchschnitt 1990
	kg	kg
Rinder	494,9	515,3
Schafe	52,2	56,7
Schweine	111,1	112,9

Quelle: USDA 1992

In dieser MFA wurden beim Außenhandel hauptsächlich Daten für Rohmaterialien bzw. Halbfertigmaterialien verwendet. Dies liegt daran, dass in den in dieser Arbeit so bezeichneten historischen Datenquellen lediglich diese angegeben waren. Umfassende Angaben zu Außenhandelsdaten stehen mit der UNComtrade Datenbank (UN Statistics Division 2009) erst ab dem Jahr 1962 zur Verfügung. Ein Vergleich der Außenhandelsdaten (siehe Abbildung 3)³² der UNComtrade Datenbank und der Daten aus der FAO, IEA und dem USGS zeigt, dass die Unterschiede gering sind. Es ist anzumerken, dass in der UNComtrade Datenbank für viele Waren nur Angaben in monetären Einheiten existieren. Allerdings gibt es manche Jahre (1978, 1985-1988, 2005, 2006), in denen die physischen Daten fast vollständig dokumentiert sind. Daher müssen vor allem diese Jahre als Vergleichsjahre herangezogen werden. In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass der Unterschied in den ersten 15 Jahren sehr gering ist und dann vor allem bei den Importen größer wird. Im letzten Berichtsjahr (2005), sind sowohl die Daten zu den Importen, wie auch den Exporten aus der UNComtrade Datenbank wesentlich höher als die Angaben aus den anderen Quellen: Bei den Importdaten aus der UNcomtrade Datenbank sind die größten Unterschiede in den Daten beim Übergang zwischen den Jahren 2004 und 2005 bei den Produkten die hauptsächlich aus Metall hergestellt werden und den „other products“. Hauptsächlich dafür verantwortlich (d.h. der Unterschied beträgt mehr als 10 Mio. Tonnen) sind die Gruppe der (laut UNcomtrade Klassifikation) „road motor vehicles“ und „furniture“. Bei den Exporten ist der Unterschied niedriger. Den größten Unterschied gibt es hier bei der Gruppe der „road motor vehicles“. Sowohl bei den Importen als auch bei den Exporten hat die Gruppe der „road motor vehicles“ von 1988³³ bis 2005 deutlich zugenommen. Bei den Importen ist dieser Wert von 8,8 Mio. Tonnen im Jahr 1988 auf 22,6 Mio. Tonnen im Jahr 2005 angestiegen (UN Statistics division 2009).

Aus Gründen der Einheitlichkeit wurden für die MFA die aktuelleren Außenhandelsdaten von FAO, IEA und USGS verwendet. Insgesamt zeigt der Vergleich in Abbildung 3, dass die Untererfassung von Fertigprodukten in der Massenbilanz nur eine untergeordnete Rolle spielt und auf der Ebene hochaggrierter Indikatoren, wie sie in dieser Arbeit diskutiert werden, keine gravierenden Verzerrungen zu erwarten sind.

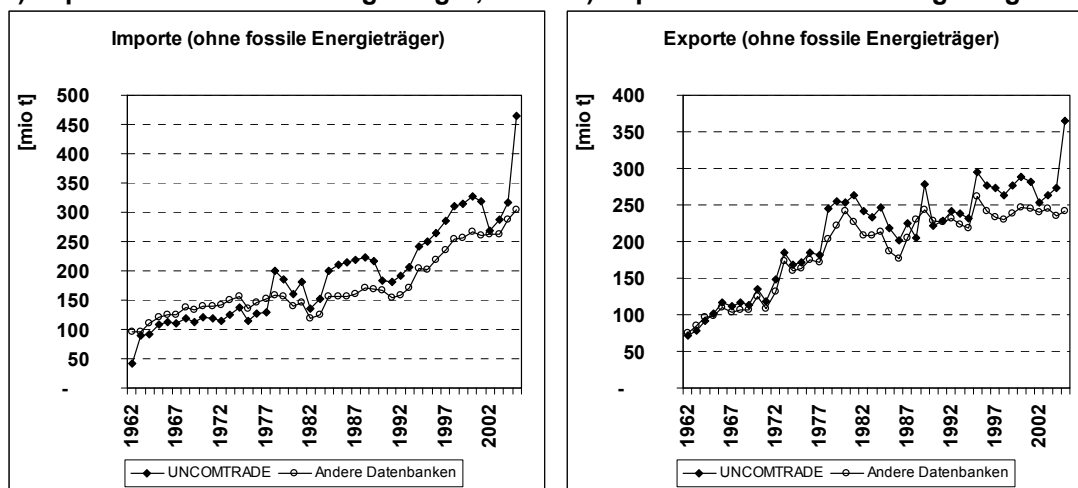
³² Die Daten zu den fossilen Energieträgern wurden ausgeklammert, da besonders dazu die Angaben in der UNComtrade Datenbank unvollständig sind.

³³ Vor dem Jahr 2005 gibt es wieder im Jahr 1988 eine Angabe bei der Gruppe der „road motor vehicles“.

Abbildung 3: Vergleich der Handelsdaten aus der UNCOMTRADE Datenbank und anderen Datenbanken in Mio. metrischen Tonnen von den Jahren 1962 bis 2003

a) Importe ohne fossile Energieträger,

b) Exporte ohne fossile Energieträger.



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus UN Statistics division 2009, Potter et al. 1962, Manthy 1978, FAO 2009, IEA 2007, Kelly et al. 2008

2.3.6 Energieflussanalyse EFA

Mit einer EFA werden im Allgemeinen Energie Inputs, interne Transformationen und Energie Outputs eines sozioökonomischen Systems dargestellt (Haberl 2002). Die EFA wie sie von Haberl 2001a beschrieben wurde, operiert dabei im Wesentlichen mit denselben Systemgrenzen und Konventionen wie die MFA und ist zu dieser voll kompatibel. Detaillierte Informationen zu den Prinzipien und Berechnungsverfahren der EFA und eine Diskussion von Fallbeispielen finden sich bei Haberl et al. 2001a, Haberl et al. 2001b und Haberl 2002. In dieser Arbeit wird mit Hilfe einer EFA die Transformation des Energiesystems von einem von Biomasse dominierten zu einem auf fossilen Energieträgern basierten System in den USA untersucht. Die hier durchgeführte EFA beginnt bereits ab dem Jahr 1850 um den Übergang des Energiesystems umfassender darzustellen. Im Jahr 1850 beträgt der Anteil fossiler Energieträger am DEC in den USA ca. 7% (eigene Berechnungen).

Der Zusammenhang zwischen Material- und Energienutzung ist sehr eng. Energie wird benötigt um Material zu bewegen, materielle Bestände aufrechtzuerhalten und Wärme, Licht, Antriebskraft, Nahrung, usw. zur Verfügung zu stellen (Haberl 2001a) und es gibt einen gewissen Überschneidungsbereich in den Flüßen die von MFA und EFA erfasst werden. Da EFAs in energetischen Einheiten dargestellt werden, erfolgt im Vergleich zur MFA eine Umgewichtung: Bei einer EFA fallen jene Materialien, welche eine hohe Energiedichte haben, höher ins Gewicht, während Materialien die keinen Brennwert aufweisen (Erze, nicht metallische Mineralien) nicht erfasst werden. Umgekehrt wird eine Reihe von Energieflüssen erfasst die in der MFA keine Berücksichtigung finden (Wasserkraft, Nukleare Wärme).

Die EFA wurde aufbauend auf die MFA erstellt. Die Höhe der Energieflüsse wurde zum großen Teil berechnet, in dem die Materialflüsse aus der MFA mit den entsprechenden Konversionsfaktoren (Obere Brennwerte; siehe Anhang, Tabelle 14) in energetische Einheiten umgerechnet wurden. Die Konversionsfaktoren entsprechen dem Bruttobrennwert der Materialien. Die Gruppe der metallischen und nicht metallischen Mineralien wird bei der EFA ausgeklammert, da diese einen sehr niedrigen Energiegehalt haben. Zusätzlich zu jenen Kategorien, die auch in der MFA vorkommen, müssen noch weitere Energieflüsse berücksichtigt werden. Dazu zählen vor allem die Wasserkraft die zur Erzeugung von elektrischer Energie in Wasserkraftwerken genutzt wird, die Wärme die bei der Kernspaltung frei wird und geothermische Energie³⁴. Darüber hinaus wird auch importierte bzw. exportierte Elektrizität erfasst. Energie aus Wasserkraft, geothermische Energie und importierte bzw. exportierte Elektrizität werden unter der Abkürzung HRE³⁵ zusammengefasst (vgl. Haberl et al. 2006). Bei der Berechnung dieser Flüsse wird angenommen, dass die Energieeffizienz von Wasserkraft bei 95% liegt, bei Atomkraft bei 33% und für die Gewinnung geothermischer Energie bei 10% (Haberl 2002). Die Energieeffizienz besagt, dass bei der Umwandlung von Wasserkraft in Elektrizität die gewonnene Elektrizität 95% der Energie aus Wasserkraft ausmacht. In den Statistiken sind die Werte der gewonnenen Elektrizität angegeben. Für die DE muss auf den Wert der Primärenergie zurückgerechnet werden.

Bei der Biomasse ist zu beachten, dass der jeweilige Energiegehalt unter anderem vom Wassergehalt abhängig ist. Zur Berechnung der Biomasse wurde daher zuerst mit den Faktoren aus Tabelle 15 (siehe Anhang) die Trockenmasse ermittelt. Erst danach wurden die Werte über Brennwerte in energetische Einheiten umgerechnet.

Die Primärdaten wurden aus der MFA übernommen. Jene zur Elektrizität aus Wasserkraft und Nuklearenergie und zur geothermischen Energie stammen aus der IEA-Datenbank (2007) und die historischen Daten zur Wasserkraft aus den Historical Statistics. Die EFA beginnt bereits ab dem Jahr 1850. Da für die Jahre von 1850 bis 1870 keine Daten zum Handel verfügbar sind, wurden die pro Kopf Werte der Importe und Exporte fortgeschrieben. Da der Außenhandel zu diesem Zeitpunkt im Vergleich zur inländischen Entnahme sehr gering ist, kann die Fortschreibung der Werte als unproblematisch betrachtet werden. In der EFA wurde das Feuerholz in zwei Varianten, einmal mit dem Wert der Produktionsstatistik und einmal mit dem Wert der Energiestatistik, gerechnet (siehe oben).

2.4 Besonderheiten der historischen Analyse

Zum Abschluss der Ausführungen zum methodischen Vorgehen soll noch auf ein paar Besonderheiten hingewiesen werden, die sich daraus ergeben, dass die vorliegende MFA 135 Jahre bzw. die EFA 155 Jahre umfassen. So hat sich z.B. über diesen Zeitraum hinweg der nationale Gebietsstand der USA verändert, von 1876 bis 1912 vor allem durch das Verschieben der Grenze Richtung Westen.

³⁴ Der Anteil der Elektrizität aus Windkraft, Sonnenenergie, etc.,..... war so gering, dass er nicht berücksichtigt wurde.

³⁵ HRE: Hydropower, non-combustible renewable energy and imported/exported electricity.

Während dieser Jahre treten Colorado, Oklahoma, Arizona und New Mexico als Letzte der territorial zusammenhängenden Staaten der Union bei. Im Jahre 1959 werden schließlich noch Alaska und Hawaii in die Union aufgenommen (Adams 2008). In dieser MFA wird durchgängig mit der Größe des heutigen Staatsgebietes³⁶ gearbeitet. Die Gebiete am Festland, welche um 1870 noch nicht der Union beigetreten waren, wurden in den *Historical Statistics* (1975) bereits vollständig miteinbezogen. Hawaii und Alaska werden in den *Historical Statistics* (1975) meist ab 1959 bzw. 1960 berücksichtigt. Alaska ist ein ressourcenreiches Land. Alle Materialien, welche in der Forstwirtschaft in Alaska aus der Natur entnommen werden, sind in den *Historical Statistics* (1975) bereits zur USA gezählt worden. Zusätzlich sind alle bedeutenden Mineralien, mit Ausnahme des Erdöls und der Erdölprodukte, in den *Historical Statistics* (1975) bereits vor 1959 zur USA gezählt worden. Dazu zählen Kohle, Kupfer, Gold, Silber, etc.... Kohle wurde bereits im 19. Jhdt. in Alaska abgebaut. Allerdings in einer sehr geringen Menge verglichen mit dem Kohleabbau in den „lower 48“ Bundesstaaten³⁷. Die großen Erdöl und Erdgasvorkommen in Alaska wurden allerdings erst nach 1959 ausgebeutet. Die Erdöl- und Erdgas Produktion begann im Jahr 1958 mit 36.000 Barrel Erdöl. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 1970, dem Jahr mit der höchsten Fördermenge in Alaska, 83 Mrd. Barrel Erdöl gefördert (DNR DOG 2010). Die landwirtschaftlich erzeugten Produkte aus Alaska und Hawaii werden erst ab 1959 zur USA gezählt. Diese spielen allerdings mengenmäßig nur eine sehr untergeordnete Rolle. Insgesamt ergeben sich durch die Veränderungen im Gebietsstand keine wesentlichen statistischen Brüche oder Sprünge in den Reihen.

Soweit möglich wurden die in den Berechnungsverfahren verwendeten Koeffizienten über die Zeit dynamisiert (etwa die Annahmen zu den Erntefaktoren oder zum Futterbedarf). Dies war allerdings nicht in allen Fällen möglich und vielfach mussten über die Zeitspanne konstante Faktoren verwendet werden, obwohl es sein kann, dass es im Laufe der 135 bzw. 155 Jahre zu Veränderungen gekommen ist. Dieser Fall tritt z.B. bei den Erzgraden auf. Es kann davon ausgegangen werden, dass aus wirtschaftlichem Grund zuerst jene Erze abgebaut werden, welche einen hohen Metallgehalt besitzen und im Laufe der Zeit immer mehr Erze mit niedrigerem Metallgehalt abgebaut werden. Andererseits kann es auch sein, dass sobald es in einer Mine nur noch Erze mit niedrigem Metallgehalt gibt, neue Abbaugelände erschlossen werden und somit der Metallgehalt im Durchschnitt derselbe bleibt. Für das mengenmäßig weitaus bedeutendste Erz, das Eisenerz, fand sich im *Mineral Yearbook* (Kießling 1933, S 85) eine Angabe zum Verhältnis von Eisenerz und Roheisen. Eigene Berechnungen ergaben einen durchschnittlichen Erzgrad für Eisenerz im Jahr 1932 von 64,86%. Laut USGS (Kelly et al. 2008) betrug dieser im Jahr 2000 durchschnittlich 63%. Diese Abweichung von 1,86% ist akzeptabel.

Weiters wurden bei der Berechnung des Futtermittelbedarfs (siehe Kapitel 2.3.1.4) für Pferde, Schafe und Ziegen, Esel und Maultiere konstante Faktoren verwendet. Bei den Nutztieren sind Rinder die mengenmäßig bedeutendste Gruppe (siehe Abbildung 8, Kapitel 3.1.1.1) und für diese wurden über die Zeit veränderte Faktoren verwendet.

³⁶ Laut FAO sind dies 962 909 000 ha (FAO Datenbank 2005).

³⁷ Im 10 Jahres Durchschnitt wurden in Alaska im Jahr 1885 ca. 1.700 metrische Tonnen Kohle abgebaut (Szumigala et al. 2009).

Für das Feuerholz und das Faserholz („Pulpwood“) gibt es in den USA unter anderem die Maßeinheit *Cord*. Die Entsprechung eines *Cord* in Kubikmeter ist variabel. In der Regel beträgt ein *Cord* Feuerholz 3,63 m³ und ein *Cord* Faserholz 2,18 m³. Die Angaben zum Faserholz von den Jahren 1869 bis 1899 und die Angaben zum Feuerholz in der Energiestatistik von den Jahren 1850 bis 1955 sind in *Cord* angegeben. Bei Schurr et al. (1960, S. 47) findet sich der Hinweis, dass vor allem in den früheren Perioden³⁸ *Cord* keine exakte Maßeinheit bezeichnet, sondern eine ungefähre Entsprechung für einen Stapel Holz von 4 mal 4 mal 8 Fuß ist. Das Faserholz wurde mit demselben Faktor umgerechnet, welcher in den *Historical Statistics* (U.S. Bureau of the Census 1975) zur Umrechnung von *Cord* in Fuß verwendet wird³⁹. Dort wird Faserholz mit 77 Kubikfuß pro *Cord* umgerechnet (U.S. Bureau of the Census 1975, S. 528).

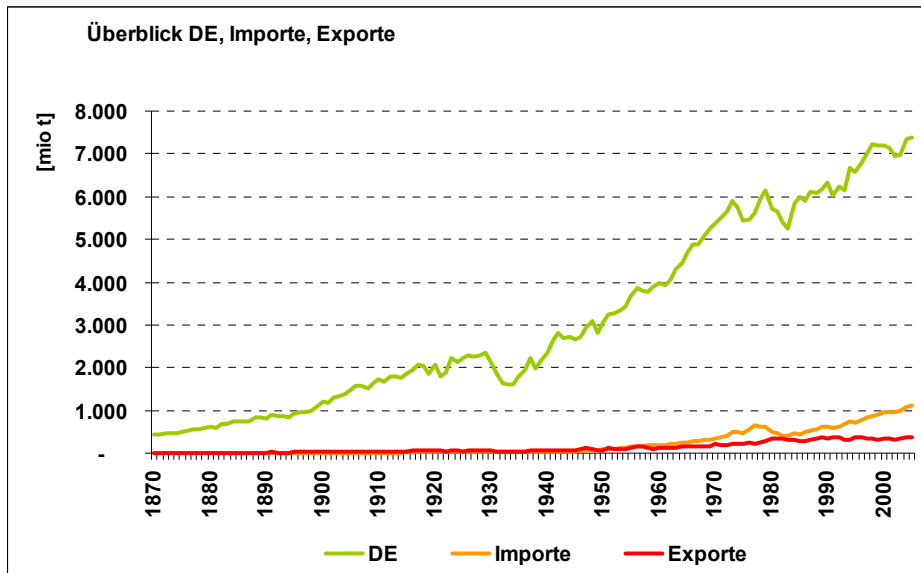
³⁸ Die Datenreihe beginnt im Jahre 1850.

³⁹ Bei einer anderen Datenreihe

3 Ergebnisse

3.1 Materialflüsse

Abbildung 4: DE, physische Importe und Exporte von 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen.

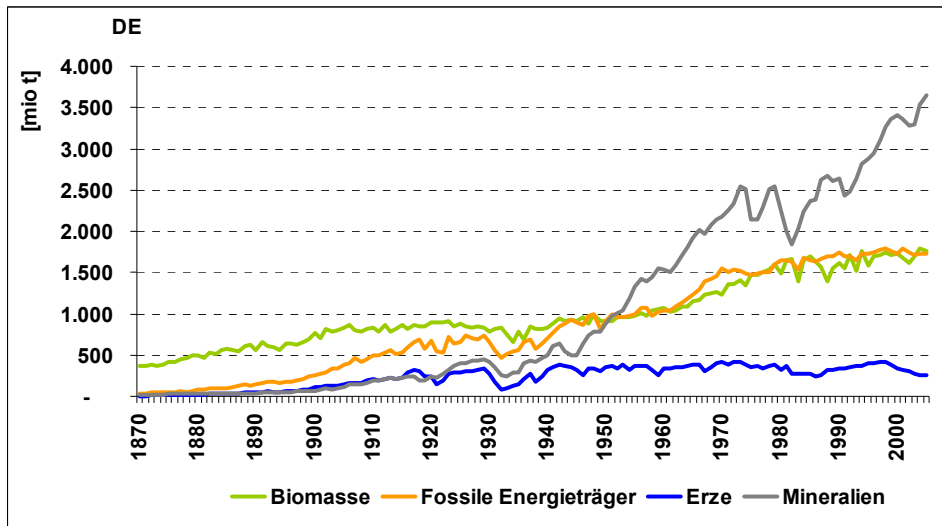


Quelle: MFA

Der Verlauf der Inlandsentnahme von Materialien hat im betrachteten Zeitraum einen enormen Anstieg zu verzeichnen (siehe Abbildung 4). Beginnend mit rund 450 Mio. Tonnen im Jahre 1870 stieg die DE von Materialien um das 16-fache bis zum Jahr 2005 auf über 7 Mrd. Tonnen an. Die Kurve der DE zeigt im Verlauf drei größere Einschnitte, in denen die Inlandsentnahme von Materialien über mehrere Jahre hinweg zurückging. Diese Einschnitte fanden zu Beginn der 1930er Jahre zur Zeit der großen Depression und Mitte der 1970er Jahre, bzw. Anfang der 1980er Jahre statt, jeweils nach den beiden Ölkrisen. Bereits an diesem Verlauf lässt sich ein enger Zusammenhang zwischen Materialentnahme und Wirtschaftsgeschehen erahnen. Die Importe und Exporte von Materialien spielen im Vergleich zur DE mengenmäßig eine geringe Rolle. Bis zum Jahr 1945 waren sie in Relation zur DE sehr gering. Danach gab es einen leichten Anstieg sowohl von den Importen, als auch von den Exporten. Die Exporte pendelten sich ab 1980 auf einem gewissen Level ein. Die Importe stiegen dagegen rascher an, ein Trend der sich nach einem deutlichen Rückgang der importierten Massen ab 1983 weiter fortsetzte. Mittlerweile beträgt das Volumen der Importe mehr als das 3-fache der Exporte. Weiter unten werden die Importe und Exporte und ihre steigende Bedeutung für den Stoffwechsel noch im Detail behandelt.

3.1.1 Inlandsentnahme DE

Abbildung 5: DE von Materialien in den USA von den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen.



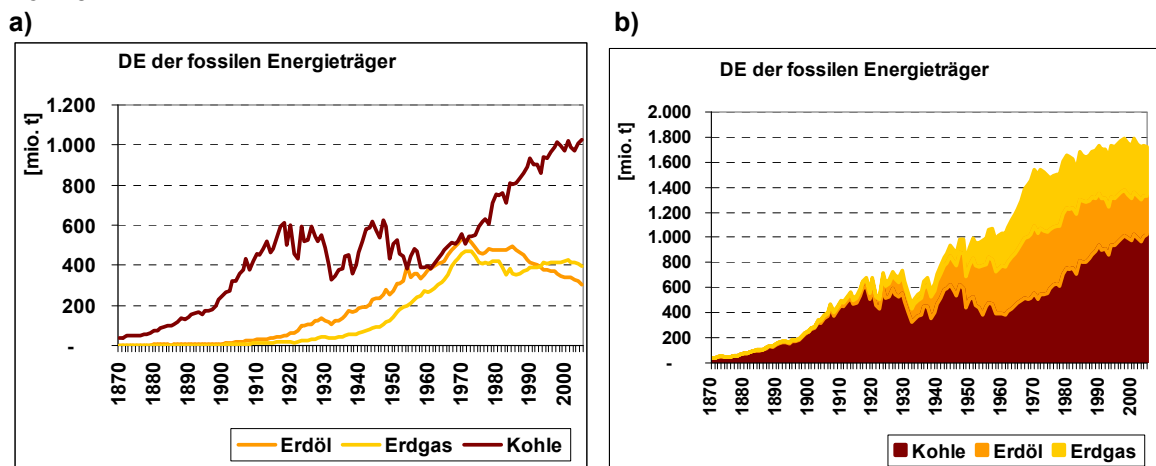
Quelle: MFA

Die Entwicklung der gesamten DE wurde bereits weiter oben beschrieben. In Abbildung 5 ist der Verlauf der Entwicklung für die vier Materialgruppen dargestellt. Es zeigt sich, dass zu Beginn des betrachteten Zeitraumes die DE von Biomasse dominierte und erst ab 1946 fiel der Anteil der Biomasse an der DE unter 50%. Die DE von Biomasse lag im Jahr 1870 bei ca. 371 Mio. Tonnen und ist in den folgenden Jahren stark angestiegen. Bis zum Jahr 1900 kam es zu einer Verdoppelung der DE von Biomasse. Danach erfolgte nur ein geringer weiterer Anstieg bis sich der Wert bei ca. 840 Mio. Tonnen pro Jahr einpendelte. Bereits vor Beginn der Wirtschaftskrise Anfang der 1930er Jahre ging die DE an Biomasse leicht zurück und während der Krisenjahre fiel sie noch weiter. Anschließend begann die Inlandsentnahme der Biomasse wieder zu stark steigen. Im Jahr 1965 wurde dreimal soviel Biomasse entnommen als zu Beginn des betrachteten Zeitraumes. In den späten 1980er Jahren gab es wieder einen kleinen Einbruch der DE von Biomasse. Der Einbruch der DE von Biomasse in den späten 1980er Jahren ist auf einen Rückgang der DE der Feldfrüchte zurückzuführen. Die Landwirtschaft war in den 1980er Jahren geprägt von einer finanziellen Krise der Farmen. 1983 gab es mit dem „payment-in-kind“ Programm eine massive Reduzierung der Anbauflächen (ERS 2000). Hinzu kamen die Sommerdürre im Südosten im Jahr 1986 und eine der größten Dürreperiode im mittleren Westen in den USA im Jahr 1988 (vgl. ebd.)

Die fossilen Energieträger spielten zu Beginn des betrachteten Zeitraumes eine sehr geringe Rolle. Sie waren aber von Beginn an im Wachsen begriffen. Einen regelrechten Schub im Wachstum erfuhren sie Ende des 19. Jh. Eine detaillierte Betrachtung (siehe Abbildung 6b) zeigt, dass dieses Wachstum durch die steigende Entnahme von Kohle zu erklären ist. Ab 1919 gab es Schwankungen in der DE der fossilen Energieträger. In der Zeit der großen Depression fiel diese dramatisch ab. Vor allem die DE der Kohle ging zurück. Sie fiel von 552 Mio. Tonnen im Jahr 1929 auf 326 Mio. Tonnen im Jahr 1932 (siehe Abbildung 6a). Die DE von Erdöl und Erdgas war von der Wirtschaftskrise kaum betroffen. Schon nach wenigen Jahren begann die DE von Kohle wieder zu wachsen und erreichte

im Jahr 1942 dasselbe Level wie vor der Krise. Zwischen 1944 und Anfang der 1960er Jahre war das Wachstum der DE der fossilen Energieträger etwas eingebremst. Die DE der Kohle ging in der Zeit zurück. Der leichte Anstieg der DE der fossilen Energieträger war in dieser Zeit ausschließlich auf das Wachstum der DE Erdöl und Erdgas zurückzuführen. In den 1960er Jahren gab es einen enormen Wachstumsschub bei der DE der fossilen Energieträger. Diese stieg von 1960 bis 1970 von ca. 1 Mrd. Tonnen auf 1,5 Mrd. Tonnen (siehe Abbildung 6b). In dieser Phase begann auch wieder die DE der Kohle zu steigen. Das Wachstum der DE der fossilen Energieträger wird Anfang der 1970er Jahre eingebremst. 1970 wird in den USA das Ölfördermaximum erreicht, 1971 das Gasfördermaximum. Die DE der Kohle stieg weiterhin an (siehe Abbildung 6a).

Abbildung 6: DE der fossilen Energieträger in den USA von 1870 bis 2005 in Millionen Tonnen



Quelle: MFA

Die dramatischsten Veränderungen durchlief die Gruppe der nicht metallischen Mineralien. Diese spielte lange Zeit eine sehr untergeordnete Rolle. Sie wuchs bis zum Börsencrash 1929 leicht an. Nach einem Absinken während der Zeit der großen Depression stieg sie, mit Ausnahme der Jahre 1943 und 1944, dramatisch an bis zum Jahr 1973 und übernahm ab diesem Zeitpunkt die Dominanz unter den Materialgruppen. Die DE von den nicht metallischen Mineralien stieg zwischen 1944 und 1973 um das 5-fache. Dies steht in Zusammenhang mit dem massiven Ausbau der Transportinfrastruktur in diesem Zeitraum, großen Bauprojekten und dem raschen wirtschaftlichen Wachstum. Jeweils nach den beiden Ölpreisschocks 1973 und 1979 kam es zu einem Einbruch in der DE der nicht metallischen Mineralien. Ab 1983 war diese, mit zwei kurzen Einbrüchen, wieder im Wachsen begriffen. Im Jahr 2005 wurden über 3,6 Mrd. Tonnen nicht metallische Mineralien aus dem Inland entnommen.

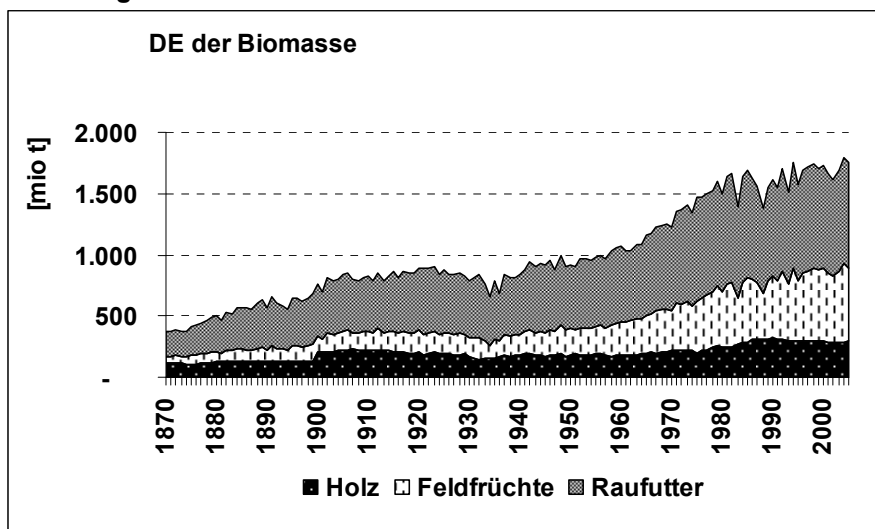
Die metallischen Erze zeigten bis zur großen Depression einen sehr ähnlichen Verlauf wie die nicht metallischen Mineralien. Ab 1940 begann sich die DE der metallischen Erze auf einem gewissen Level, welches die Grenze von 500 Mio. Tonnen pro Jahr nicht überschreitet, einzupendeln.

Alles in allem kann gesagt werden, dass die Extraktion der nicht metallischen Mineralien die dramatischste Veränderung im Laufe der Zeit durchmachte. Von ca. 22 Mio. Tonnen pro Jahr stieg die Inlandsentnahme der nicht metallischen Mineralien auf über 3,6 Mrd. Tonnen in den betrachteten 135 Jahren. Das

entspricht einem Anstieg um das 168-fache. Die klare Dominanz der Biomasse zu Beginn des betrachteten Zeitraumes begann sich um 1900 herum zu verringern und die nicht erneuerbaren Materialien begannen die Entnahme zu dominieren. Dennoch spielte die Biomasse über die ganze Zeit hinweg eine wichtige Rolle und im Jahr 2005 betrug ihr Anteil an der DE immerhin 24%. Deutlich zeigt sich auch, dass alle Materialgruppen einen Einbruch während der großen Depression zu Beginn der 1930er Jahre erlitten. Die Biomasse war davon allerdings nur geringfügig betroffen.

3.1.1.1 Biomasse

Abbildung 7: Inlandsentnahme der Biomasse in den USA von 1870 bis 2005.

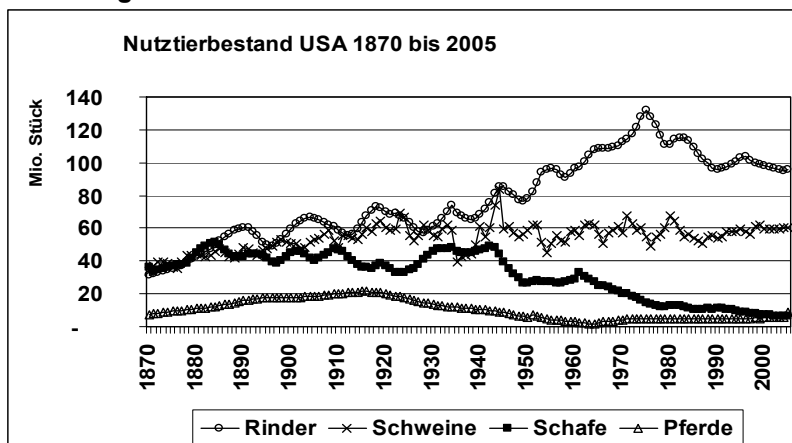


Quelle: MFA; Raufutter beinhaltet die Erntenebenprodukte, die Futterpflanzen und Grünfütter und die Weidebiomasse.

Wird die DE der Biomasse gesondert betrachtet (siehe Abbildung 7), fällt auf, dass Futtermittel durchgehend den größten Anteil an der gesamten inländischen Entnahme an Biomasse haben. Wobei noch mal darauf hingewiesen werden soll, dass die Holzdaten sehr wahrscheinlich um bis zu 25% höher sind bis zum Jahr 1900 und vor dem Jahr 1900 unvollständig sind (vgl. Kapitel 2.3.1.5.). Die Futtermittel setzen sich zusammen aus den Erntenebenprodukten, den Futterpflanzen und dem Grünfütter und der Weidebiomasse (marktgängige Futtermittel sind dagegen nicht inkludiert, ihr Anteil an der Gesamtmenge ist jedoch gering). Im Laufe der Zeit stieg die Menge entnommener Futtermittel von ca. 200 Mio. Tonnen auf ca. 860 Mio. an, wobei der höchste Wert an DE Futtermittel Anfang der 1980er Jahre erreicht wurde und seitdem nicht mehr darüber hinausreichte. Aufgrund der Unsicherheit der Daten ist es schwierig Aussagen über die DE des Holzes zu treffen. Ein Vergleich mit den Daten zu den Landnutzungsveränderungen (Abbildung 25, Kapitel 4.2.1) und Hinweise aus der Literatur (Cronon 1992) lassen vermuten, dass vor dem Jahr 1900 die Menge an im Inland entnommenen Holz höher gewesen sein dürfte, als im 20. Jahrhundert. Die DE der Feldfrüchte stieg beinahe über den gesamten Zeitraum hinweg an. Wie im Kapitel zu den Landnutzungsveränderungen (Kapitel 4.2.1.) dargestellt, wuchs diese zuerst aufgrund der Ausweitung der Ackerflächen und schließlich ab den 1930er Jahren aufgrund von Produktivitätssteigerungen.

Die DE der Futtermittel ist eng an den Nutztierbestand⁴⁰ geknüpft. In Abbildung 8 ist der Bestand der wichtigsten Nutztiere in den USA in den Jahren 1870 bis 2005 dargestellt. Der Futterbedarf der Nutztiere ist in Tabelle 5, Kapitel 2.3.1.4 aufgelistet. Der Raufutterbedarf wird von den Rindern dominiert. Der Futterbedarf der Rinder in den USA ist von durchschnittlich 7,9 kg Trockenmaterial pro Tag im Zeitraum 1880 bis 1920 auf durchschnittlich 14,3 kg Trockenmaterial pro Tag im Jahr 2000 angestiegen. Dh. im Zeitraum von 1870 bis 1975 ist nicht nur die Anzahl der Rinder angestiegen (mit Schwankungen, siehe Abbildung 8), sondern mit der Produktionssteigerung im Viehsektor ist auch der Bedarf an Futter pro Rind angestiegen. Von Anfang an gibt es in den USA viel weniger Pferde als Rinder. Die Anzahl der Pferde stieg zunächst an und erreichte im Jahr 1915 ihren Höhepunkt, danach sank sie mit zunehmender Mechanisierung der Landwirtschaft und des Individualtransportes wieder ab, ab 1960 spielten Pferde nur noch eine sehr untergeordnete Rolle. Die Anzahl der Schafe schwankte um die 40 Mio. Stück bis zum Jahr 1945. Seit dann ist sie, mit einer kleinen Ausnahme Anfang der 1960er Jahre, rückläufig. Die Anzahl der Schweine stieg zunächst leicht an und pendelte sich dann bei ca. 60 Mio. Stück ein.

Abbildung 8: Nutztierbestand in den USA von 1870 bis 2005.



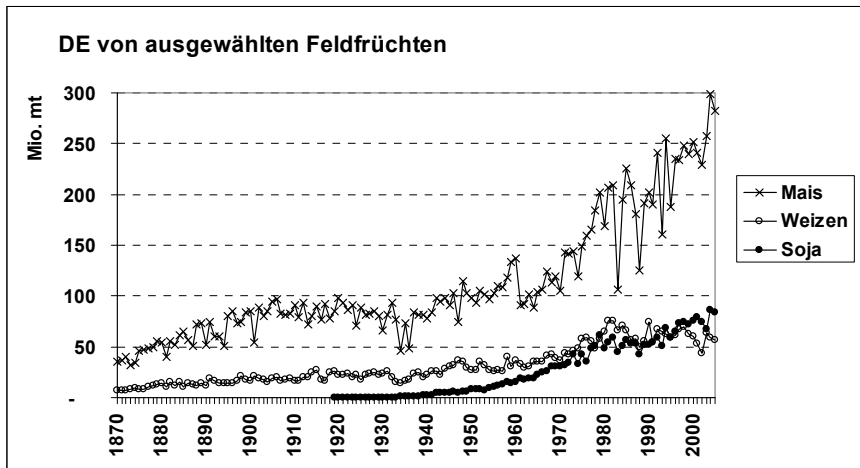
Quelle: eigene Darstellung, Daten aus U.S. Bureau of the Census 1975, FAO 2009

In Abbildung 9 ist der Verlauf der DE der drei im Jahr 2005 mengenmäßig wichtigsten Feldfrüchte abgebildet: Die Ernte von Mais, Weizen und Soja hatte im Jahr 1870 einen Anteil an der gesamten Feldfruchternte von 75% und im Jahr 2005 von 70%. Mais und Weizen sind traditionell sehr wichtige Feldfrüchte in den USA. Über den gesamten Zeitraum hinweg von 1870 bis 2005 war Mais die mengenmäßig bedeutendste Feldfrucht in den USA. Im Mittleren Westen der USA hat sich der so genannte Corn Belt, der Maisgürtel, gebildet. Die DE von Mais stieg von ca. 36 Mio. Tonnen im Jahr 1870 auf ca. 282 Mio. Tonnen im Jahr 2005 (siehe Abbildung 9). Die Maisproduktion stieg bis Anfang 1900 kontinuierlich an und ging in den 1920er und 30er Jahren merklich zurück. Ab den 1960er Jahren erfolgte ein rasantes Wachstum in der Produktion, wobei die letzten 25 Jahre von großen Schwankungen in der DE von Mais geprägt waren. Andere Feldfrüchte waren von den wirtschaftlichen Entwicklungen in den 1930er Jahren nicht so stark betroffen wie Mais. Soja scheint erst ab 1919 in den Statistiken auf und erlebt erst seit den 1950er Jahren einen massiven Anstieg. Soja ist eine sehr eiweißhaltige

⁴⁰ Im Vergleich zur DE spielt der Außenhandel bei den Futtermittel eine sehr untergeordnete Rolle.

Feldfrucht und wird zum großen Teil als Futtermittel verwendet⁴¹. Im Gegensatz zum Mais blieb der Anbau von Weizen in den 1930er Jahren von der großen Depression relativ unberührt. Die DE des Weizens erlebte auch nicht diesen enormen Anstieg ab Mitte der 1930er Jahre.

Abbildung 9: DE von ausgewählten Feldfrüchten in den USA von 1870 bis 2005 in Millionen metrischen Tonnen.

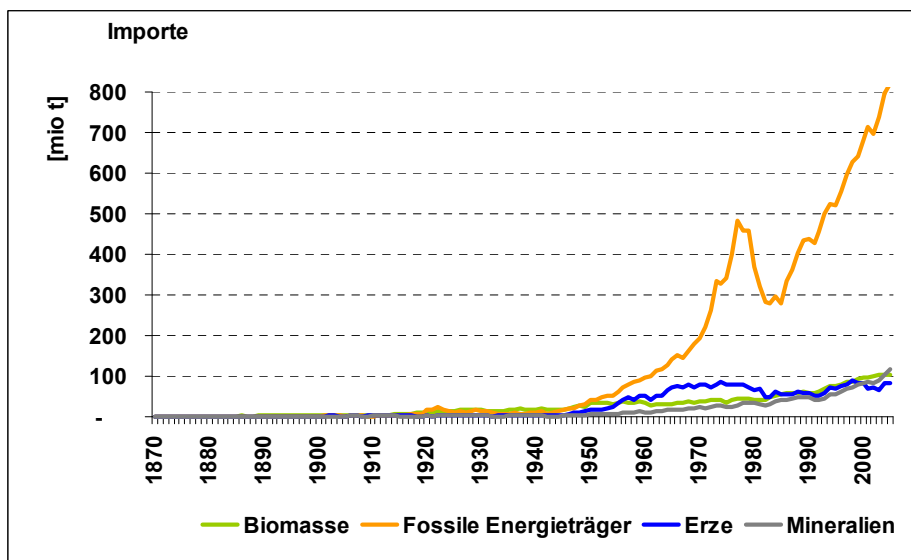


Quelle: eigene Darstellung, Daten aus U.S. Bureau of the Census 1975, FAO 2009

3.1.2 Außenhandel

3.1.2.1 Importe von Materialien

Abbildung 10: Die physischen Importe in die USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen



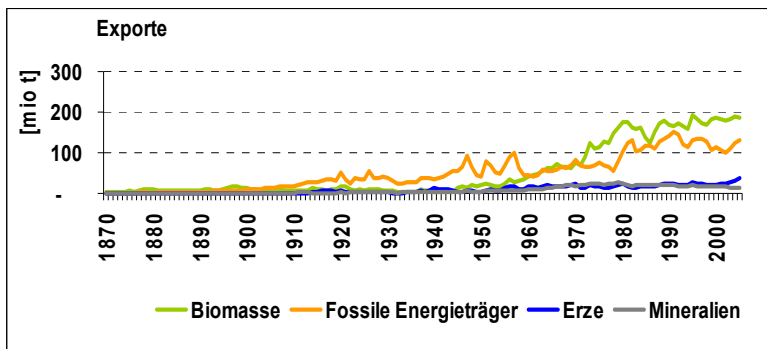
Quelle: MFA

⁴¹ Von September 2007 bis September 2008 betrug die Inlandsentnahme von Soja 72,8 Mio. mt. Im selben Zeitraum wurden 38,4 Mio. Tonnen Sojamehl produziert (U.S. Census Bureau, Department of Commerce)

Aus Abbildung 10 wird deutlich, dass der Import von Materialien in den USA erst nach Ende des 2. Weltkrieges relevant wurde. Bis dahin lag die Menge der importierten Güter unter 50 Mio. Tonnen pro Jahr. Ab etwa 1950 begannen die Importe dramatisch anzusteigen und es sind vor allem die fossilen Energieträger die die Importmengen dominieren. Den Hauptanteil der fossilen Energieträger macht dabei das Erdöl aus. Mit dem ersten Ölpreisschock 1973 wird dem rasanten Anstieg der Importe fossiler Energieträger ein vorläufiges Ende bereitet. Nach einigen Jahren des Rückgangs begannen die Importe allerdings wieder zu steigen. Im Jahr 2005 waren die Importe von Biomasse, Erzen und Mineralien ungefähr auf demselben Level bei ca. 100 Mio. Tonnen⁴². Zwischen 1956 und 1988 waren die physischen Importe der metallischen Erze höher als jene der Biomasse und der nicht metallischen Mineralien. Dies liegt vor allem an den hohen Importen von Eisenerz in dieser Periode.

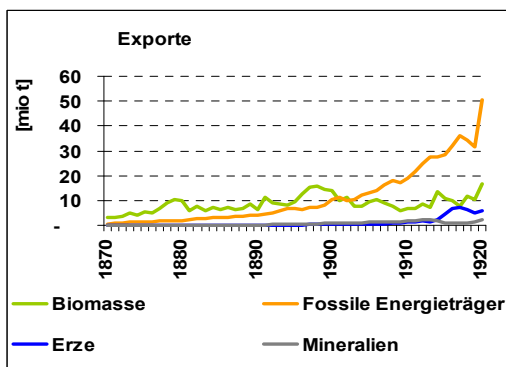
3.1.2.2 Exporte von Materialien

Abbildung 11: Die physischen Exporte aus den USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen



Quelle: MFA

Abbildung 12: Die physischen Exporte aus den USA in den Jahren 1870 bis 1920 in Mio. Tonnen



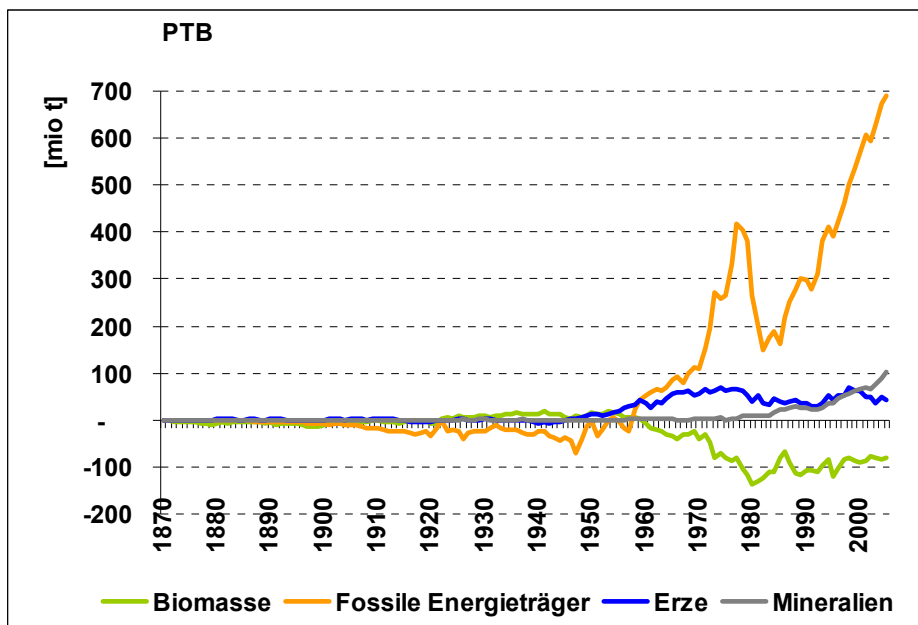
Quelle: MFA

⁴² Auf die Problematik der Kompilation physischer Daten zum Außenhandel wurde bereits in Kapitel 2.3.5. hingewiesen. Es ist anzunehmen, dass speziell die Gruppe der metallischen Erze unterschätzt ist, da vor allem Maschinen und Kraftfahrzeuge, welche dieser Gruppe zugeordnet werden, in den hier verwendeten Datenquellen nicht berichtet wurden. Und die Gruppe der „anderen Produkte“ fehlt gänzlich. Der physische Wert dieser Materialgruppe ist im Vergleich zu jenem der anderen Materialgruppen relativ gering.

Im Vergleich zu den physischen Importen begannen die physischen Exporte bereits früher anzusteigen. Die Grenze von 50 Mio. Tonnen pro Jahr an Exporten wurde bereits im Jahr 1937 erreicht⁴³. Allerdings blieben die Exporte auf einem deutlich niedrigeren Niveau als die Importe und gingen insgesamt kaum über 350 Mio. Tonnen pro Jahr hinaus⁴⁴. Interessanterweise begannen vor allem die Exporte der fossilen Energieträger bereits am Beginn des 20. Jahrhunderts anzusteigen. Den Hauptanteil an den Exporten der fossilen Energieträger machte die Kohle aus. Aber auch Erdöl bzw. Erdölprodukte wurden exportiert. Abbildung 12 zeigt, dass die USA im 19. Jahrhunderts vor allem Biomasse exportierten. Im Spitzenjahr 1898 wurden beinahe 5,5 Mio. Tonnen Getreide ins Vereinigte Königreich exportiert (K.u.K. Ackerbauministerium 1900). Seit den 1970er Jahren hat die Biomasse wieder den größten Anteil am physischen Export aus den USA. Die Exporte von metallischen Erzen und Mineralien sind sehr gering.

3.1.2.3 Physische Handelsbilanz PTB

Abbildung 13: Physische Handelsbilanz der USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen

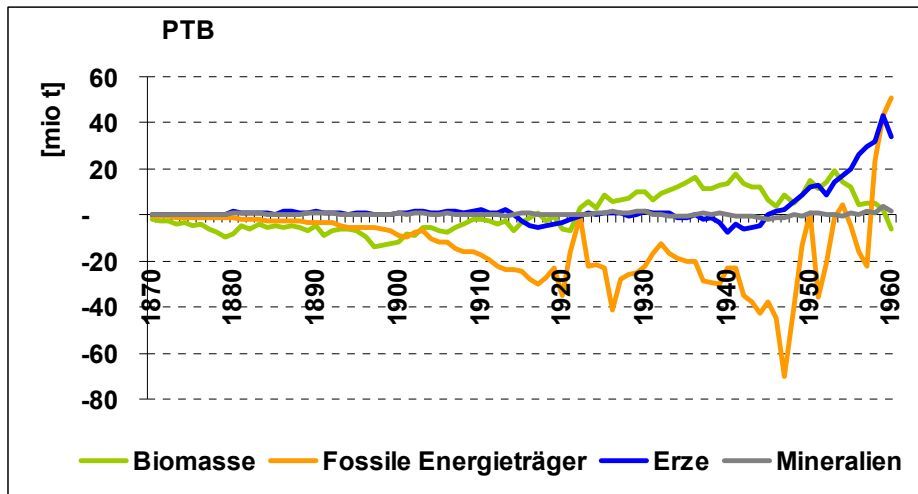


Quelle: MFA

⁴³ Im Vergleich dazu: Erst im Jahr 1947 wurden über 50 Mio. Tonnen Material importiert.

⁴⁴ Im Vergleich dazu: Im Jahr 2005 wurden insgesamt über eine Mrd. Tonne Material importiert.

Abbildung 14: Physische Handelsbilanz der USA in den Jahren 1870 bis 1960 in Mio. Tonnen



Quelle: MFA

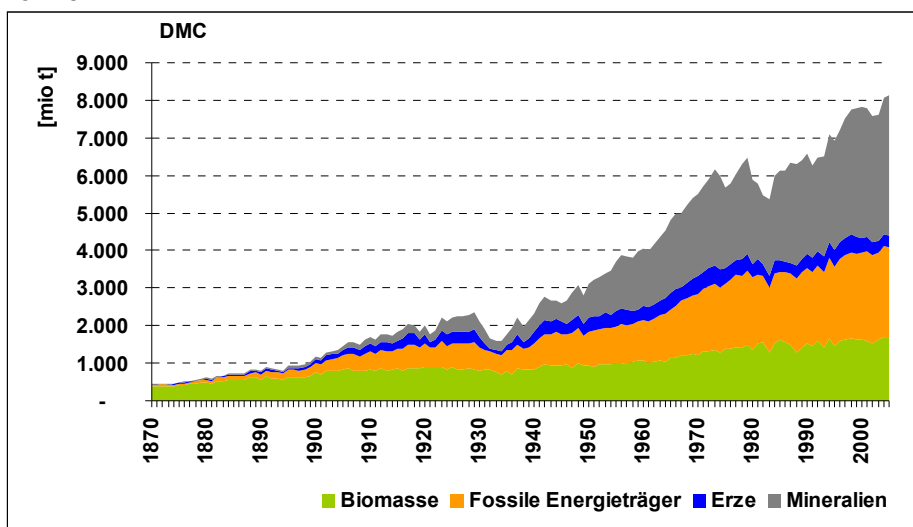
In der physischen Handelsbilanz werden die physischen Importe den physischen Exporten gegenübergestellt. Ein positiver Wert bedeutet, dass die Importe höher sind als die Exporte und ein negativer Wert bedeutet, dass ein Land ein Netto-Exporteur ist. In Abbildung 13 und Abbildung 14 ist die physische Handelsbilanz für die USA in den Jahren 1870 bis 2005 (bzw. 1960) dargestellt. Da die Werte vor 1960 im Vergleich zu jenen danach sehr gering sind, wurde eine zweite Grafik (Abbildung 14) erstellt, die nur die Jahre 1870 bis 1960 darstellt. Die Unterschiede in den Skalen müssen dabei beachtet werden.

Die PTB zeigt, dass die USA in den ersten Jahrzehnten der Untersuchungsperiode eine Rohstoff exportierende Ökonomie waren: Die USA weisen einen deutlichen Nettoexport von Biomasse und später zunehmend auch von fossilen Energieträgern auf, die Handelsbilanz von Erzen und anderen Mineralien ist weitgehend ausgeglichen. Der Exportüberschuss an Biomasse war um das Jahr 1900 herum besonders ausgeprägt. Ein Großteil der Exporte zu dieser Zeit bestand aus Getreide. Ab 1920 wurde für einige Jahrzehnte mehr Biomasse importiert als exportiert. Es ist vor allem das Holz, das zu diesen Netto-Importen führte. Von 1929 bis 1939 und 1938 bis 1943 wurde auch mehr Getreide importiert als exportiert. Seit 1960 gibt es wieder einen Exportüberschuss von Biomasse. Es werden vor allem Getreide und Ölfrüchte exportiert. Bis in die 1950er Jahre gab es auch einen deutlichen Exportüberschuss von fossilen Energieträgern. Danach stiegen die Netto-Importe massiv an. Die USA waren lange Zeit ein wichtiger Netto-Exporteur von Erdöl und bis zum Jahr 1947 wurde mehr Erdöl exportiert als importiert. Danach veränderte sich dies dramatisch. Die Importzahlen für Erdöl und Erdgas schnellten bis 1973 immens in die Höhe. Nach einem Einbruch über mehrere Jahre hinweg im Anschluss an die beiden Ölpreisschocks stiegen die Netto-Importe von Erdöl und Erdgas wieder rasant an. Die relativ große Menge an Exportüberschüssen bei den fossilen Energieträgern bis zum Jahr 1960 beinhalten aber auch die Kohle. Bis 2005 blieb die USA Netto-Exporteur von Kohle. Ab ca. 1950 gab es massive Nettoimporte von Erzen und ab 1980 von nicht metallischen Mineralien.

Abschließend kann zum Außenhandel gesagt werden, dass es in den 1950er Jahren eine Trendwende in der physischen Handelsbilanz gegeben hat. Von einem Netto-Exporteur von fossilen Energieträgern entwickelte sich die USA hin zu einem Netto-Importeur fossiler Energieträger – und auch von allen anderen mineralischen Materialien. Nur die Biomasse zeigt ein anderes Muster: Vor 1900 und nach 1960 stammte der größte Anteil der physischen Exportüberschüsse von der Biomasse.

3.1.3 Der Materialverbrauch DMC

Abbildung 15: Der Materialverbrauch in den USA in den Jahren 1870 bis 2005 in Mio. Tonnen



Quelle: MFA

Der DMC eines Landes berechnet sich wie weiter oben beschrieben aus der DE plus den Importen minus den Exporten. In Abbildung 4 (siehe Kapitel 3.1) ist bereits ersichtlich, dass die Importe und Exporte im Vergleich zur DE sehr gering sind. Daher unterscheiden sich der Verlauf des DMC und der DE nur geringfügig (siehe Abbildung 15). Der einzige markante Unterschied ist, dass in den letzten 45 Jahren die Schere zwischen dem Verbrauch an Biomasse und fossilen Energieträgern aufging. Der DMC fossiler Energieträger nahm durch die rasch gestiegenen Importe stärker zu als die DE während für die Biomasse aufgrund der signifikanten Exporte der DMC geringer ist als die DE. Insgesamt nahm der Materialverbrauch im beobachteten Zeitraum von 452 Mio. Tonnen auf über 8 Mrd. Tonnen kontinuierlich zu und der Anteil von erneuerbarer Biomasse am DMC von 85% auf 20% ab. Die einzigen Perioden mit einem signifikanten Rückgang im DMC waren zu Zeiten der Wirtschaftskrisen - in den 1930er Jahren und während der beiden Ölpreiskrisen 1973 und 1979.

An dieser Stelle ist die Frage spannend, in welchem Zusammenhang der Materialverbrauch mit der Bevölkerungsentwicklung steht. Einblicke können über eine Untersuchung des Materialverbrauchs pro Kopf und Jahr gewonnen werden (siehe Abbildung 16a). Der Materialverbrauch pro Kopf ist von 11 Tonnen pro Person im Jahre 1870 auf 27 Tonnen pro Person im Jahr 2005 angestiegen. Am Beginn des 21. Jahrhunderts wurde in den USA pro Person die 2,5-fache Menge an Material verbraucht wird, als noch im Jahr 1870. Auffällig ist, dass im Jahr 1973

mit 29 Tonnen pro Kopf der Höhepunkt des pro Kopf DMC bereits erreicht wurde. Das bedeutet, dass der Anstieg des gesamten DMC (siehe Abbildung 15) in den letzten 30 Jahren nicht mit einem Anstieg des DMC pro Kopf einherging sondern eine gewisse Stabilisierung im pro Kopf Materialverbrauch, allerdings auf sehr hohem Niveau, zu beobachten ist. Der deutliche Anstieg im Gesamtmaterialumsatz in diesem Zeitraum folgte daher eng dem Bevölkerungswachstum. Auch in den Jahren von 1910 bis 1929 gibt es kaum einen Anstieg des DMC pro Kopf, jedoch einen Anstieg des absoluten DMC. Es gab drei Phasen, die von einem besonders starken Anstieg des pro Kopf DMC geprägt waren. Das ist die Zeit zwischen 1898 und 1908, zwischen 1935 und 1942 und zwischen 1961 und 1973. Die erste dieser Phasen war die Zeit der kohlebasierten Industrialisierung mit einem starken Anstieg im Kohleverbrauch. Die zweite Phase war nach der Großen Depression und der Erdöl/Erdgas basierten Industrialisierung. In der dritten Phase stieg der Verbrauch sämtlicher fossiler Energieträger stark an.

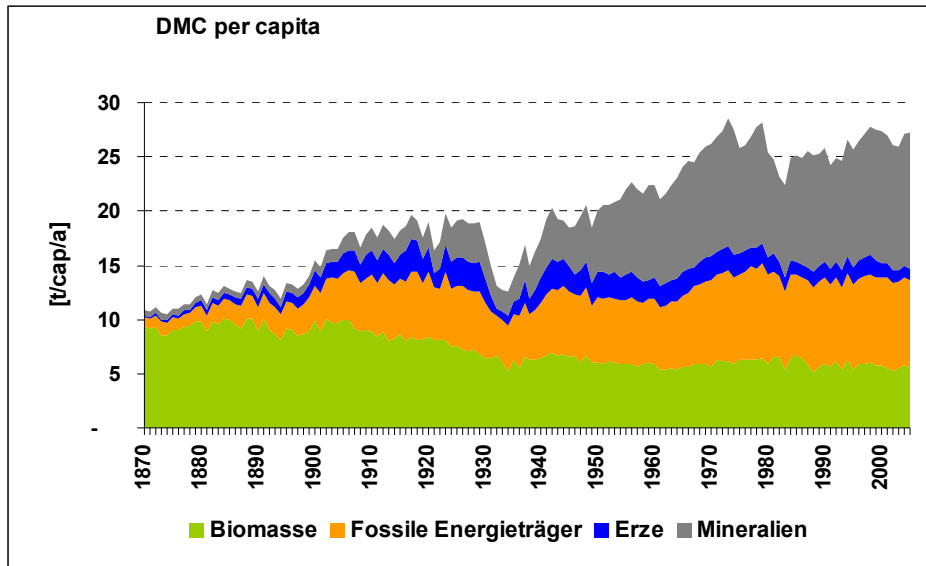
Der Einschnitt im Materialverbrauch, welcher durch die Wirtschaftskrise in den 1930er Jahren verursacht wurde, ist in der Betrachtung des DMC pro Kopf noch markanter als im Verlauf des gesamten DMC. Innerhalb von 3 Jahren stürzte der DMC pro Kopf und Jahr von 19 Tonnen auf 13 Tonnen ab. Dieser Absturz wurde relativ bald wieder ausgeglichen. Allerdings veränderte sich danach die Zusammensetzung des Materialverbrauchs deutlich (siehe Abbildung 16b). Zuvor war die Biomasse über lange Jahre hinweg dominant. Deren Anteil ging allmählich zurück und die fossilen Energieträger begannen aufzuholen. Die Gruppe der Mineralien, welche bis zu diesem Zeitpunkt eine eher untergeordnete Rolle spielte, begann dramatisch zu wachsen. Das Jahr 1950 stellte in diesem Zusammenhang einen Wendepunkt dar. Die Gruppe der Mineralien dominierte von nun an den Materialverbrauch sowohl pro Kopf als auch in absoluten Zahlen. Die fossilen Energieträger überholten die Biomasse und sind hinter den Mineralien die zweitstärkste Materialgruppe (8 Tonnen pro Kopf im Jahr 2005). Der Biomasse DMC pendelte sich in der Folge bei 5 bis 6 Tonnen pro Kopf und Jahr ein.

Der rasante Anstieg der nicht metallischen Mineralien im DMC pro Kopf ab Mitte der 1930er bis Anfang der 1970er Jahre lässt auf vermehrte Bautätigkeit schließen. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurden im Zuge des „New Deal“ und auch in den 50er und 60er Jahren eine Reihe von ambitionierte Infrastrukturprojekten verwirklicht: Ende der 1950er Jahre wurde mit dem Bau des Interstate Highway Systems begonnen (Sullivan 2006). Eine Studie des USGS ergab, dass im Jahr 2005 für das Interstate Highway System der USA 1,5 Mrd. Tonnen Sand und Schotter⁴⁵, 35 Mio. Tonnen Bitumen⁴⁶, 48 Mio. Tonnen Zement und 6 Mio. Tonnen Stahl genutzt wurden.

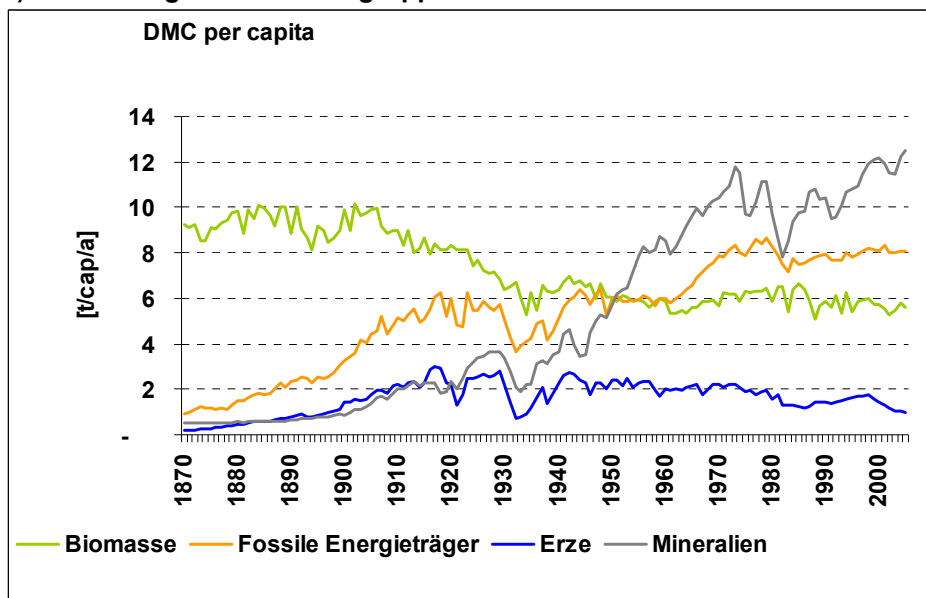
⁴⁵ Die Bezeichnung des USGS lautet: „Sand and gravel“ und „Crushed stone“ zusammengefasst als „natural aggregate“ (Sullivan 2006).

⁴⁶ Die Bezeichnung des USGS lautet: „asphalt“ (ebd.).

Abbildung 16: Der Materialverbrauches pro Kopf in den USA in den Jahren 1870 bis 2005.
a) Darstellung der Materialgruppen gesamt



b) Darstellung nach Materialgruppen einzeln

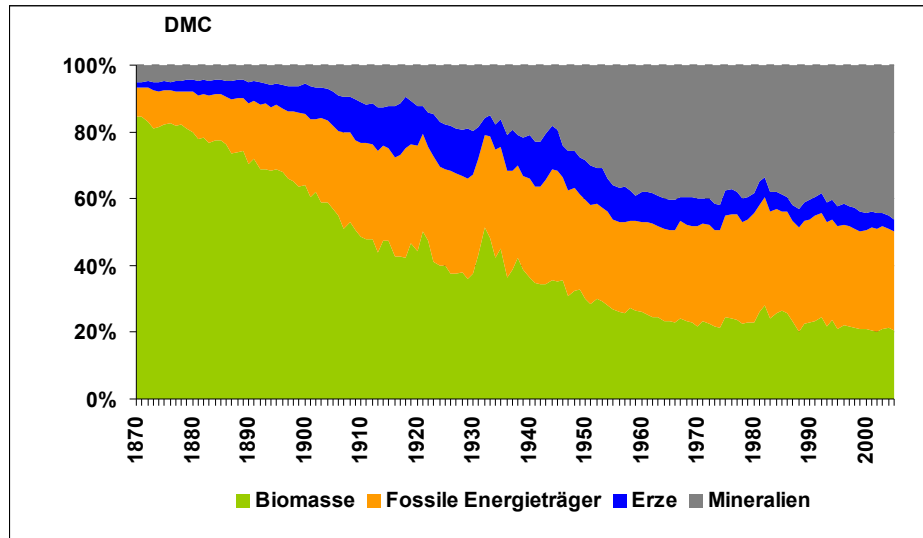


Quelle: MFA

Generell kann gesagt werden, dass sich der DMC von einer Dominanz von erneuerbaren Ressourcen hin zu einer Dominanz nicht erneuerbarer Ressourcen entwickelt hat (Abbildung 17). Am Beginn des betrachteten Zeitraumes betrug der Anteil der Biomasse am DMC über 80%. Bis 2005 hat sich dieser Anteil auf ca. 20% reduziert. Der Rest des Materialverbrauches teilte sich im Jahr 2005 auf fossile Energieträger mit ca. 30% Anteil am DMC, den metallischen Erzen mit ca. 3,6% Anteil am DMC und den Mineralien mit beinahe der Hälfte (ca. 46%) des gesamten DMC auf. Wirtschaftliche Einschnitte wie die Weltwirtschaftskrise in den 1930er Jahren und die beiden Ölpreisschocks hatten kurzfristig gesehen Auswirkungen auf die Anteile der jeweiligen Materialgruppen am gesamten DMC. Sie führten vorübergehend zu einem Rückgang der nicht erneuerbaren

Ressourcen und dadurch zu einem Anstieg des Anteils an Biomasse am gesamten Materialverbrauch.

Abbildung 17: Anteil der Materialgruppen am DMC in den USA von 1870 bis 2005 in %.

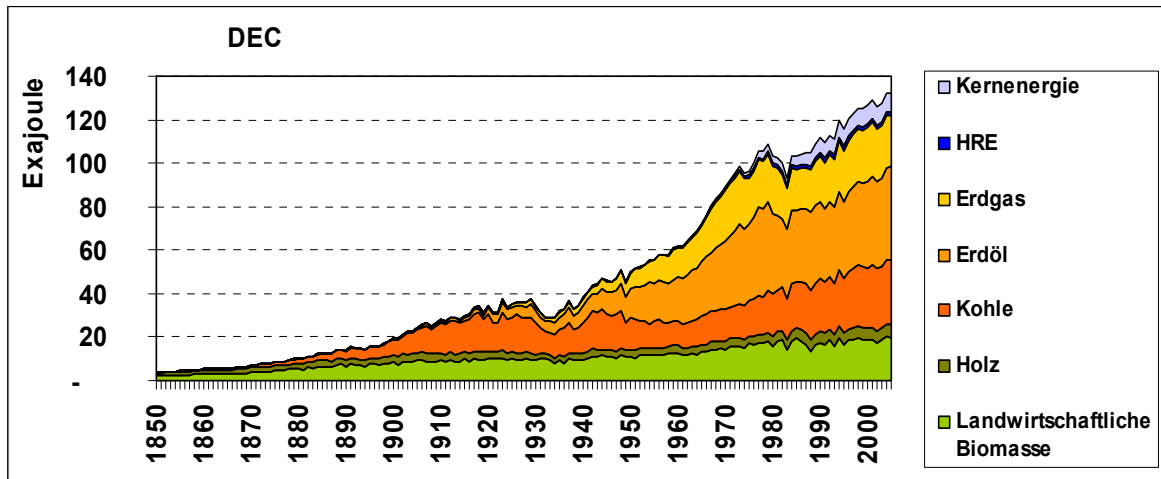


Quelle: MFA

3.2 Energieflüsse

3.2.1 Verbrauch Primärenergie

Abbildung 18: Der Verbrauch von Primärenergie in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.



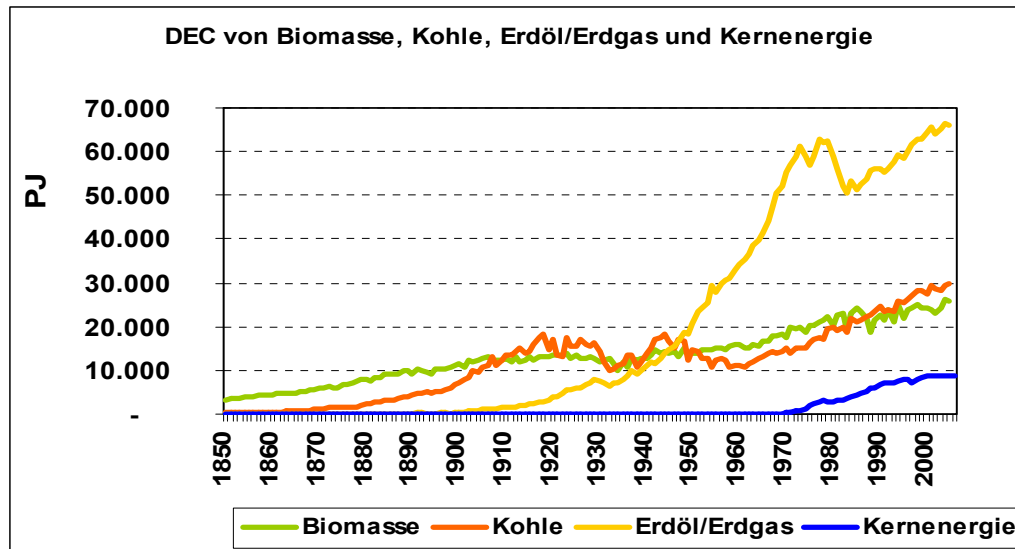
Quelle: EFA

Der Verbrauch der Primärenergie hat im besagten Zeitraum einen noch deutlicheren Anstieg erfahren als der Materialverbrauch (siehe Abbildung 18). Im Jahr 1850 wurden 3,6 EJ (Exajoule)⁴⁷ Primärenergie verbraucht. Im Jahr 2005 waren es 132 EJ⁴⁸. Das entspricht einer Zunahme um das ca. 37-fache. Zu Beginn des betrachteten Zeitraumes war die Biomasse dominierender Energieträger. Bis zum Jahr 1906 stammten mehr als die Hälfte der Primärenergie aus Biomasse. Zu dieser Zeit, Anfang des 20. Jahrhunderts, begann das rasante Wachstum der Nutzung fossiler Energieträger. Zunächst wurde vor allem Kohle genutzt. Ab der Wirtschaftskrise in den 1930er Jahren, welche einen Einschnitt im Energieverbrauch bedeutete, verzeichneten Erdöl und Erdgas ein rasantes Wachstum. Ab dem Jahr 1960 scheint Kernenergie in den Statistiken zur Energienutzung in den USA zum ersten Mal auf. In den letzten 20 Jahren lag der Anteil des Verbrauches an Kernenergie am gesamten DEC bei ca. 6%. Im Jahr 2005 betrug der Anteil der fossilen Energieträger am gesamten DEC 73%. Die Biomasse machte 19% aus. Wind, Wasserkraft, thermale Energie und importierte bzw. exportierte Elektrizität reichten über den gesamten Zeitraum hinweg zusammen nie über 2% des gesamten Verbrauches an Primärenergie hinaus.

⁴⁷ Wenn die Daten für das Holz aus der Energiestatistik herangezogen werden, beträgt der Wert 5,1 EJ DEC im Jahr 1850. Nähere Ausführungen zu den Holzdaten: siehe Kapitel 2.3.1.

⁴⁸ Wenn die Daten für das Holz aus der Energiestatistik herangezogen werden, beträgt der Wert 134 EJ.

Abbildung 19: Der Verbrauch von Primärenergie aus Biomasse, Kohle, Erdöl/Erdgas und Kernenergie in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.

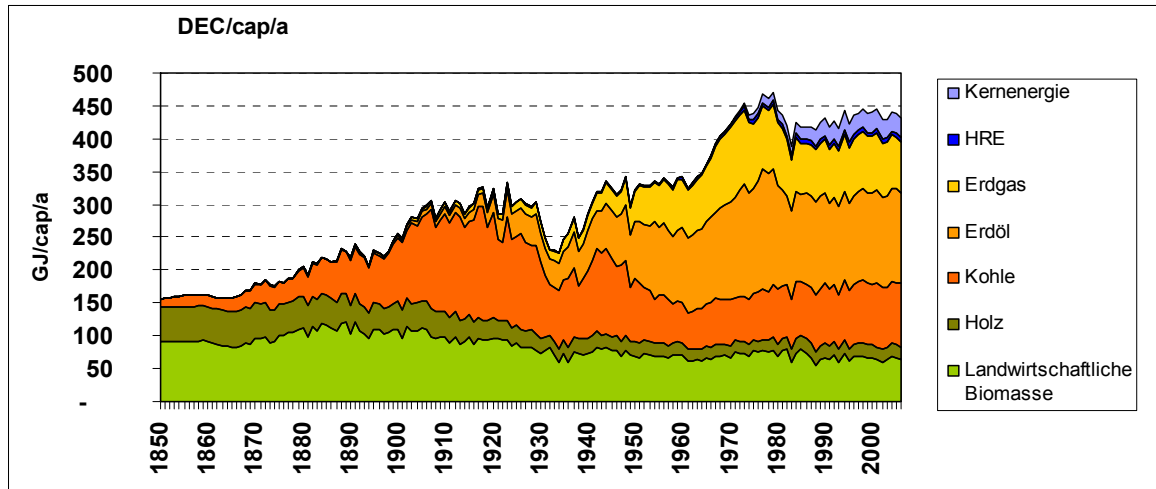


Quelle: EFA

Wird der Verlauf der verschiedenen Energieträger einzeln betrachtet (siehe Abbildung 19) ergibt sich folgendes Bild: der Verbrauch von Biomasse stieg kontinuierlich an. In den 1930er Jahren und Ende der 1980er Jahre sank er jeweils für ein paar Jahre. Im Laufe der Zeit kam es zu einer 7,5-fachen Zunahme des DEC an Biomasse. In geringen Mengen wurde bereits um 1850 Kohle genutzt. Der DEC an Kohle war dann bis zum Ende des Jahrhunderts kontinuierlich im Steigen begriffen. Um 1900 herum erfuhr die Kohlenutzung einen Wachstumsschub. Der DEC von Kohle stieg nun viel dramatischer an und überholte 1909 die Biomasse. Kurz darauf bremste sich das Wachstum des DEC von Kohle ein. Die Wirtschaftskrise in den 1930er Jahren führte zu einem massiven Einbruch des Kohleverbrauches. Nach einer Erholung sank dieser wieder ab und fiel hinter die Biomasse zurück. Bevor der Kohleverbrauch dann um 1960 herum wieder zu steigen begann und schließlich Ende der 1980er Jahre die Biomasse erneut überholte. Erdöl scheint zum ersten Mal 1865 in der Statistik auf. Die Inlandsentnahme war bis Anfang des 20. Jh. sehr gering. Erdgas scheint 1900 zum ersten Mal in der Statistik auf. Ab dann begann die DEC von Erdöl und Erdgas kontinuierlich zu steigen. Diese Steigung erfuhr Anfang der 1930er Jahre einen kurzen Dämpfer, bevor dann ein rasanter Anstieg bis in die 1970er Jahre stattfand. Nach Rückgängen aufgrund des erreichten inländischen Ölfördermaximum im Jahr 1970 und der Ölkrise stieg der DEC von Erdöl und Erdgas ab Anfang der 1980er Jahre bis zum Jahr 2005 wieder an. Allerdings waren die USA in den letzten 30 Jahren immer mehr von Erdöl- und Erdgasimporten aus dem Ausland abhängig. Bis ins Jahr 2005 stieg der Anteil Erdölimporte am Verbrauch auf 74%. Auffällig an diesen drei Kurven ist die unglaubliche Dominanz von Erdöl und Erdgas im Verbrauch von Primärenergie ab 1950.

3.2.2 Verbrauch von Primärenergie pro Person

Abbildung 20: Der Verbrauch von Primärenergie pro Kopf und Jahr in den USA in den Jahren 1850 bis 2005.



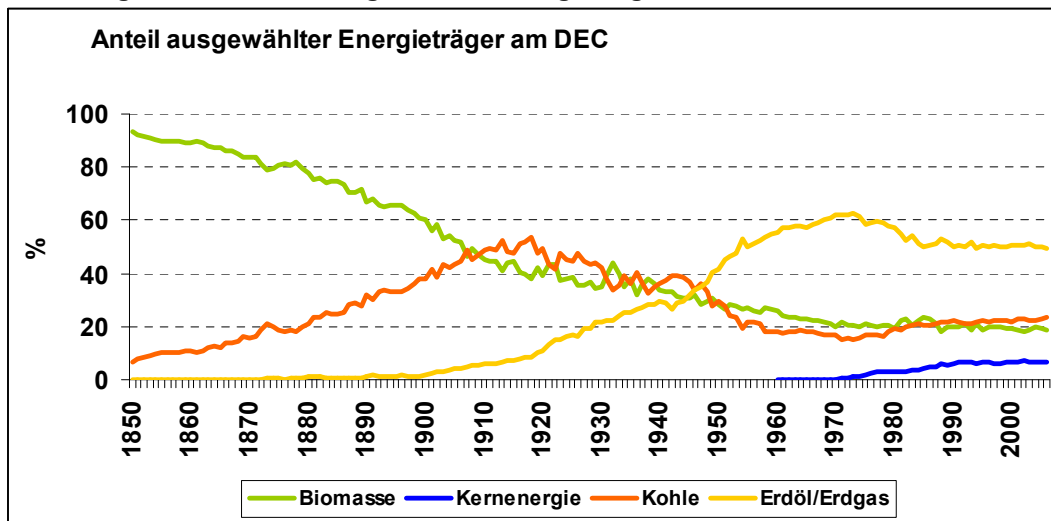
Quelle: EFA

Der Primärenergieverbrauch pro Person ist im betrachteten Zeitraum von 155 GJ (Gigajoule) pro Kopf und Jahr auf 441 GJ pro Kopf und Jahr angestiegen (siehe Abbildung 20). Pro Person stand im Jahr 2005 somit beinahe 3-mal soviel Energie zur Verfügung wie noch im Jahr 1850. Der generelle Verlauf des DEC pro Kopf ist ähnlich wie jener des DMC pro Kopf – es wechseln Phasen mit relativ stabilem Energieumsatz pro Kopf mit Phasen mit ausgeprägtem Wachstum ab. Insbesondere nach den Ölpreisschocks stabilisierte sich der Primärenergieverbrauch auf hohem Niveau bei knapp 450 GJ/Kopf und Jahr. In der energetischen Betrachtungsweise sticht die Dominanz der fossilen Energieträger in den letzten 60 Jahren allerdings noch deutlicher hervor. Der Höhepunkt des Verbrauches an Primärenergie war im Jahre 1979 mit einem Wert von 474 GJ pro Person. Im Gegensatz zur Materialflussanalyse beginnt die Energieflussanalyse bereits im Jahr 1850. So wird hier auch ersichtlich, dass es Mitte der 1860er Jahre einen Rückgang im DEC pro Kopf gab. Dies liegt vermutlich daran, dass zwischen 1861 und 1865 der amerikanische Bürgerkrieg wütete und es vor allem in den Südstaaten zu Zerstörungen des landwirtschaftlichen Besitzes kam (Adams 2009).

3.2.3 Transition des Energiesystems

Eine Transition beschreibt den Übergang von einem Energiesystem zu einem anderen. Dabei verändern sich die Menge an genutzter Energie, die Struktur der genutzten Energieformen (von der entnommenen Primärenergie bis zur Endnutzung) und deren Eigenschaften (vgl. Grübler 2004). Die Veränderung der Menge des Energieumsatzes wurde bereits im Kapitel 3.1.3. beschreiben. In diesem Kapitel wird auf die Veränderung der Struktur des Energiesystems eingegangen. Werden die Anteile der mengenmäßig bedeutendsten Energieträger am Primärenergieverbrauch betrachtet (siehe Abbildung 21), wird ersichtlich, dass diese jeweils in anderen Zeitabschnitten eine dominante Rolle spielten.

Abbildung 21: Der Anteil ausgewählter Energieträger am DEC in %.



Quelle: EFA

Zu Beginn des betrachteten Zeitraumes wird Energie hauptsächlich in Form von Biomasse genutzt. Der Anteil von Biomasse am DEC beträgt im Jahr 1850 über 93%. Die Biomasse wird in Form von Nahrung für die Menschen und für die Nutztiere und in Form von Nutzholz und Feuerholz genutzt. Um 1850 herum wurden ca. 9/10 des Feuerholzes als Heizmaterial für die Haushalte verwendet (Schurr et al.: 49). Nur ein ganz geringer Teil (1/10) wurde für industrielle Zwecke und zum Transport genutzt. Um 1850 herum (bis ca. 1870) wurden die ersten Dampfschiffe und Lokomotiven in den USA hauptsächlich mit Holz betrieben (ebd.).

Die restlichen 7% des DEC im Jahr 1850 stammen von der Kohlenutzung. In den folgenden Jahrzehnten nahm der Anteil der Kohlenutzung am Energieumsatz kontinuierlich zu bis dieser im Jahr 1920 mit ca. 50% Anteil am DEC einen Höhepunkt erreichte. Es wird geschätzt, dass um 1850 dreiviertel der genutzten Kohle zur Erzeugung von Dampfkraft verwendet wird. Nur ein geringer Teil wurde als Heizmaterial oder zur Erzeugung industrieller Prozesswärme genutzt (ebd.). In den folgenden Jahrzehnten wurde immer mehr Kohle in der Eisen-Stahlindustrie und im Transport verwendet. Im Jahr 1885 wurden in den USA 42% der Kohle zum Antrieb der Lokomotiven genutzt, 13% zur Erzeugung von Koks (wichtig in der Eisenproduktion) und 45% in allen anderen Industrien und für den häuslichen Gebrauch (ebd.: S 68). Ab 1900 wurde Kohle immer mehr zur Erzeugung von Elektrizität genutzt. Im Jahr 1920 wurden ca. 6% der Kohlenutzung zur Elektrizitätserzeugung verwendet.

Im Jahr 1909 machten der Anteil der Kohle und der Biomasse am gesamten DEC ca. je 47% aus. Eine erste Transition hin zu einem kohlebasierten System ist bereits vollzogen. Erdöl und Erdöl machten bereits 5,5% des Primärenergieumsatzes aus (ebd.: 82). Im Jahr 1859 wurden in Titusville, Pennsylvania die ersten Ölfunde gemacht. Relativ schnell begann sich in der Region um Pittsburgh eine Ölindustrie zu entwickeln. Das Erdöl wurde anfangs vor allem zur Beleuchtung verwendet (vgl. ebd.). Mit der technologischen Weiterentwicklung wurden immer unterschiedlichere Erdölprodukte und Anwendungsbereiche dafür geschaffen. Bis Anfang des 20. Jh. war das vor allem

Petroleum („kerosene“), dann kommen Schweröle („fuel oil“), Benzin, Diesel, Kerosin,... hinzu und schließlich die Petrochemie (vgl. ebd., EIA 2009).

Der Anteil von Erdöl und später auch Erdgas am DEC nahm kontinuierlich zu und überstieg im Jahr 1945 den Anteil der Biomasse am DEC und 1946 mit 33,8% den Anteil der Kohle am gesamten DEC (siehe Abbildung 21). Erdgas war anfangs oft ein Nebenprodukt der Erdölförderung (vgl. Schurr et al. 1960). Erdgas scheint ab 1900 in den Produktionsstatistiken auf. Erst mit der Möglichkeit des sicheren Transportes von Erdgas in Stahlpipelines konnte die Erdgasproduktion stark ansteigen (ebd.). Die erste solche Pipeline mit über 322 km wurde 1925 zwischen Louisiana und Texas errichtet (EIA 2009). Nach dem 2. Weltkrieg wurden die Pipelines des Südwestens mit jenen des Nordostens verbunden. Aufgrund des günstigen Transports via Pipelines war bzw. ist der Konsum der Erdgas- (und auch Erdöl-) Produkte nicht so sehr an die Produktionsstätten gebunden (vgl. Schurr et al. 1960). Erdgas wird in den Haushalten zur Raumwärme und zum Kochen verwendet. Im industriellen Bereich in der Mineralienproduktion (z.B. Zementherstellung), in der verarbeitenden Industrie und zur Elektrizitätserzeugung (ebd.). Als die Erdgasindustrie im Entstehen war, wurde sehr viel Erdgas, ca. 45% des industriell genutzten Erdgases⁴⁹ im Jahr 1925 (ebd.: 134) direkt im Erdgas- bzw. Erdöl Feld zum Betreiben der Pumpen und zum Bohren genutzt. Bis zum Jahr 1955 ist dieser Wert auf 20% gesunken. Zwischen 1925 und 1950 wurde ein beachtlicher Teil des Erdgases, bis zu 20% des industriell genutzten Erdgases, zur Erzeugung von Carbon Black verwendet (ebd.)⁵⁰. Im Vergleich zu den anderen Energieträgern wird Erdgas ca. ab 1945 relevant. Im Jahr 1945 überschreitet es die 10% Marke des Anteils am DEC.

Ab den 1920er, 1930er Jahren begann eine zweite Transition im Energiesystem hin zu einem auf Erdöl/Erdgas basierendem System. Wie bereits erwähnt machte ab 1946 der Anteil von Erdöl und Erdgas schließlich den größten Teil des Primärenergieverbrauches aus. Die Anteile der Biomasse und der Kohle am Energieumsatz gingen zwar zurück, spielten aber nach wie vor eine wichtige Rolle. Allerdings haben sich die Bereiche, wofür Kohle genutzt wird dramatisch verändert. Zwischen 1945 und 1955 gab es bei der Kohlenutzung einen Wechsel von der Menge an Kohle die als Treibstoff für Eisenbahnen konsumiert wurde hin zu einer Nutzung zur Elektrizitätserzeugung. Im Jahr 1920 wurden 7,3% der Kohle zur Elektrizitätsgewinnung genutzt und 26,6% als Treibstoff für Eisenbahnen. Bis zum Jahr 1955 haben sich diese Werte umgedreht. Nun wurden 33,2% der Kohle zur Elektrizitätsgewinnung genutzt und 3,7% als Treibstoff für die Eisenbahnen (Schurr et al. 1960: 76). Die Nutzung der Kohle zur Elektrizitätsgewinnung ist in den folgenden Jahrzehnten weiter dramatisch gestiegen. Im Jahr 2000 wurden in den USA 92% der genutzten Kohle zur Elektrizitätserzeugung verwendet (EIA 2009).

Ab Mitte der 1970er Jahre ging der Anteil der Erdöl und Erdgas Nutzung am DEC zurück und dieser pendelte sich ab 1985 bei ca. 50% ein (siehe Abbildung 21). Der Anteil von Kohle und Biomasse am DEC liegen seit 1985 bei ca. je 20%. Seit Anfang der 1970er Jahre tritt die Kernenergie in Erscheinung⁵¹. Zwischen 1960

⁴⁹ Der Anteil von industriell genutztem Erdgas betrug zwischen 1906 und 1955 zwischen 70 und 80% am gesamten genutzten Erdgas (Schurr et al. 1960: 132). Bis zum Jahr 2000 hat der Anteil vom nicht industriell genutztem Erdgas kontinuierlich zugenommen (EIA 2009).

⁵⁰ 90% des Carbon Black wurden zur Gummireifenherstellung verwendet (ebd.).

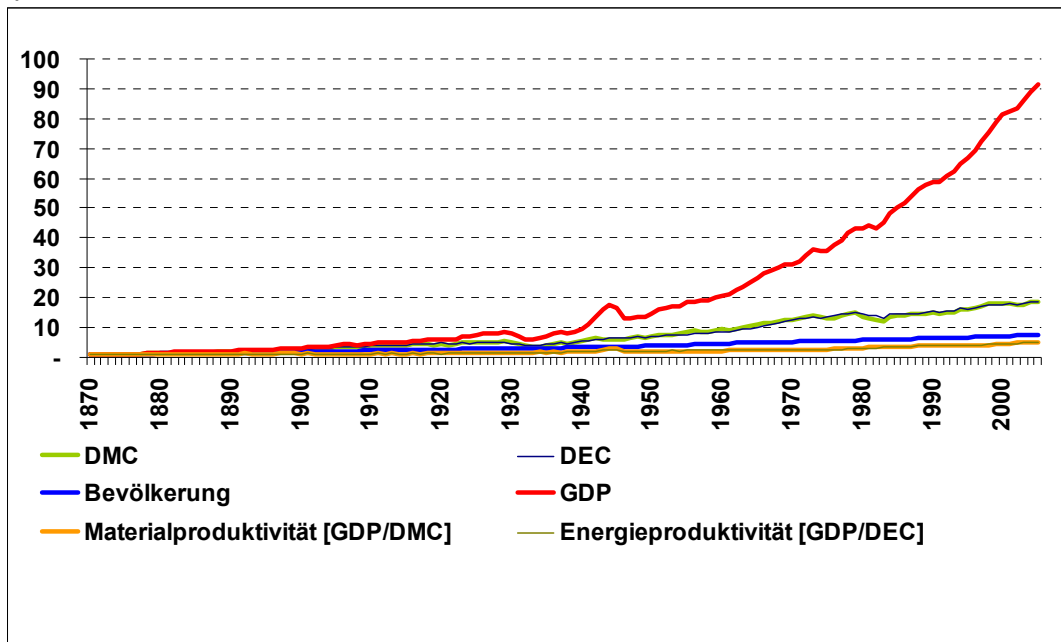
⁵¹ In den in dieser Arbeit verwendeten Statistiken scheint Kernenergie zum ersten Mal im Jahr

und 1990 hat ein massiver Ausbau von Atomkraftwerken in den USA stattgefunden. Der Höhepunkt war 1990 mit 112 betriebenen Atomkraftwerken (EIA 2009). Die kommerzielle Nutzung von Kernenergie wurde politisch vorangetrieben (vgl. EIA 2009), weil die Abhängigkeit von Energieimporten immer größer wurde. Seit 1948 sind die USA Netto Importeur von Erdöl. Die Erdölimporten nehmen in den folgenden Jahrzehnten drastisch zu. Im Jahr 1970 wird das Maximum der DE von Erdöl in den USA erreicht. Der Ölpreisschock 1973 machte die Abhängigkeit von Energieimporten deutlich. Vor allem zwischen 1966 und 1974 wurden zahlreiche Kernkraftwerke geplant (EIA 2009). Viel weniger wurden tatsächlich errichtet, da sich die Kosten zur Errichtung als sehr hoch herausstellten (EIA 2009). Seit dem Reaktorunfall auf Three Mile Island 1978 wurde bis zum Jahr 2005 kein weiteres Atomkraftwerk in Auftrag gegeben (ebd.). Im Jahr 1973 macht Kernenergie 1% des DEC aus. Dieser Wert stieg dann bis zum Jahr 2005 auf 6,7% an⁵². Lediglich 20% der gesamten Stromerzeugung in den USA stammten im Jahr 2000 von Kernenergie (ebd.). Seit 1985 gab es kaum Veränderungen bei den Anteilen der einzelnen Energieträger am gesamten DEC.

3.3 Ressourcennutzung und Wirtschaftswachstum

Abbildung 22: Vergleich des Material- und Energieverbrauches mit anderen sozioökonomischen Faktoren (indexierte Darstellung 1870 = 1)

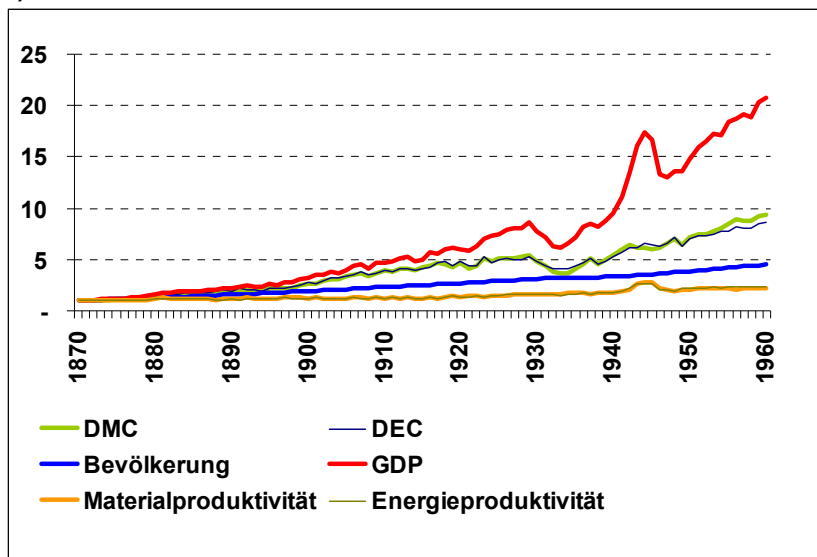
a) 1870 - 2005



1960 auf.

⁵² Um auf 100% DEC zu kommen müssten noch die Produkte die hauptsächlich aus fossilen Energieträgern hergestellt werden, das Torf und die Gruppe der HRE berücksichtigt werden. Diese machen im Jahr 2005 ca. 2% des DEC aus.

b) 1870 - 1960



Quelle: MFA, U.S. Bureau of the Census 1975, Maddison 2008, FAO 2009

In Abbildung 22 wird der Verlauf verschiedener sozioökonomischer Indikatoren in indexierter Form (1870 = 1) dargestellt. In Abbildung 22a und b sind dieselben Parameter dargestellt, die beiden Abbildungen unterscheiden sich lediglich in den dargestellten Zeitabschnitten und den Skalen. Abbildung 22a deckt den Zeitraum 1870 bis 2005 ab und Abbildung 22b den Zeitraum 1870 bis 1960. Die Kurven zeigen an um wie viel sich seither die einzelnen Indikatoren gesteigert oder verringert haben. Bis zum Jahr 1960 ist das BIP im Vergleich zum Ausgangsjahr 1870 um das 20-fache angestiegen, bis zum Jahr 2005 um das 91-fache. Die Bevölkerung wuchs im betrachteten Zeitraum um das 7,5-fache, der Materialverbrauch um das 18,7-fache. Der Primärenergieverbrauch ist von 1870 bis 2005 um das 18,5-fache angestiegen. Die Entwicklung des DMC und DEC verlief beinahe gleich. Es gab nur leichte Abweichungen, z.B. stieg der DEC in den 1950er und 1960er Jahren etwas langsamer an als der DMC. In Abbildung 22 sind die Verläufe der beiden Indikatoren Energieproduktivität und Materialproduktivität dargestellt. Diese geben an wie viel BIP pro Einheit Material- oder Energieverbrauch erzeugt wurden. Die Entwicklung beider Indikatoren verläuft beinahe gleich. Die Materialproduktivität ist im besagten Zeitraum um das 4,9-fache gestiegen. Die Energieproduktivität um das 5-fache. Während des zweiten Weltkriegs gibt es für ein paar Jahre einen stärkeren Anstieg der Material- und Energieproduktivität. Es gab im besagten Zeitraum eine relative Entkoppelung von Material- und Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum. In den ersten 45 Jahren des Untersuchungszeitraumes folgten die Wachstumskurven des BIP, DMC und DEC einem ähnlichen Trend. Anschließend kam es allmählich zu einer relativen Entkoppelung von BIP und DMC bzw. DEC, das bedeutet, dass der DMC und der DEC langsamer anstiegen als das BIP. Allerdings gab es im ganzen Zeitraum keine absolute Entkoppelung von Materialverbrauch, Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum. Eine absolute Entkoppelung liegt dann vor, wenn der Materialverbrauch sinkt, während das Wirtschaftswachstum steigt (Krausmann et al. 2004). Anfang der 1980er gab es für ein paar Jahre einen leichten Rückgang sowohl im DEC und im DMC, das BIP stagnierte in diesem Zeitraum. Im Jahr 1991 gingen alle drei Indikatoren leicht zurück, um dann wieder anzusteigen. Um die

Jahrtausendwende stagnierte kurzfristig das BIP; DMC und DEC stagnierten einige Jahre. Rückgänge oder Stagnationen des DMC oder DEC gab es also immer dann, wenn es eine Rezession oder Stagnation des BIP gab.

Bemerkenswert ist der kurzfristige massive Anstieg des BIP während des zweiten Weltkrieges. Der Materialverbrauch scheint von dieser Entwicklung unberührt zu bleiben. Das könnte allerdings auch mit Datenproblemen im Zuge des zweiten Weltkrieges zu tun haben.

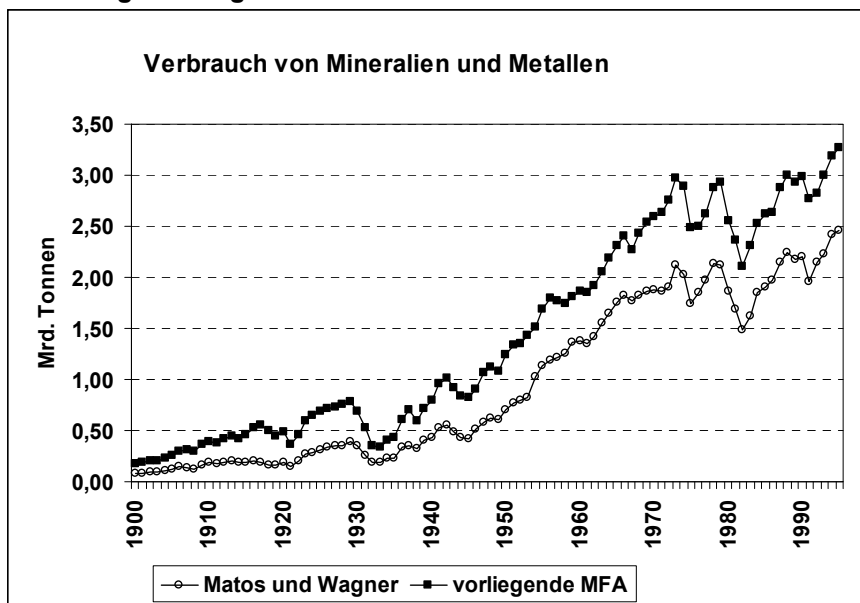
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein Zusammenhang zwischen Material- und Energieverbrauch und Wirtschaftsentwicklung besteht. Es kam zu einer relativen, aber zu keiner absoluten Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Materialverbrauch.

4 Diskussion

4.1 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien

In diesem Kapitel werden kurz die Ergebnisse mit den eingangs vorgestellten Studien zur Material- und Energienutzung in den USA verglichen. Zunächst werden die Ergebnisse mit der Studie von Matos und Wagner (1998) verglichen. Die beiden Autoren kommen auf einen deutlich geringeren Wert beim Materialverbrauch. Bei Matos und Wagner stieg der Rohmaterialverbrauch von 161 Mio. Tonnen⁵³ im Jahr 1900 auf 2,8 Mrd. Tonnen im Jahr 1995. Da bei diesen Werten die Endprodukte, die importiert oder exportiert werden, nicht inkludiert sind, werden diese Werte mit der DE verglichen. In vorliegender Arbeit stieg der DE im selben Zeitraum von 1,19 Mrd. Tonnen auf 6,6 Mrd. Tonnen. Diese Unterschiede ergeben sich daraus, dass Matos und Wagner Nahrungsmittel und Treibstoffe nicht berücksichtigen. Dafür inkludieren sie Recyceltes Material in ihre Berechnungen. Deren Anteile sind allerdings sehr gering.

Abbildung 23: Vergleich der Daten mit der Studie von Matos und Wagner



Quelle: Matos 2009

Werden nur die Daten zu den Mineralien und den Metallen miteinander verglichen (siehe Abbildung 23), sind die Werte in dieser Studie durchgängig höher. Bei Matos und Wagner steigt dieser Wert von 76 Mio. Tonnen im Jahr 1900 auf 2,5 Mrd. Tonnen im Jahr 1995 (Matos 2009⁵⁴). In dieser Arbeit steigt die DE der Mineralien und Erze im selben Zeitraum von 173 Mio. Tonnen auf 3,3 Mrd. Tonnen. Vermutlich ergeben sich diese Unterschiede aufgrund der

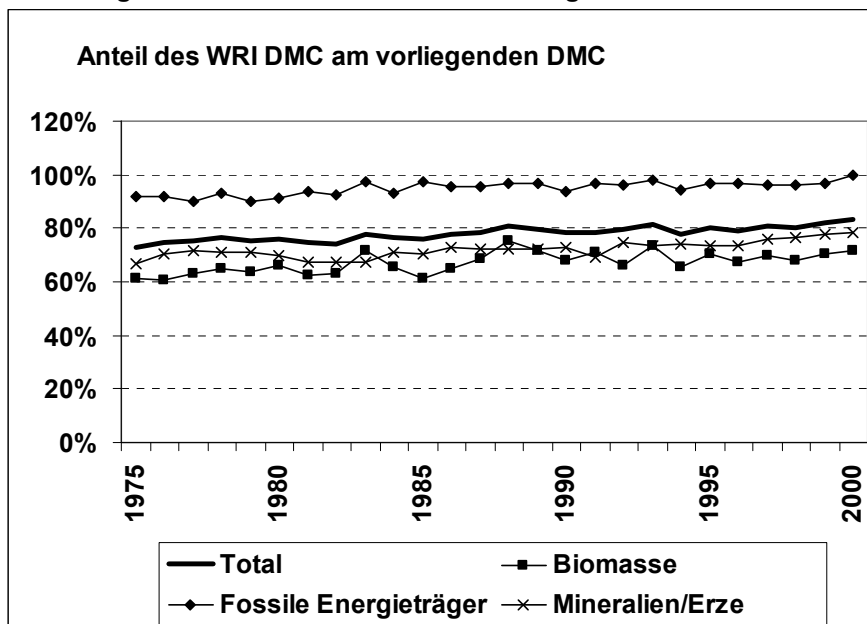
⁵³ In einer späteren Version wird dieser Wert auf 144 Mio. Tonnen ausgebessert (Matos 2009).

⁵⁴ In dieser Arbeit wird der Artikel von Matos und Wagner aus dem Jahr 1998 besprochen. Im Jahr 2009 veröffentlichte Matos im USGS ein Factsheet, wo die Daten aus der Matos und Wagner Studie aktualisiert und bis zum Jahr 2006 vervollständigt wurden. Abbildung 23 wurde anhand dieses Factsheets erstellt.

unterschiedlichen Systemgrenzen. So wurde bei Matos und Wagner das Gewicht im „input-to-manufacturing stage“ (Matos et al. 1998: 108) verwendet. In dieser Arbeit wurde die Menge des aus der Natur entnommenen Materials verwendet. Das führt z.B. dazu, dass Matos und Wagner das reine Metall zählen. In dieser Studie hingegen wird das gesamte metallhaltige Material berücksichtigt. Außerdem wird in vorliegender Studie für die Werte des Sand und Schotters eine Schätzung herangezogen, die höher ist als jene des USGS. Es zeigt sich aber, dass der generelle Verlauf des Materialverbrauches bei Matos und Wagner sehr ähnlich ist. Die verschiedenen Ereignisse wie Weltkriege, Wirtschaftskrise, Ölkrisen verursachen ähnliche Einschnitte.

Als nächstes wird die WRI Studie zur USA (Rogich et al. 2008) betrachtet. Auch hier ist der DMC niedriger als in vorliegender Arbeit, obwohl hier auch die Nahrung und die fossilen Energieträger inkludiert sind. In der WRI Studie stieg der DMC von 4,1 Mrd. Tonnen im Jahr 1975 auf 6,5 Mrd. Tonnen im Jahr 2000. Das entspricht einer Steigerung um 57%. In vorliegender Arbeit stieg der DMC im selben Zeitraum von 5,7 Mrd. Tonnen auf 7,8 Mrd. Tonnen. Die Steigerung betrug hier lediglich 37%. Dies lässt sich vermutlich damit erklären, dass in der WRI Studie die Biomasse Werte und die Werte für Metalle und Mineralien viel niedriger sind. Der DMC aus Land- und Forstwirtschaft in der WRI Studie ergibt zusammengerechnet ca. 1,17 Mrd. Tonnen Material im Jahr 2000. In vorliegender Arbeit beträgt der DMC Biomasse im selben Jahr 1,64 Mrd. Tonnen. Außerdem sind die Werte der Mineralien und Metalle in der WRI Studie niedriger. Diese machen durchschnittlich um die 70% der Werte in dieser Studie aus (siehe Abbildung 24). In der WRI Studie werden im Vergleich zu vorliegender Studie das reine Metall zum DMC gerechnet und nicht das gesamte Metallhaltige Material. Der DMC der fossilen Energieträger der WRI Studie entspricht in etwa jenen dieser Studie (siehe Abbildung 24).

Abbildung 24: Anteil des WRI DMC am vorliegenden DMC in %



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus Rogich et al. 2008, MFA

In der WRI Studie werden die Systemgrenzen im DMC anhand wirtschaftlicher Kriterien festgelegt. So wird bei der Biomasse z.B. die Weidebiomasse nicht berücksichtigt, dafür allerdings das Fleisch. Die „Hidden flows“, welche alle Materialien umfassen die im Produktionsprozess anfallen, aber nicht im Produkt verwertet werden (z.B. „mining overburden“, Erosion, Erntenebenprodukte,...), sind nicht im DMC inkludiert. Diese werden extra gezählt und ergeben zusammen mit dem DMI den TMR (Total Material Requirement).

In der Studie von Ayres et al. (2003) wird mit dem Begriff Exergie gearbeitet. Dieser entspricht in etwa den Primärenergieinputs. Zur Erstellung der Exergiedatenreihe (siehe Fig. 2., Ayres et al. 2003: 222 abgebildet ist) spielt die Unterscheidung in Treibstoff und Materialien, die kein Treibstoff sind („fuel or non-fuel“) eine wichtige Rolle (Ayres et al. 2003: 251). Zu jenen Materialien, die kein Treibstoff sind, aber dennoch einen bedeutenden Exergiegehalt haben, werden Holz, welches kein Feuerholz ist, wichtige Metalle wie Eisen und Kupfer Erze und Mineralien (Kalkstein) gezählt (ebd.: 251)⁵⁵. Die Erze und Mineralien werden in vorliegender Studie nicht zu den Primärenergieinputs gezählt. Im Anhang der Ayres et al. Studie werden die Datenreihen zur Exergie der Treibstoffe aufgelistet. Dazu werden die Fossilen Energieträger und das Feuerholz bzw. jene Biomasse, die zur Energieerzeugung genutzt wird, gezählt. Werden nun die Werte der Primärenergieinputs aus vorliegende Arbeit (abzüglich: Biomasse die kein Feuerholz ist, Kernenergie und die Gruppe der HRE) mit den Werten der Exergie Produktion verglichen, zeigt sich dass jene aus dieser Arbeit durchwegs leicht höher sind. Im Jahr 1900 betrug die Exergie Produktion der Treibstoffe 9.290 PJ (Petajoule) (Ayres et al. 2002: 270), die DE der Primärenergie (ohne Biomasse und Wasserkraft, aber mit Feuerholz) lag bei 9.313 PJ. Bis zum Jahr 1998 hat sich dieser Unterschied etwas ausgeweitet: die Exergie Produktion lag bei 63.213 PJ, die DE der Primärenergie (ohne Biomasse, Kernenergie, HRE, mit Feuerholz) betrug 65.865 PJ. Eine genauere Betrachtung der einzelnen Energieträger zeigt, dass die Umrechnungsfaktoren von Gewicht in Energie minimal voneinander abweichen. Im Großen und Ganzen sind die Werte miteinander vergleichbar.

Die unterschiedlichen Werte ergeben sich zu einem großen Teil aufgrund der unterschiedlichen Setzung der Systemgrenzen. In vorliegender Arbeit gibt es zwei Systemgrenzen. Die Abgrenzung zu anderen sozioökonomischen Systemen, welche durch die Landesgrenzen definiert ist, und die Abgrenzung des sozioökonomischen Systems zum naturalen System. Diese zweite Abgrenzung wird in den anderen Studien nicht oder nicht im selben Ausmaß berücksichtigt. Dies führt vor allem zu Unterschieden in der Beachtung der Biomasse und der Mineralien und Erze. So werden bei Matos und Wagner nur jene Produkte aus der Landwirtschaft zum Materialverbrauch gezählt die nicht der Nahrung dienen, wie z.B. Tabak, Leder, usw. und Holz exklusive Feuerholz. In der WRI Studie werden beim DMC die Weidebiomasse und die Erntenebenprodukte nicht berücksichtigt, dafür allerdings das Fleisch. Bei den Mineralien und Erzen werden sowohl in der WRI Studie als auch bei Matos und Wagner nur die reinen Metalle zum Materialverbrauch gezählt. Matos und Wagner berücksichtigen zusätzlich recyceltes Metall. Die Werte für Sand und Schotter sind bei Matos und Wagner und in der WRI Studie geringer, da diese sich auf in der Produktionsstatistik

⁵⁵ In oben genannter Fig. 2 wird zusätzlich zu den im Anhang (Ayres et al. 2003: 251) beschriebenen Materialien „Phytomass“ angeführt. Das könnte die Biomasse sein. Darauf wird aber nicht näher eingegangen.

berichtete Werte beziehen. Im Gegensatz dazu wird in vorliegender Arbeit eine Schätzung auf Basis des Zement- und Bitumenverbrauches verwendet.

4.2 Die industrielle Transformation

4.2.1 Landnutzungsveränderungen

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, war in den USA um 1850 die Erschließung des Westens durch euroamerikanische SiedlerInnen noch nicht abgeschlossen. Nach wie vor wurde neues Land in Besitz genommen und neue Flächen zu Ackerland umgebrochen oder zur Beweidung genutzt.

Abbildung 25: Landnutzungsveränderungen in den USA von 1700 bis 1990

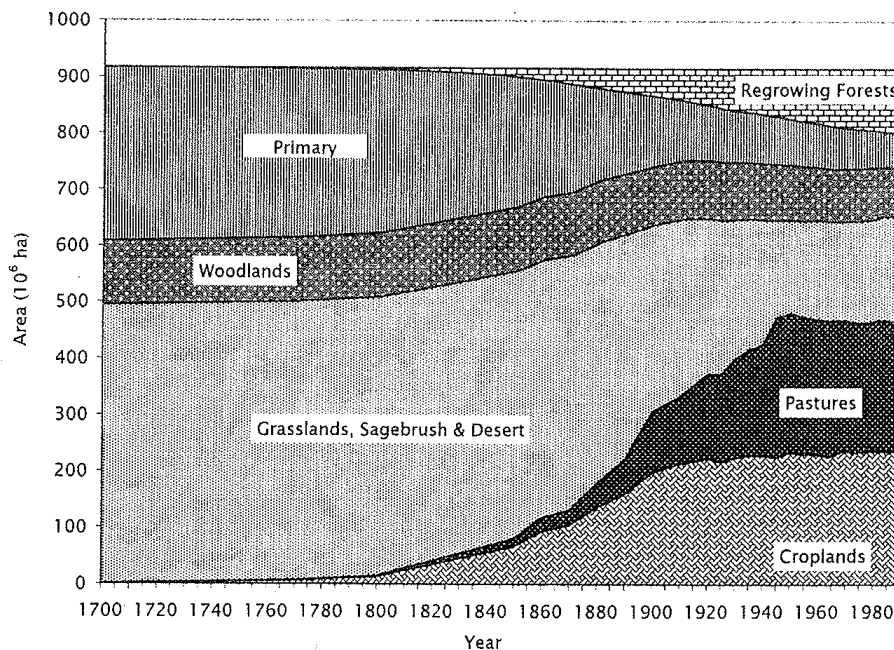


Fig. 4 Major classes of land cover in the United States between 1700 and 1990. Changes in area were determined by rates of agricultural expansion and abandonment in seven regions. The spatial distribution of agricultural change determined the type of biome affected. The area of regrowing forests was calculated from rates of harvest and agricultural abandonment.

Quelle: Houghton et al. 2000

Auf Abbildung 25 sind die Landnutzungsveränderungen in den USA (inkl. Alaska) von 1700 bis 1990 dargestellt, wobei die Daten von 1700 bis 1850 aufgrund der Bevölkerungsentwicklung rekonstruiert wurden (Houghton et al. 2000). Die abgebildete Grafik ist einer Studie entnommen, welche sich mit den Veränderungen des terrestrischen Kohlenstoffbestandes in den USA beschäftigt (Houghton et al. 2000)⁵⁶. Um 1850 machten Wald und Grasländer um die 90% der Landesfläche der USA aus. Der Anteil von Ackerflächen und Weideflächen war dementsprechend gering. Dies änderte sich im Laufe der nächsten 100 Jahre dramatisch. Die Ackerflächen stiegen bis in die 1920er Jahre massiv an. Die

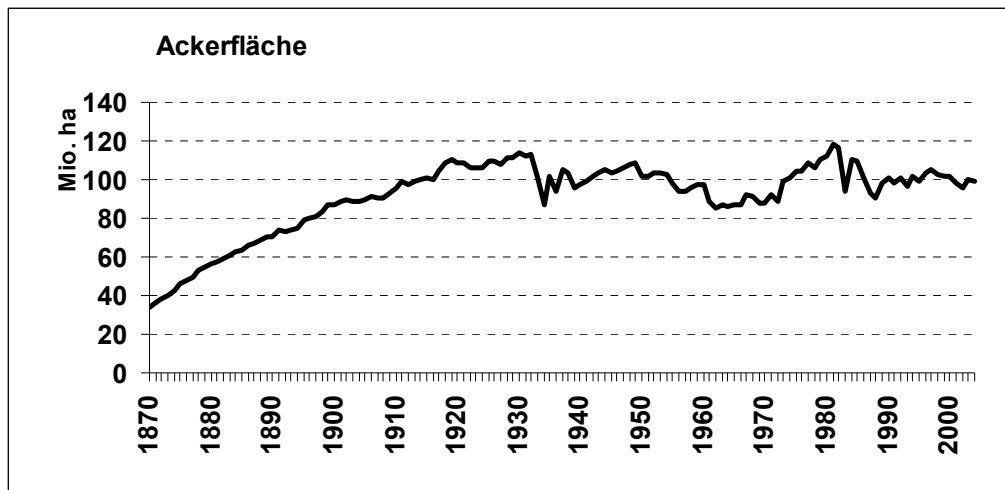
⁵⁶ Daher die Einteilung der Waldfläche in „Woodlands“, „Primary“ und „Regrowing Forests“.

Weideflächen nahmen zwischen 1850 und 1950 am schnellsten zu. Seitdem sind diese kaum noch angestiegen. Ackerflächen und Weideflächen machen seitdem ca. 50% der Landnutzung in den USA aus. Die Ausdehnung der Acker- und Weideflächen ging auf Kosten der Waldfläche und, in einem noch größeren Ausmaß, des natürlichen Graslandes.

4.2.1.1 Von der Ausdehnung der Ackerflächen zur Intensivierung

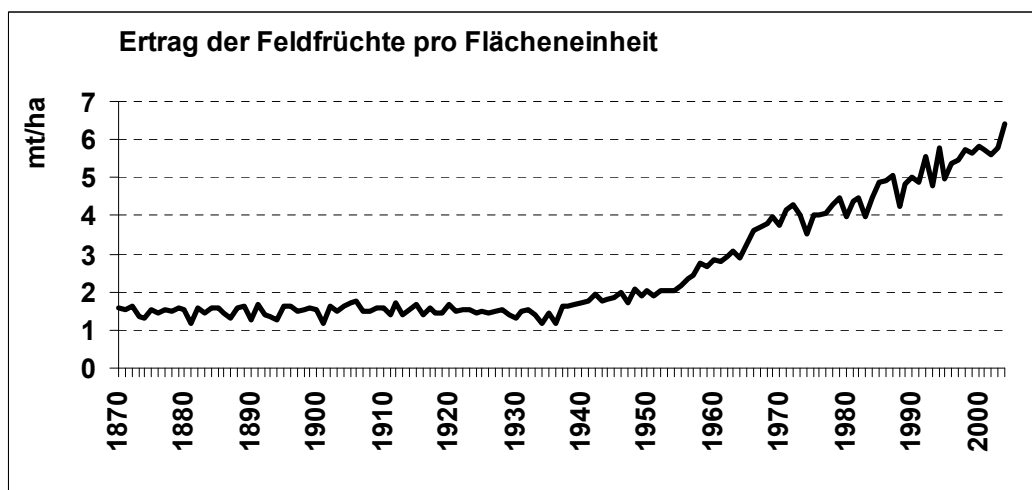
In Abbildung 26 sind alle tatsächlich als Ackerland genutzten Flächen dargestellt. Es zeigt sich, dass es bis zum Jahr 1930 eine massive Ausdehnung der Ackerflächen gegeben hat. In nur 5 Jahrzehnten wurden die Ackerflächen mehr als verdreifacht und erreichten um 1930 einen Peak von 113 Mio. Hektar im Jahr 1930. Danach gab es für ein paar Jahre einen Rückgang. Bis zum Jahr 2005 pendelte sich das Ausmaß der gesamten Ackerfläche bei ca. 100 Mio. Hektar ein.

Abbildung 26: Ackerfläche in Millionen Hektar in den USA in den Jahren 1870 bis 2005.



Quelle: U.S. Bureau of the Census 1975, eigene Darstellung

Abbildung 27: Ertrag der Feldfrüchte in metrischen Tonnen pro Hektar in den USA in den Jahren 1870 bis 2005.



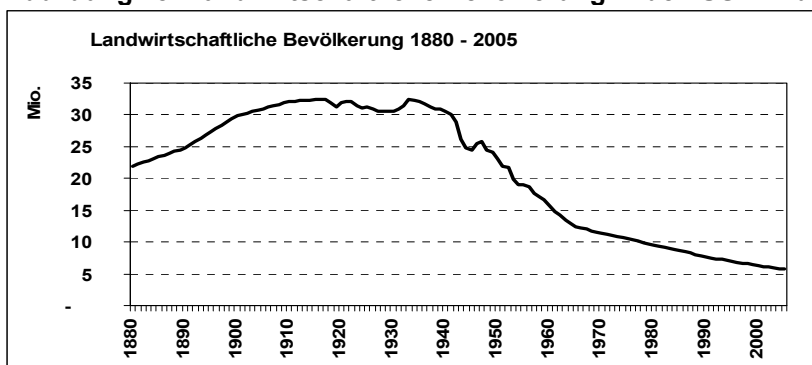
Quelle: eigene Berechnung: gesamte Ernte vom Ackerland laut MFA durch die gesamte Anbaufläche, Daten aus Bureau of the Census 1975

Konträr dazu verlief die Entwicklung der Flächenproduktivität: Der Ertrag der Feldfrüchte je Hektar Anbaufläche (siehe Abbildung 27) veränderte sich in der Phase der Ausdehnung der Ackerflächen bis zum Jahr 1830 kaum. Der Ertrag pro Hektar schwankte zwischen 1,3 und 1,6 Tonnen, wobei ab 1920 sogar ein leichter Abwärtstrend bemerkbar ist. Mitte der 1930er Jahre ging der Ertrag merklich zurück. Dann setzte eine radikale Veränderung im Trend ein. Der Ertrag pro Hektar begann zu steigen und erreichte bis zum Jahr 2004 einen Wert von 6,4 Tonnen pro Hektar.

Die 1930er Jahre scheinen einen Wendepunkt in der Landnutzung in den USA darzustellen. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die landwirtschaftlichen Ackerflächen ausgedehnt und die Erträge stiegen nicht, ab diesem Zeitpunkt kam es zu einer Intensivierung. Die Zeit Anfang der 1930er Jahren war, wie in der Einleitung ausgeführt, in den USA durch zwei Ereignisse geprägt. Zum einen war dies die große Depression, ausgelöst durch den Börsencrash 1929. Und zum anderen fiel in diese Zeit auch das „Dust Bowl“ Phänomen (Worster 1979, Cunfer 2005): Als Resultat einer Kombination aus massiver Expansion der Landwirtschaft in aride Gebiete und von klimatischen Ereignissen kam es zu großflächigen Erosionserscheinungen und gewaltigen Staubstürme in den Great Plains mit massiven Auswirkungen auf die Agrarproduktion.

Angetrieben von den Strukturanpassungsprogrammen des „new deal“ kam es in der Folge zu massiven Veränderungen in der Landwirtschaft. Um die landwirtschaftliche Überproduktion einzudämmen und die Preise der erzeugten Agrarprodukte hoch zu halten, gab es Nichtanbauprämien (Adams 2008)⁵⁷. Die Maschinisierung und der vermehrte Einsatz von künstlichen Düngemitteln (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30) führten zu jenen Produktivitätssteigerungen, wie sie in Abbildung 27 dargestellt sind. Diese strukturellen Veränderungen in der Landwirtschaft hatten Auswirkungen auf die Anzahl der in der Landwirtschaft beschäftigten Personen. Zu Beginn der Wirtschaftskrise stieg diese vorerst an. Doch ab 1933 begann sie erst langsam und schließlich immer schneller zu sinken (siehe Abbildung 28).

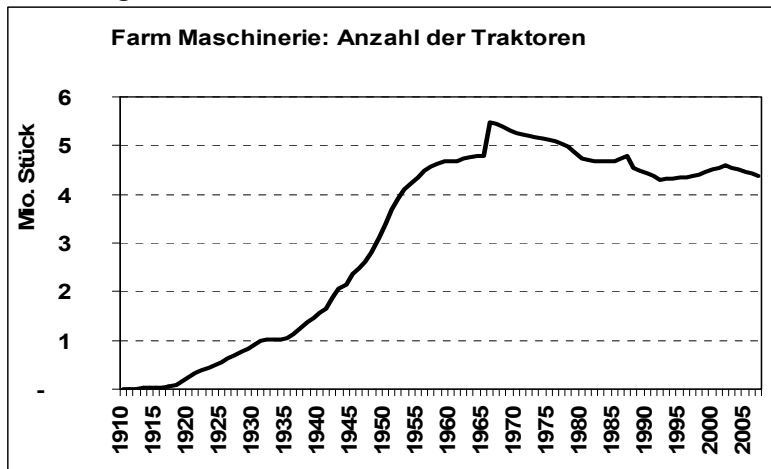
Abbildung 28: Landwirtschaftliche Bevölkerung in den USA in den Jahren 1880 bis 2005



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus U.S. Bureau of the Census 1975, FAO 2009

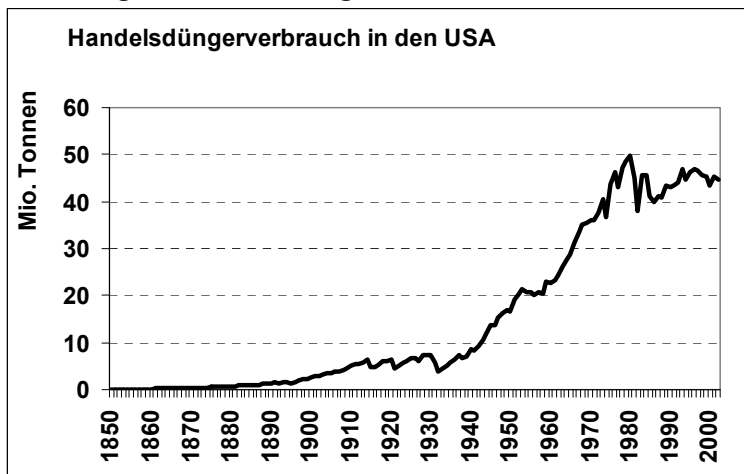
⁵⁷ In jener Zeit Anfang der 1930er Jahre zogen viele FarmerInnen und LandarbeiterInnen vom Land in die großen Städte. Dort herrschten Hunger und oft Aussichtslosigkeit für die neuen BewohnerInnen. Genau zu dieser Zeit kamen in den Great Plains mehrere Dürreperioden und schließlich die Staubstürme hinzu. Literarisch hervorragend verarbeitet wird dieses Thema in John Steinbeck's „The grapes of wrath“ (1939).

Abbildung 29: Anzahl der Traktoren in den Farmen in den USA in den Jahren 1910 bis 1970.



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus U.S. Bureau of the Census 1975, FAO 2009

Abbildung 30: Handelsdüngerverbrauch in den USA in den Jahren 1900 bis 2002.



Quelle: eigene Darstellung: N-, P₂O₅-, K₂O-hältige Stoffe, die zur Düngung von Feldfrüchten verwendet werden, Daten aus U.S. Bureau of the Census 1975, FAO 2009

Ab Mitte der 1930er Jahre stieg in den USA die Arbeits- und Flächenproduktivität in der Landwirtschaft. Dies wurde durch den massiven Einsatz von fossilen Energieträgern ermöglicht. In Abbildung 29 ist der Anstieg der Traktoren auf den Farmen zu sehen. Bereits vor der großen Depression nahm die Anzahl der Traktoren schnell zu. Die Wirtschaftskrise bremste die Mechanisierung der Landwirtschaft und die Anzahl der Traktoren stagnierte für einige Jahre, aber nach kurzer Zeit begann die Anzahl wieder rasant zu steigen. Ende der 1950er Jahre scheint sich die Anzahl der Traktoren auf einem hohen Niveau einzupendeln⁵⁸. Seit 1978 sind je 1000 ha Ackerland etwa 45 Traktoren im Einsatz (eigene Berechnung). Der Einsatz von Handelsdünger („commercial fertilizer“) zeigte eine

⁵⁸ In den Daten der FAO (FAO 2005) gibt es zwischen den Jahren 1965 und 1966 einen sprunghaften Anstieg der Anzahl der Traktoren. Das liegt daran, dass in den Jahren zuvor jene Traktoren berichtet sind, die offiziell von den „Countries“ berichtet wurden und in den Jahren danach (bis 1978) sind Schätzungen von der FAO berichtet. Abgesehen von diesem einen Sprung in der Datenreihe, ändert sich nichts an dem Trend, dass die Anzahl der Traktoren nicht mehr zunimmt und schließlich leicht abnimmt.

ähnliche Entwicklung. Nach einem kurzen Rückgang zu Beginn der 1930er Jahre begann der Handelsdüngereinsatz massiv anzusteigen (siehe Abbildung 30). Mechanisierung und Agrarchemie basieren beide auf energieintensiven Technologien und waren wesentliche Voraussetzungen für die die massiven Produktivitätssteigerungen in der Landwirtschaft.

Aufgrund der gesteigerten Arbeitsproduktivität konnten immer mehr Menschen außerhalb der Landwirtschaft tätig sein. Gesellschaftliche Arbeitszeit, die zuvor zur Erzeugung von Nahrung benötigt wurde, stand damit für andere Bereiche zur Verfügung.

4.2.2 Phasen der industriellen Transformation aus sozialökologischer Perspektive

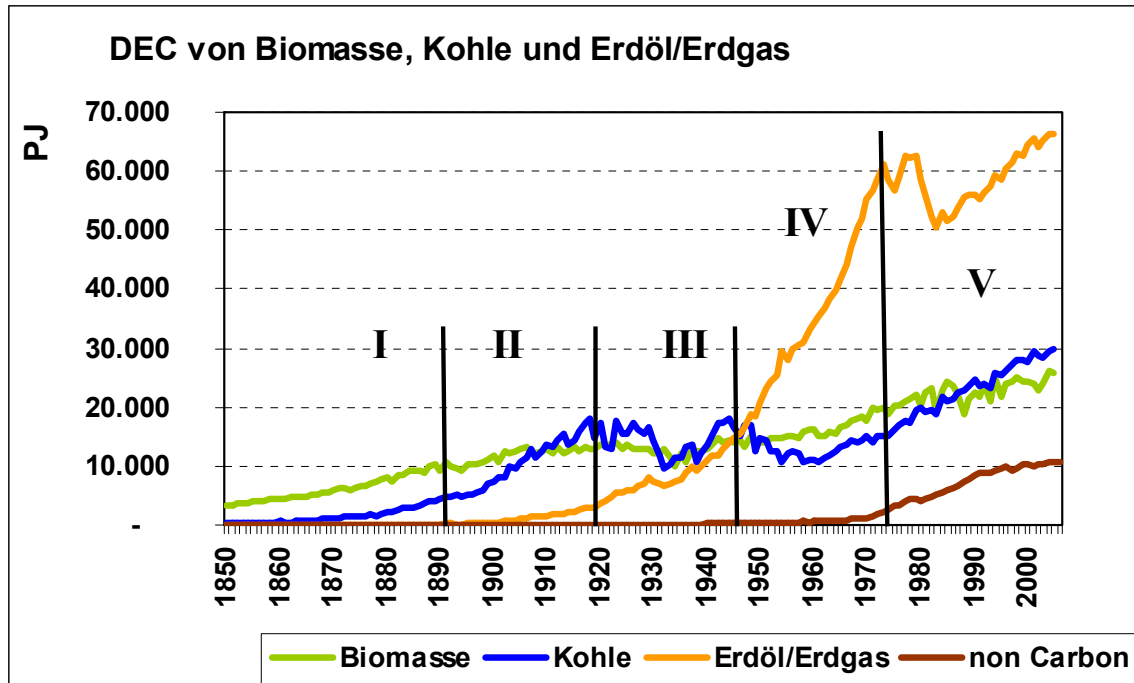
Eine bestimmte Phase der industriellen Transformation ist gekennzeichnet durch ein spezifisches Muster des sozialen Metabolismus. Die Menge der vom sozioökonomischen System genutzten Energie ist bedeutend dafür, wie viel Material im sozioökonomischen System bewegt werden kann. Daher wurde in dieser Arbeit der DEC als zentraler Indikator zur Abgrenzung der einzelnen Phasen herangezogen und sekundär zum Materialverbrauch in Beziehung gesetzt. Die Energieträger wurden zu vier zentralen Gruppen zusammengefasst. Die ersten drei wurden gewählt, weil sie in der Literatur jeweils für bestimmte historische Perioden als Leit-Energieträger angeführt werden. Das sind die Biomasse, die Kohle und Erdöl/Erdgas. Die vierte Gruppe stellen die Non-Carbons (=kohlenstofffreie Energiequellen) dar. Diese setzen sich in den USA aus der Gruppe der HRE (also Wasserkraft, geothermische Energie und importierte und exportierte Elektrizität) und Nuklearenergie zusammen.

Die Einteilung der Phasen in dieser Arbeit orientiert sich an den jeweiligen dominierenden bzw. sich abzeichnend zukünftig dominierenden Energieträgern. In Phase I ist die Biomasse der vorherrschende Energieträger. Der Verbrauch an Kohle beginnt allerdings bereits leicht anzusteigen. In Phase II ist der Kohleverbrauch stark im Wachsen begriffen und löst die Biomasse als dominierenden Energieträger ab. Phase II beginnt bei einem Anteil der Kohle von 30% am gesamten Energieverbrauch und endet mit dem Höhepunkt des Anteils der Kohlenutzung am DEC. Die Nutzung von Erdöl und Erdgas beginnt langsam zuzunehmen. In Phase III dominiert die Nutzung der Kohle. Der Erdöl- und Erdgasverbrauch beginnt immer mehr anzusteigen. Phase IV ist gekennzeichnet durch das Wachstum und die Dominanz des Verbrauches an Erdöl und Erdgas. Phase IV beginnt im Jahr, in dem der Anteil von Erdöl und Erdgas über 30% des DEC ausmachen. Die Gruppe der Non-Carbons beginnt in dieser Phase bereits leicht zu wachsen. Phase V wird nach wie vor von Erdöl und Erdgas dominiert, der Verbrauch wächst aber nicht mehr so stark. Phase V beginnt mit der ersten Ölkrise. Die Non-Carbons sind zunächst im Wachsen begriffen, pendeln sich dann aber rasch auf einem gewissen Niveau ein.⁵⁹ Phase IV deutet eine mögliche neue

⁵⁹ In der Einleitung (Kapitel 1.3.) ist die Rede von zwei Phasen der industriellen Transformation, dem Kohle basierten Regime und dem auf Erdöl und Erdgas basierten Regime. In der hier vorgenommenen Phaseneinteilung kommt die Periode vor dem Kohle basierten Regime und die mögliche Zeit nach dem Erdöl/Erdgas basierten Regime hinzu. Phase III als eigene Einheit wurde aufgrund der hohen Bedeutung dieses Umbruchs in den USA gewählt.

Transformation an. Wann diese beginnt (möglicherweise schon begonnen hat) kann noch nicht gesagt werden.

Abbildung 31: Phasen der industriellen Transformation in den USA von 1850 bis 2005.



Quelle: eigene Darstellung

- Phase I (1850-1891): Biomasse dominiertes System
- Phase II (1892-1918): Kohle basiertes Wachstum
- Phase III (1919-1944): Umbruchsphase
- Phase IV (1945-1973): Erdöl/Erdgas basiertes Wachstum
- Phase V (seit 1974): Business as usual
- Phase VI (ab ?): Die neue Transformation

Tabelle 12: Ausgewählte Indikatoren je Phase der industriellen Transformation

	Phase I		Phase II		Phase III		Phase IV		Phase V	
	1850*	1891	1892	1918	1919	1944	1945	1973	1974	2005
Anteil Biomasse [% am DEC]	93	69	66	38	42	31	31	20	20	19
Anteil Kohle [% am DEC]	7	30	33	53	48	39	37	15	16	23
Anteil Erdöl/gas [% am DEC]	-	1	1	8	10	29,8	32	62	62	50
Anteil NonCarbon [% am DEC]	-	-	-	-	-	1	1	2	3	8
DEC/cap [GJ/cap/a]	155	240	228	326	295	335	324	454	437	441
DMC/cap [mt/cap/a]	11* ^I	15	14	19	17	19	18	29	27	27
BIP/cap [\$/cap/a]	1.831	3.481	3.743	5.681	5.703	12.246	11.633	16.371	16370	30.041
Anteil der LW Bevölkerung [% der Bev.]	44* ^{II}	39	39	31	32	19	18	5	5	2
Anteil Biomasse [% am DMC]	85* ^I	73	70	42	46	36	35	22	21	21
Eisenbahnnetz [m/km ²]	0,6	13	14	26	26	26	26	12	12	6
Motorisierung [Auto/1000cap/a]	-	-	-	53	64	183	182	462	473	455
Stahlproduktion [kg/cap/a]	0,4* ^{III}	61	76	381	296	581	511	634	605	316

Quelle: eigene Berechnungen, Daten aus EFA, MFA, U.S. Bureau of the Census 1975a,b, FAO 2009, Maddison 2008, U.S. BTS 2010, USGS 2008

Kursiv: Schätzung

/a: pro Jahr

* wenn nicht anders angegeben

*^I 1870

*^{II} 1880

*^{III} 1860

In Abbildung 31 sind die Phasen der industriellen Transformation markiert. Die erste Phase der Transformation begann um 1850. Zu diesem Zeitpunkt gab es bereits zahlreiche Eisenbahnlinien und die Nutzung von Dampfschiffen z.B. am Mississippi, allerdings wurden diese bis zum Ende des Bürgerkrieges zum größten Teil mit Holz betrieben (Schurr et al. 1960). Holz war in den USA im Vergleich zum Vereinigten Königreich in großen Mengen vorhanden. Um 1850 herum gab es bereits erste Kohlebergwerke in den USA. Die Menge an abgebauter Kohle war allerdings noch sehr gering (vgl. Schurr et al. 1960). Im Jahr 1850 wurden in den USA pro Kopf 326 kg Kohle abgebaut (eigene Berechnung). Im Vergleich dazu wurde im Vereinigten Königreich bereits im Jahr 1750 (!) mehr Kohle abgebaut, nämlich 417 kg pro Kopf (Krausmann et al. 2008a: 192).

4.2.2.1 Phase I: Biomasse dominiertes System (1850-1891)

In der ersten Phase der Transition dominierte die Biomasse, sowohl den DEC als auch den DMC. Im Jahr 1850 betrug der Anteil der Biomasse am DEC 93%, der Anteil der Biomasse am DMC im Jahr 1870 beträgt 85%. Kohle wurde hier bereits genutzt, spielte aber noch eine sehr untergeordnete Rolle. Der Anteil der Kohle am DEC im Jahr 1850 betrug 7%. Langsam begann der Verbrauch von Kohle in dieser Phase zu steigen. Dieser stieg aber nicht über die Hälfte des Biomasse Verbrauchs hinaus. Am Ende der Phase betrug der Anteil der Kohle am DEC 30%. Große Teile der Bevölkerung waren zu dieser Zeit in der Landwirtschaft tätig. Im Jahr 1880 waren das 44% der Bevölkerung. Aber der Prozess der Industrialisierung hatte bereits eingesetzt. Das war die Zeit der Ausdehnung des Schienennetzes über die USA Richtung Westen. Zu Beginn dieser ersten Phase betrug die Länge der Eisenbahnlinien 0,6 m pro km² Landesfläche. Am Ende dieser Phase waren es bereits 13 m/km². Nach dem Bürgerkrieg, welcher 1865 endet, setzte die Hochindustrialisierung ein, in der die auf Kohle basierende Stahlproduktion ein wesentliches Element ist. Die Produktion von Rohstahl stieg von 0,37 kg pro Person im Jahr 1860 auf 61 kg/cap im Jahr 1891. Im Vergleich zu traditionellen Agrargesellschaften, wo ca. 80% der Bevölkerung in der Landwirtschaft tätig sind, waren es in den USA um 1891 lediglich knappe 40% der Gesamtbevölkerung. Dennoch machte die Biomasse über 70% des gesamten DMC in diesem Jahr aus. Die Ackerflächen wurden in dieser Zeit massiv ausgeweitet. Die tatsächlich bebaute Fläche stieg von 26,6 Mio. Hektar im Jahr 1866 auf 73,7 Mio. Hektar im Jahr 1891 (siehe Kapitel 4.2.1.1). Diese massive Ausdehnung der Ackerflächen konnte nur in Zusammenhang mit der bereits eingesetzten Industrialisierung stattfinden. Das Eisenbahnnetz ermöglichte die Erschließung neuer fruchtbarer Gebiete und deren Verbindung mit städtischen Zentren, die die wichtigsten Absatzmärkte für die landwirtschaftlichen Produkte darstellten.

4.2.2.2 Phase II: Kohle basiertes Wachstum (1892-1918)

In dieser Phase fand eine rapide Ausweitung des Kohlebasierten Energiesystems statt. Der Verbrauch von Kohle stieg von 151 Mio. Tonnen auf 592 Mio. Tonnen pro Jahr, das entspricht einem Anstieg von ca. 5.000 PJ auf ca. 18.000 PJ pro Jahr. Am Beginn der Phase betrug der Anteil der Kohle am DEC 33%. Bis zum Jahr 1918 stieg dieser Anteil auf 53% an, was den höchsten Wert des Anteils der Kohle am DEC markiert. In Absoluten Zahlen gesehen erreichte der DEC im Jahr 1979 erstmals wieder die Marke von 18.000 PJ pro Jahr und nimmt in den folgenden Jahren kontinuierlich zu. Im Jahre 1907 überholte der DEC von Kohle jenen von der Biomasse. Der Verbrauch von Erdöl und später auch Erdgas begann in dieser Phase bereits leicht anzusteigen. Der Anteil von Erdöl und Erdgas am DEC stieg in dieser Phase von eins auf acht Prozent. Im Vergleich zu den beiden anderen Energieträgern spielten sie aber noch eine sehr untergeordnete Rolle. Die Industrieproduktion nahm in dieser Zeit rasant zu, auch die Stahl- und Roheisenproduktion stieg an. Die Stahlproduktion stieg von 76 kg/cap im Jahr 1892 auf 381 kg/cap im Jahr 1918 an. Das entspricht einer Verfünffachung der Stahlproduktion. Das Eisenbahnnetz wurde weiter ausgebaut.

Es stieg von 14 m/km²/a auf 26 m/km²/a. Dadurch wurde der Verbrauch von Kohle in der Industrie immer größer. Parallel dazu gab es in dieser Zeit zahlreiche technologische Innovationen, wie z.B. zur Erzeugung von Elektrizität. Dazu wurde zu dieser Zeit hauptsächlich Kohle verwendet (vgl. Schurr et al. 1960). Die ersten Autos wurden in dieser Phase serienmäßig hergestellt. Bis zum Jahr 1918 wurden in den USA bereits über 5,5 Mio Autos gefahren (U. S. Bureau of the Census 1975). Das entspricht 53 Autos pro 1.000 EinwohnerInnen. Insgesamt stieg in dieser Phase der Materialverbrauch pro Kopf von 14 auf 19 Tonnen pro Jahr. In dieser Phase der Hochindustrialisierung wurde die Idee vom „Land der unbegrenzten Möglichkeiten“⁶⁰ geboren (Adams 2008). Es war auch die Zeit, in der die USA zur Weltmacht avancierte. Das BIP pro Kopf in den USA überstieg jenes aus dem Vereinigten Königreich zum ersten Mal im Jahr 1901 (Maddison 2008).

Die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen schreitete weiter voran. Die landwirtschaftliche Bevölkerung nahm in dieser Phase zunächst noch zu, erreichte dann aber im Jahre 1916 mit gut 32,5 Mio. (vgl. Kapitel 4.2.1.1, Abbildung 28) Personen ein Plateau. Der Anteil der in der Landwirtschaft tätigen Personen an der Gesamtbevölkerung sank von 39% auf 31%. Die ersten Traktoren fanden zu Beginn des 20. Jh. ihren Einzug in die Landwirtschaft (vgl. Kapitel 4.2.1.1, Abbildung 29).

Im Jahre 1910 verzeichneten die *Historical Statistics* 1.000 landwirtschaftlich genutzte Traktoren. Im Jahre 1918 waren es bereits 85.000 Stück (U.S. Bureau of the Census 1975). Der Anteil der Biomasse am DEC sank in dieser Phase von zwei Drittel auf gut ein Drittel (von 65,5% auf 38%).

4.2.2.3 Phase III: Umbruchphase (1919-1944)

In Phase III kam es zu einer Reihe von Veränderungen. In der Logik der Phaseneinteilung kann zunächst gesagt werden, dass in dieser Phase die Kohle der dominierende Energieträger blieb, der Höhepunkt des Umsatzes an Kohle (1918) wurde mit über 18.000 PJ pro Jahr vorerst überschritten⁶¹. Nach einem kurzen Einbruch zu Beginn der 1920er Jahre stagnierte die Kohlenutzung, bis Anfang der 1930er Jahre, ausgelöst durch den Börsenkrach 1929, der Verbrauch von Kohle massiv abzunehmen begann. Die Wirtschaftskrise in den 1930er Jahren bedeutete einen beträchtlichen Einbruch im Material- und Energieverbrauch in den USA. Der DEC der Kohle war am stärksten davon betroffen. Aber auch die Nutzung von Biomasse verzeichnete in dieser Zeit Rückgänge. Der Anteil der Biomasse sank von 42% auf 31%. Der Erdöl- und Erdgasverbrauch befand sich in dieser Phase bereits im Wachsen. Der Anteil von Erdöl/Erdgas am DEC stieg von 10% auf 29,8%. Auch die Nutzung dieser beiden Energieträger ging mit der Wirtschaftskrise zunächst leicht zurück, begann aber schnell wieder zu wachsen. Auch die Kohlenutzung begann nach ein paar Jahren wieder zu wachsen und erreichte gegen Ende des zweiten Weltkrieges für kurze

⁶⁰ So lautete der Titel eines USA-Reiseberichtes eines deutschen Wirtschaftsjournalisten im Jahre 1903 (Adams 2008).

⁶¹ Im Jahr 1944 wird nochmals dieser Wert erreicht. Der DEC an Kohle sinkt danach wieder ab und beginnt schließlich im Jahr 1979 darüber hinauszureichen.

Zeit wieder denselben Level wie vor der Wirtschaftskrise. Doch die Zeit der Kohle als dominierender Energieträger ging ihrem Ende entgegen. Das Ende dieser Phase markiert das Jahr 1944. In diesem Jahr begann der Kohleumsatz zu sinken und der Anteil von Erdöl/Erdgas am DEC erreichte im Jahr 1945 erstmals über 30%.

In dieser Phase dominierte zwar die Kohle (mit einer kurzen Ausnahme während der Wirtschaftskrise, in der die Nutzung von Biomasse jene der Kohle überstieg), die neue Ära der Nutzung von Erdöl und Erdgas wurde allerdings bereits eingeläutet. Die Weltwirtschaftskrise in den 1930er Jahren scheint in vielerlei Hinsicht einen Wendepunkt darzustellen⁶². Wie bereits in Kapitel 4.2.1.1. erwähnt, kam es in dieser Zeit zu einem Umbruch in der Landwirtschaft. Der Prozess der Ausdehnung der Ackerflächen fand sein Ende. Beinahe gleichzeitig kam es zu einem Anstieg der Produktivität in der Landwirtschaft. Dies wurde durch den vermehrten Einsatz fossiler Energieträger in der Landwirtschaft und den zunehmenden Ersatz der menschlichen Arbeitskraft durch Maschinen ermöglicht. Vorangetrieben wurden diese Prozesse durch das als Antwort auf die Wirtschaftskrise formulierte politische Programm des „New Deal“. Nun erfolgte in den USA die Industrialisierung der Landwirtschaft in großem Stil. Am Ende dieser Phase waren lediglich 19% der EinwohnerInnen in der Landwirtschaft tätig. Bereits vor der Wirtschaftskrise wurden die Weichen dafür gestellt, doch erst durch die massive staatliche Förderung ist es zu großräumigen strukturellen Veränderungen gekommen. Die Industrialisierung der Landwirtschaft hatte ihren Ausgangspunkt in den USA. In vielen Teilen Europas geschah dies in großem Ausmaß erst nach dem Ende des zweiten Weltkrieges⁶³ (vgl. Krausmann et al. 2008a).

Im Zuge des „New Deal“ kam es nicht nur in der Landwirtschaft zu grundlegenden Veränderungen. Um die Wirtschaft wieder anzukurbeln und Arbeitsplätze zu schaffen, wurden zahlreiche öffentliche Infrastrukturprojekte ins Leben gerufen. Wasserkraftwerke und Dämme wurden errichtet, um die Elektrizität auch in periphere Gebiete ausweiten zu können (Adams 2008). Die Nutzung von Elektrizität stieg in dieser Phase von 53.000 GWh im Jahr 1919 auf 274.000 GWh im Jahr 1944 (siehe Anhang, Abbildung 35). Der Straßenbau wurde vorangetrieben (Adams 2008), was massive Auswirkungen auf den Materialverbrauch hatte. Im Jahr 1931 wurden über 71.000 km Straße durch staatliche *Highway Departments* errichtet (U.S. Bureau of the Census 1975b). Diese Dimension der neu errichteten Straßen pro Jahr, wurde erst wieder im Jahr 1949 erreicht⁶⁴. Dementsprechend nahm die Anzahl der produzierten und konsumierten Autos zu. Im Jahr 1919 kamen auf 1.000 EinwohnerInnen 64 registrierte Autos. Im Jahr 1950 waren dies bereits 183. Der Grundstein für die Massenproduktion für den Massenkonsum wurde in dieser Phase gelegt. Die Massenproduktion wurde ermöglicht durch kostengünstige Produktion inkl. Fließbandtechnik. Der Massenkonsum wurde erreicht durch relativ hohe Löhne für eine breite Mittelschicht. Dieses sozioökonomische Regime wird auch als

⁶² Die Frage, inwieweit die Wirtschaftskrise auch Motor der Veränderung des sozialen Metabolismus oder Ergebnis eines sich nicht mehr im Gleichgewicht befindlichen sozialen Metabolismus oder beides war, könnte gestellt werden.

⁶³ Dieser Prozess ist noch nicht abgeschlossen bzw. ist die Frage zu stellen ob noch von demselben Prozess gesprochen werden kann, da die Ausgangsbedingungen und Abhängigkeiten in vielen Ländern heutzutage ganz andere sind.

⁶⁴ Laut USGS betrug im Jahr 2004 die Länge der Straßen insgesamt in den USA 6,5 Mio. Kilometer (Sullivan 2006).

Fordismus bezeichnet. Dieser Begriff ist benannt nach dem U.S. Automobilhersteller Henry Ford, Henry Ford errichtete die erste Autowerksanlage, die nur ein Automodell (das Model T Ford) mit Hilfe der Fließbandtechnik herstellt (Giddens 2001: 383f.). Der Begriff Fordismus umfasst aber nicht nur die massenhafte Produktion aufgrund der Fließbandtechnik, sondern er enthält auch die Kreation eines Massenmarktes (ebd.).

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, spielte in dieser Phase auch die Kriegsökonomie eine wichtige Rolle für den erneuten Anstieg des Material- und Energieverbrauches nach der großen Depression. Beim Übergang von 1944 auf 1945 sind bei vielen in Tabelle 12 dargestellten Indikatoren Rückgänge zu verzeichnen. Der DEC pro Kopf sank von 335 GJ/cap/a auf 324, der DMC pro Kopf von 19 t/cap/a auf 18. Die Stahlproduktion sank von 581 kg/cap/a auf 511 zurück. Das BIP pro Kopf ging von 12.246 auf 11.633 \$/cap/a zurück.

In energetischer Hinsicht wurde in dieser Phase der Übergang von einem Kohle dominierten System zu einem Erdöl/Erdgas dominierten System vorbereitet. Bereits vor dem Börsenkrach zeigte die Nutzung der Kohle einen leichten Abwärtstrend. Das erneute Aufblühen des Verbrauchs an Kohle nach der Krise waren die letzten Ausläufer der Dominanz der Kohle. Erdöl und Erdgas als neue Leitenergieträger standen bereits in den Startlöchern. Der Kohleverbrauch war in den USA sehr stark dem Ausbau der Eisenbahn und der Stahlindustrie verknüpft und dies wiederum hat zur Ausdehnung der SiedlerInnen Richtung Westen beigetragen. Erdöl und Erdgas sind dahingegen verbunden mit der Nutzung des Automobils und des Massenkonsums.

4.2.2.4 Phase IV: Erdöl/Erdgas basiertes Wachstum (1945-1973)

Die vierte Phase ist die des Erdöl/Erdgas basierten Wachstums. Im Grunde genommen kann sowohl von einer Phase des Wachstums als auch der Dominanz von Erdöl/Erdgas gesprochen werden. Ein Charakteristikum dieser Phase ist, dass die Nutzung von Erdöl und Erdgas die Nutzung von Kohle nicht nur ablöste, sondern über diese noch dramatisch hinausreichte. Allerdings begann der Verbrauch an Kohle nach einer langen Phase des Rückganges ab 1961 wieder anzusteigen. Im Jahr 1973 betrug der Anteil der Kohle am DEC 15%, der Anteil von Erdöl und Erdgas hingegen 62%. Diese verstärkte Nutzbarmachung von Energie ermöglichte eine Gesellschaft des Massenkonsums. Das generelle Wachstum des DEC wurde in den ersten 15 Jahren dieser Phase durch das Bevölkerungswachstum wieder ausgeglichen. Zwischen 1961 und 1973 gab es einen starken Anstieg des pro Kopf Verbrauches an Energie (siehe Abbildung 20). Dieser stieg in dieser Zeit von 324 GJ/cap auf 454 GJ/cap. Der DMC pro Kopf hingegen war beinahe während der gesamten Phase im Wachsen begriffen. Er wuchs in dieser Phase von 18 mt/cap/a auf 29 mt/cap/a. Wird der gesamte Materialverbrauch betrachtet (siehe Kapitel 3.1.3, Abbildung 15), zeigt sich in dieser Zeit ein massiver Anstieg des Verbrauches von nicht metallischen Mineralien. Große Teile davon gingen in den Ausbau von Infrastruktur. Die großen Straßenbauprojekte fallen in diese Zeit. In den 1950er Jahren wurde mit dem Bau des *Interstate Highway Systems* begonnen. Bis zum Jahr 2004 ist dieses Highway System über 73.000 km lang (Sullivan 2006). Damit könnte die Erde fast zweimal umrundet werden (ebd.). Insgesamt betrug im Jahr 2004 der Länge aller Straßen

in den USA 6,5 Mio. Kilometer (ebd.). Die Anzahl der Autos pro 1.000 EinwohnerInnen stieg in dieser Phase von 182 auf 462. Die Nutzung des Automobils durch die breite Masse ist sehr stark an ein aufblühendes Erdöl/Erdgas basiertes Energiesystem geknüpft. Der Anteil von Erdöl/Erdgas am DEC stieg in dieser Phase von 32% auf 62%. Zusammen mit dem sozioökonomischen Regime des Fordismus ist dieser unglaubliche Anstieg des Verbrauches an Erdöl und Erdgas zu verstehen. In Abbildung 36 (siehe Anhang) ist die Anzahl der registrierten Autos in den USA von 1900 bis 2005 dargestellt. Vor allem seit Mitte der 1940er Jahre gab es einen starken Anstieg der registrierten Autos in den USA. Elektrizität und chemische Industrie sind auch mit diesem auf Erdöl/Erdgas basierten Energiesystem verknüpft. Das konzentrierte Zusammenfallen gewisser technologischer bzw. energetischer Errungenschaften wird auch in der für diese Arbeit relevanten Literatur immer wieder beschrieben. John McNeill (2000) verwendet dafür den Begriff des Agglomerats. Er bezeichnet das Agglomerat aus Erdöl, Elektrizität, Fließbänder, Autos und Luftfahrzeuge, Chemie, Plastik und Kunstdünger als „Mowtown-Agglomerat“. In Abgrenzung dazu sieht er das „Coketown-Agglomerat“ bestehend aus eine Kombination von Kohle, Eisen, Stahl und Eisenbahnen.⁶⁵

In der Landwirtschaft werden jene Trends, welche sich in der vorhergehenden Phase abzeichneten fortgesetzt. Die Flächen- und Arbeitsproduktivität stieg an, die Anzahl der in der Landwirtschaft tätigen Personen sank von 18 auf 5% der Gesamtbevölkerung, der Anteil der Biomasse am gesamten DMC sank von 31% auf 20%.

Um den Bedarf an Erdöl und Erdgas zu decken, waren ab einem gewissen Zeitpunkt Importe notwendig. Laut den *Historical Statistics* (1975) wird seit 1948 mehr Erdöl in die USA importiert als exportiert. Außerdem wurde im Jahr 1971 das Maximum an der DE von Erdöl erreicht. Die Abhängigkeit der USA von Erdölimporten aus anderen Ländern und das Überschreiten des eigenen Ölfördermaximums sind auch Gründe dafür, warum die beiden Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren einen so dramatischen Effekt auf Wirtschaft und Stoffwechsel der USA hatten. Das Ende dieser Phase ist durch die erste Ölkrise im Jahre 1973 markiert. In diesem Jahr wurde das Maximum des Anteils von Erdöl/Erdgas am DEC erreicht. Der neuerliche Anstieg des gesamten DEC bis zur zweiten Ölkrise kam nur aufgrund der Zunahme des DEC an Kohle und Biomasse zustande.

Die Grundlagen für das auf Erdöl/Erdgas basierte Energiesystem wurden in den USA bereits in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts gelegt. Seit dem Ende der Wirtschaftskrise konnte sich dieses Energiesystem immer mehr durchsetzen. Ab 1948 waren Erdöl und Erdgas schließlich die dominierenden Energieträger. Zusätzlich zur Dominanz dieser Energieträger kam es zu einem enormen Anstieg des Energieverbrauchs. Neben einer wachsenden Bevölkerungszahl war wohl auch die Beteiligung der Masse am Konsum und ein Wirtschaftssystem, das vor allem darauf aufgebaut ist immer mehr Produkte zu generieren, dafür verantwortlich. Möglich war dies nur aufgrund der technisch verfügbar gemachten Energie.

⁶⁵ Arnulf Grübler, welcher sich eher auf die technologischen Entwicklungen konzentriert, spricht von technologischen Cluster (Grübler 1992).

4.2.2.5 Phase V: Business as usual (seit 1974)

Die fünfte Phase begann nach dem ersten Ölpreisschock. Nach ein paar Jahren des Rückgangs des DEC von Erdöl und Erdgas stieg dieser wieder an und erreichte im Jahr 1979 einen vorläufigen Höchstwert von über 62.000 PJ. Nach der zweiten Ölkrise folgte eine wirtschaftliche Depression und der DEC von Erdöl und Erdgas sank dramatisch ab. Seit 1985 ist dieser wieder im Steigen begriffen. Dieser Anstieg ist durch anhaltendes Bevölkerungswachstum zu erklären. Geprägt vom DEC von Erdöl und Erdgas zeigte der gesamte Primärenergieumsatz denselben Verlauf. Auch dieser erholte sich nach der zweiten Ölkrise in absoluten Zahlen wieder, wird allerdings der DEC/Kopf betrachtet (siehe Abbildung 20) zeigt sich, dass ab diesem Zeitpunkt der Energieverbrauch pro Kopf nicht mehr angestiegen ist. Der Peak im Primärenergieverbrauch pro Kopf war im Jahr 1979 bei 474 GJ/cap/a. Im Jahr 2005 lag dieser Wert bei 441 GJ/cap/a. Der DMC pro Kopf betrug am Anfang und am Ende der gesamten Phase 27 mt/cap/a.

Die vierte Phase endet im Jahr 1973, weil hier mit 62% der Höchstwert des Anteils von Erdöl und Erdgas am DEC erreicht wurde. Ab der fünften Phase war dieser Wert im Sinken begriffen bzw. pendelte er sich bei ca. 50% ein (siehe auch Abbildung 21, Kapitel 3.2.3). Dem gegenüber nahm der Anteil der Kohle am DEC wieder zu. Dieser steigt von 16% auf 23%. Der Anteil der Biomasse sank leicht: von 20% auf 19%. In dieser Phase trat erstmals die Gruppe der NonCarbons markant in Erscheinung. Der Anteil dieser am DEC stieg von 3% auf 8% an. Dies ist vor allem auf die Zunahme der Nutzung von Kernenergie zurückzuführen. Seit 1988 bestanden über 80% der Gruppe der Non Carbons aus Kernenergie⁶⁶.

In der fünften Phase begann nun der Anteil der Kernenergie am DEC merklich zuzunehmen. Allerdings stagnierte dieser seit 1991. Auch die anderen kohlenstofffreien Energiequellen konnten zu keinem weiteren Anstieg der Gruppe der Non-Carbons beitragen.

4.2.2.6 Phase VI: Die neue Transformation (ab ?)

Die Beschreibung der Phase V hat gezeigt, dass durch die beiden Ölpreiskrisen das hauptsächlich auf Erdöl und Erdgas basierte Energiesystem heftig irritiert wurde, der Anteil von Erdöl und Erdgas am DEC seitdem rückläufig ist, es aber ansonsten kaum Veränderungen im generellen sozialmetabolischen Muster gegeben hat. Man kann sich nun die Frage stellen, was das bedeuten mag. Sind die Grenzen der Verfügbarkeit von Erdöl und Erdgas ausgeschöpft? Wohin könnte sich das energetische Regime entwickeln? Ist der Anstieg der Gruppe der Non-Carbons ein Zeichen dafür, dass ein neues Energiezeitalter der Non-Carbons bevorsteht? Gibt es ein Zurück zur Kohle? Der Verlauf des Anstiegs der Non-Carbons ist seit den 1990er Jahren sehr stark eingebremst. Der Anteil von Kernenergie am gesamten DEC, welche den weitaus größten Anteil der Non-Carbons ausmacht, ist seit 1991 kaum gestiegen.

Es ist noch immer die Rede von der Transformation des sozialökologischen Regimes (vgl. Sieferle et al. 2006), weil die begrenzten Ressourcen Erdöl und Erdgas nicht die dauerhafte Basis einer Gesellschaft sein können. Welche

⁶⁶ Am Beginn der Phase V waren bestanden lediglich 51% der Non Carbons aus Kernenergie.

energetische Basis könnte es in Zukunft in den USA geben? Die Gruppe der Non-Carbons (welche gegenwärtig hauptsächlich aus Kernenergie besteht) kann derzeit nicht die neue energetische Basis der Gesellschaft sein. Auch die Nutzung der Kohle hat ein Ablaufdatum. In jüngster Vergangenheit wird in den USA immer mehr Aufwand betrieben Biomasse zur Kraftstofferzeugung zu nutzen. Im Jahr 2007 wurde vom U.S. Department of Energy das Biomasse Programm gestartet. Unter anderem ist ein Ziel bis zum Jahr 2012 die Herstellung von Ethanol auf ein wettbewerbsfähiges Level zu bringen (DOE 2010). Erb et al. (2009) zeigen auf, dass die Verwendung von Biomasse zur Ethanol Erzeugung mit der Nutzung von Biomasse zur Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz steht, da die pro Jahr nachwachsende Menge an Biomasse begrenzt ist. Erb et al. (2009) schätzen, dass im Jahr 2050 weltweit maximal 161 EJ/a Bioenergie aus Biomasse produziert werden könnte. Im Jahr 2008 wurden ca. 453 EJ technische Energie aus fossilen Energieträgern genutzt (Erb et al. 2009). Global gesehen kann also durch die Nutzung von Biomasse als Treibstoff bei weitem nicht dieselbe Menge an Energie aufgebracht werden wie im Moment durch fossile Energieträger.

Eine andere Möglichkeit wäre, weniger Energie zu verbrauchen. Damit stellt sich die Frage, ob in den USA die derzeitige Form der Warenproduktion aufrecht erhalten werden kann, wenn diese auf einem anderen sozialmetabolischen Regime beruht? Wie und wohin könnte sich die Form der Warenproduktion verändern? War die Industriegesellschaft nur ein kurzer Wegbereiter für ein ganz anderes sozial-ökologisches Regime?

4.2.3 Vergleich der Transformation des Energiesystems des Vereinigtes Königreich und der Vereinigte Staaten von Amerika

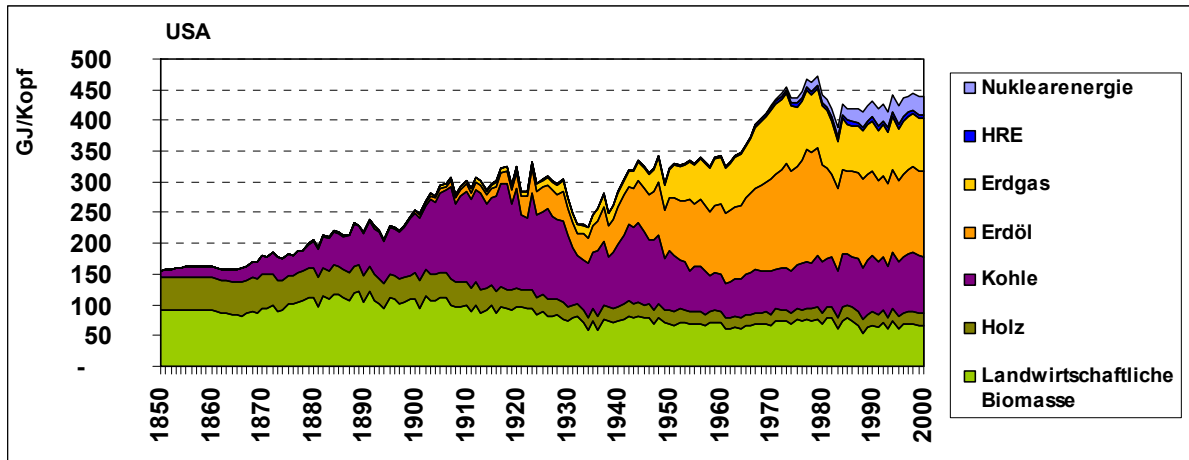
Der Prozess der Industrialisierung und damit der sozialmetabolischen Transition nahm im Vereinigten Königreich seinen Ausgangspunkt, die USA haben diesen Prozess viel später begonnen, aber in der zweiten Hälfte des 19. Jh. rasch aufgeholt und letztlich das Vereinigte Königreich überholt. In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Entwicklungen der Material- und Energieflüsse in den beiden Ländern im Kontext der sozialmetabolischen Transformation diskutiert. In Abbildung 32 ist der DEC pro Kopf für die USA und das Vereinigte Königreich von 1850 bis 2000 vergleichend dargestellt. Es wurde in den beiden Grafiken dieselbe Skalierung verwendet, um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Die Kategorien Holz und landwirtschaftliche Biomasse sind in der Grafik zum Vereinigten Königreich zur Kategorie Biomasse zusammengefasst⁶⁷. Aufgrund der Datenverfügbarkeit für das Vereinigte Königreich wird der Zeitraum von 1850 bis 2000 dargestellt.

⁶⁷ Holz spielt im DEC des Vereinigten Königreiches in diesem Zeitraum von 1850 bis 2000 eine sehr untergeordnete Rolle (vgl. Sieferle 1982).

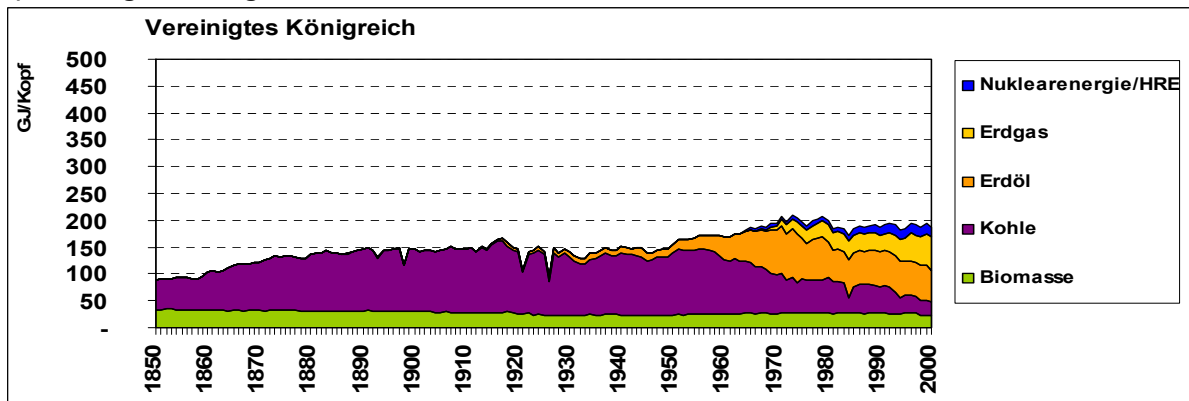
Abbildung 32: DEC/Kopf in den USA und den Vereinigten Staaten von 1850 bis 2000.

a) USA



Quelle: EFA

b) Vereinigtes Königreich



Quelle: eigene Darstellung nach Krausmann et al. 2003

Gemeinsam ist beiden Ländern, dass der gesamte Primärenergieverbrauch pro Person im Laufe dieses Zeitraumes deutlich anstieg. In den 1970er Jahren gab es in beiden Ländern so etwas wie einen Peak im Energieverbrauch pro Person. Im Vereinigten Königreich betrug dieser im Jahr 1973 211 GJ, in den USA lag er im selben Jahr bei 454 GJ. Weiters ist den beiden Ländern gemeinsam, dass es so etwas wie eine bestimmte Abfolge der Leitenergieträger (bzw. Leitenergiequellen im Falle der Non-Carbons) gab. Die erste war die Biomasse⁶⁸, daran schloss die Kohle an, schließlich kamen Erdöl und Erdgas. Eine weitere Gemeinsamkeit in beiden Ländern ist, dass die Energieträger, sobald sie ihre Rolle als Leitenergieträger verloren, nicht verschwunden sind, sondern weiterhin genutzt wurden und es somit über die Zeit zu einem immer größeren Mix an Energieträgern kam.

Was sind bedeutende Unterschiede im Primärenergieverbrauch pro Kopf in den beiden Ländern? Zum einen unterscheidet sich generell die Größe des DEC pro Kopf. In den USA war dieser über den gesamten Zeitraum hinweg viel höher. Im Vereinigte Königreich lag der DEC pro Kopf im Jahr 1850 bei 89 GJ und

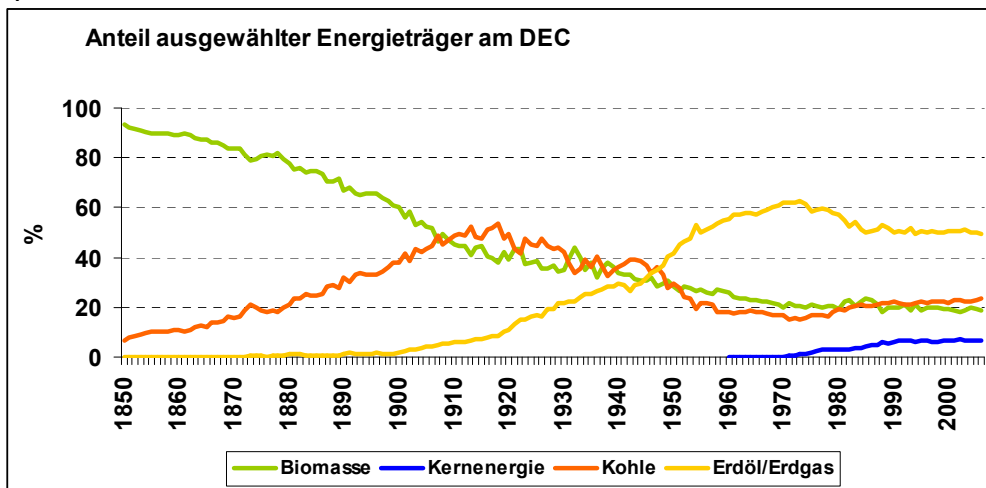
⁶⁸ In der Grafik zum Vereinigten Königreich nicht ersichtlich, da die Zeit in der die Biomasse hier Leitenergieträger war, deutlich vor 1850 liegt (Krausmann et al. 2008a).

verdoppelte sich in den folgenden 150 Jahre (189 GJ DEC pro Kopf im Jahr 2000). In den USA hingegen lag der Energieverbrauch um 1850 bereits bei 155 GJ pro Kopf, also um 74% über dem Vereinigten Königreich, obwohl die USA zu diesem Zeitpunkt in der ökonomischen Entwicklung weit hinter dem VK lag und der überwiegende Teil, nämlich 93% des DEC in den USA im Jahr 1850 die Biomasse ausmacht. Das BIP pro Kopf war um 1850 in den USA um rund 20% geringer. Der Unterschied des DEC pro Kopf vergrößerte sich im Laufe der Zeit. In den USA erreichte der DEC pro Kopf bis zum Jahr 2000 444 GJ.

Ein weiterer Unterschied zwischen diesen beiden Ländern ist, dass die auf Kohlenutzung basierte Phase der Industrialisierung und die auf der Nutzung von Erdöl/Erdgas basierte Phase der Industrialisierung zu unterschiedlichen Zeiten einsetzten und verschiedene Intensitäten aufwiesen.

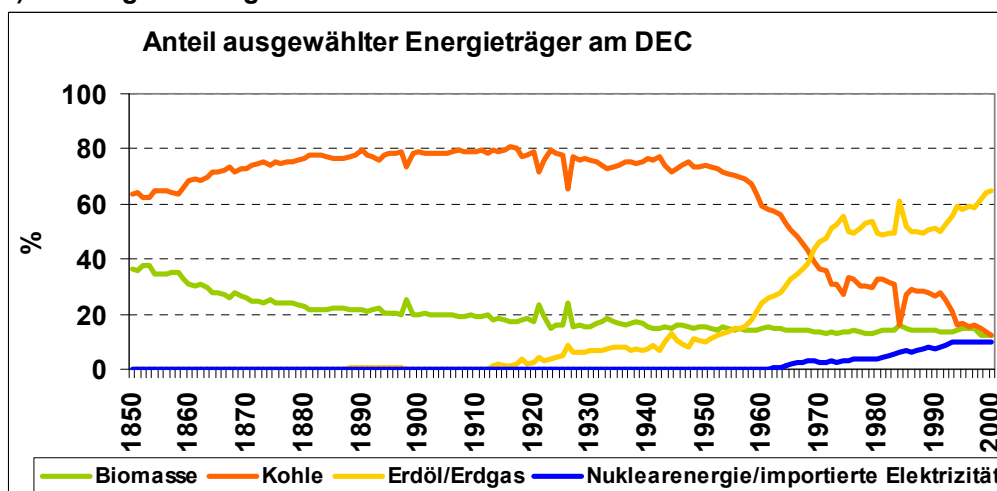
Abbildung 33: Vergleich der Anteile ausgewählter Energieträger am DEC zwischen den USA und dem VK.

a) USA 1850 - 2005



Quelle: EFA

b) Vereinigtes Königreich 1850 - 2000



Quelle: eigene Darstellung, Daten nach Krausmann et al. 2003

In Abbildung 33 sind die Anteile ausgewählter Energieträger am Gesamten DEC für die USA und das Vereinigte Königreich dargestellt. Im Jahr 1850 betrug der Anteil der Kohle am DEC im Vereinigten Königreich bereits über 60%. Einen derartig hohen Anteil am DEC erreichte die Kohle in den USA im betrachteten Zeitraum nicht. Dort lag das Maximum bei 53% im Jahr 1918. In der Logik der Phaseneinteilung aus Kapitel 4.2.2 befand sich das Vereinigte Königreich um 1850 mitten in der Phase des auf Kohle basierten Wachstums. Diese Phase hielt im Vereinigten Königreich bis zum Jahr 1890 an, in dem die Kohle zum ersten Mal die Höchstmarke von 80% Anteil am DEC erreichte. Die Industrialisierung war um 1850 im Vereinigten Königreich bereits voll im Gang. Im Jahr 1870 betrug der Kohleverbrauch 3.175 kg pro Kopf im Vereinigten Königreich, im Vergleich zur USA wo dieser Wert im selben Jahr lediglich bei 926 kg pro Kopf lag (siehe Tabelle 13) Die Stahlproduktion machte im VK 194 kg pro Kopf im Jahr 1870 aus. In den USA lag sie zu der Zeit noch in den Kinderschuhen mit 1,75 kg pro Kopf. Und obwohl die USA erst am Anfang der Industrialisierung standen und der Anteil der Biomasse am DEC im Jahr 1884 noch 78% ausmachte, war der DMC pro Kopf im Jahr 1884 höher als im Vereinigten Königreich. In den USA betrug dieser 14 Tonnen pro Kopf, im Vereinigten Königreich dagegen 8,5 Tonnen pro Kopf. Der Anteil der Biomasse am DEC war in den USA durchwegs um einiges höher als im VK. In den USA viel dieser von 93% im Jahr 1850 auf 19% im Jahr 2000, im VK viel dieser von 37% auf 12% im selben Zeitraum.

Tabelle 13: Vergleich ausgewählter Indikatoren zwischen der USA und dem VK.

	1850*		1910		1950		2000*	
	VK	USA	VK	USA	VK	USA	VK	USA
DEC/cap [GJ/cap/a]	89	155	148	289	153	322	189	444
DMC/cap [mt/cap/a]	8,5* ^I	14* ^I	8,4	18	11,6	20	12* ^{III}	27* ^{III}
BIP/cap [Int-\$/cap/a]	2301	1831	4611	4983	6827	9436	19890	28.183
Bevölkerungsdichte [cap/km ²]	87	2,4	143	10	210	16	247	30
Anteil Biomasse am DMC [% des DMC]	41* ^I	78* ^I	19	49	15	30	12	21
Kohleverbrauch [kg/cap/a]	3175* ^{II}	926* ^{II}	4505	4793	4101	3123	921	3271
Stahlproduktion [kg/cap/a]	194* ^{II}	1,75* ^{II}	226	256	327	569	198	358
Motorisierung [Auto/1000 cap]	-	-	2	5	65	261	438	469

* wenn nicht anders angegeben

*^I 1884

*^{II} 1870

*^{III} 1997

Quelle: eigene Darstellung, Daten zum VK aus Krausmann et al. 2008a, persönliche Kommunikation, Daten zur USA: MEFA, U.S. Bureau of the Census 1975 Part I, II, Kelly et al. 2008, DOT 2010, Maddison 2008, IEA 2007,

Die auf Kohlenutzung basierte Phase der Industrialisierung setzte im Vereinigten Königreich viel früher ein als in den USA, erreichte höhere Ausmaße und dauerte viel länger. Was für die USA als Umbruchsphase bezeichnet wurde, kann im Vereinigten Königreich die Phase des Kohle dominierten Systems bezeichnet werden. Diese dauerte im Vereinigten Königreich bis zum Jahr 1963, da 1964 der Anteil von Erdöl und Erdgas zum ersten Mal über 30% des DEC ausmachten. Die USA haben in der Zwischenzeit im Industrialisierungsprozess aufgeholt und das Vereinigte Königreich überholt. Im Jahr 1910 betrug das BIP pro Kopf in den USA 4.983 \$ pro Kopf im Vergleich zu 4.611 \$ pro Kopf im VK (siehe Tabelle 13). Die Stahlproduktion machte im selben Jahr in den USA 256 kg pro Person aus, im VK waren es 226 kg pro Person. Auch die Kohlenutzung war in den USA etwas höher als im VK (4.793 kg pro Kopf im Vergleich zu 4.505 kg pro Kopf). Bis zum Jahr 1950 weitete sich dieser Unterschied zwischen dem VK und den USA aus. Die USA befanden sich bereits seit 1945 in der Phase des auf Erdöl/Erdgas basierten Wachstums. Im Jahr 1950 gab es bereits 261 Autos pro 1.000 EinwohnerInnen in den USA, im Vereinigten Königreich waren es hingegen 65. Die Nutzung von Erdöl und Erdgas trat im Vereinigten Königreich viel später (ab ca. 1913⁶⁹) in Erscheinung. Erst in den 1950er Jahren begann diese drastisch zu wachsen.

Die Phase des auf Erdöl/Erdgas basierten Wachstums, nach denselben Abgrenzungskriterien wie in Kapitel 4.2.2, würde im VK wie bereits erwähnt im Jahr 1964 beginnen. Wäre das Abgrenzungskriterium nicht bei 30% Anteil Erdöl/Erdgas, sondern bei 10% wäre diese Phase in den USA bereits im Jahr 1919 erreicht und im Vereinigten Königreich im Jahr 1950. Da aber für die Phaseneinteilung nicht nur der Anteil der Energieträger am DEC ausschlaggebend war, sondern auch andere Indikatoren (z.B. DMC/cap/a) eine Rolle spielten, wurde das Abgrenzungskriterium mit 30% festgelegt. Diese Phase endete im Vereinigten Königreich auch im Jahr 1973 mit dem ersten Ölpreisschock. Im Gegensatz zur USA begann im Vereinigten Königreich der Anteil der Kohle am DEC nicht wieder zu wachsen, sondern sank drastisch ab und erreichte im Jahr 2000 einen Wert von 12%. Der Kohleverbrauch betrug im Jahr 2000 im VK 921 kg pro Kopf. In den USA war dieser mit 3.271 kg pro Kopf über 3,5-mal so hoch (siehe Tabelle 13). Dahingegen begann im VK der Anteil von Erdöl und Erdgas wieder zu wachsen und erreichte im Jahr 2000 einen Wert von 65%. In den USA lag dieser Wert im Jahr 2000 bei 50%. Bei der Motorisierung holte das Vereinigte Königreich im Vergleich zum Jahr 1950 auf. Im Jahr 2000 gab es im VK 438 Autos pro 1.000 EinwohnerInnen, in den USA waren es 469.

Was könnten Gründe für die Unterschiede im sozialen Metabolismus des Vereinigten Königreiches und der USA sein? Rogich et al. (2008) nennen als Gründe für den durchwegs höheren DMC pro Kopf der USA im Vergleich zu europäischen Ländern Unterschiede in der Geographie, der Ressourcenverfügbarkeit, der Bevölkerungsdichte, als auch Unterschiede im Lebensstil und ein anderes Konsumverhalten.

Beide Länder weisen eine sehr unterschiedliche Bevölkerungsentwicklung auf (siehe Anhang, Abbildung 37). Im besagten Zeitraum (1850 bis 2005) verdoppelte sich die Bevölkerung im Vereinigten Königreich, in den USA wuchs die Bevölkerung um das 12,9-fache im selben Zeitraum an. Im Jahr 1856 gab es mit

⁶⁹ Der DEC von Erdöl scheint zum ersten Mal im Jahr 1884 auf (Krausmann et al. 2003).

ca. 28 Mio. Menschen in den USA und dem Vereinigten Königreich ca. gleich viele EinwohnerInnen (vgl. Anhang, Abbildung 37) Wenn davon ausgegangen wird, dass mehr Menschen auch mehr Energie benötigen, kann angenommen werden, dass der Energieverbrauch in den USA viel schneller angestiegen sein muss, als im Vereinigten Königreich. Ein weiterer großer Unterschied zwischen diesen beiden Ländern ist die Fläche. Die USA ist flächenmäßig im Jahr 2005⁷⁰ ca. 40-mal so groß wie das Vereinigte Königreich. Daraus ergibt sich eine große Differenz in der Bevölkerungsdichte dieser beiden Länder, welche im Laufe der Zeit noch weiter angewachsen ist. Lebten in den USA um 1850 weniger als 3 Personen pro km², so waren es im Vereinigten Königreich bereits fast 90 Personen (siehe Tabelle 13). Bis zum Jahr 2000 ist die Bevölkerungsdichte in den USA auf 30 Personen pro km² angestiegen und im Vereinigten Königreich auf über 247 Personen pro km².

Die wirtschaftliche Entwicklung, gemessen in BIP pro Kopf, verlief in beiden Ländern ähnlich (siehe Anhang, Abbildung 38). Das BIP pro Kopf betrug im Jahr 1850 im Vereinigten Königreich 2.301 \$ pro Kopf, in den USA lag es bei 1831 \$ pro Kopf. Im Jahr 1901 überholte der Wert des BIP pro Kopf der USA erstmals jenen des UK. Der Einbruch während der Wirtschaftskrise Anfang der 1930er Jahren war im Vergleich zu den USA im Vereinigten Königreich kaum zu spüren. Gegen Ende des zweiten Weltkrieges kam es in den USA zu einem enormen Anstieg des BIP pro Kopf. Im Vereinigten Königreich war das BIP pro Kopf sowohl im ersten als auch im zweiten Weltkrieg rückläufig. Nach dem zweiten Weltkrieg wuchs das BIP pro Kopf in den USA schneller als im Vereinigten Königreich. Im Jahr 2000 betrug das BIP pro Kopf in den USA 28.183 \$/Kopf und im Vereinigten Königreich 19.890 \$/Kopf.

Wie kam es zu dem enormen Unterschied im Pro Kopf Verbrauch von Primärenergie bei der Biomasse? Ein Grund dafür könnte die Ressourcenausstattung der beiden Länder sein. Die USA ist ein Land mit einer sehr großen Fläche. Und der überwiegende Teil dieser Fläche ist für landwirtschaftliche Produktion sehr gut geeignet. Als die SiedlerInnen in den USA im 19. Jahrhundert immer weiter gegen Westen zogen um dort Landwirtschaft zu betreiben, standen ihnen sehr fruchtbare Böden zur Verfügung (vgl. Cunfer et al. 2009). Um 1850 herum betrug der Anteil an Waldland an der Gesamtfläche des Vereinigten Königreichs lediglich 3 % (Quelle: Krausmann et al. 2003, persönliche Kommunikation). In den USA machte im Jahr 1880⁷¹ der Anteil an Wald ca. ein Drittel der gesamten Fläche aus (vgl. U.S. Bureau of the Census 1975). Die USA avancierte schnell zu einem Netto-Exporteur von Biomasse (siehe Kapitel 3.1.2) Das Vereinigte Königreich war hingegen (seit 1850) durchgängig Netto-Importeur von Biomasse (Schandl et al. 2002a) In den USA steht viel mehr für die Landwirtschaft geeignete Fläche pro BewohnerIn zur Verfügung als im Vereinigten Königreich. Im Jahr 1850 standen in den USA pro Kopf 5 ha landwirtschaftliche Fläche zur Verfügung. Im Vereinigten Königreich betrug dieser Wert nur etwa 0,9 ha. Höhere Verfügbarkeit von Land und Biomasse sind notwendige Bedingungen

⁷⁰ Im relevanten Zeitraum gab es Veränderungen in den Landesflächen der beiden Länder. Im Größenverhältnis zwischen den beiden Ländern ist vor allem die Abspaltung von Irland im Jahr 1923 von Bedeutung. Die Fläche vom VK schrumpfte von 314.672 km² auf 240.860 km². Obwohl es politische Flächenvergrößerungen gab, in den USA wurde in den Berechnungen in dieser Studie durchgängig mit der heutigen Fläche der USA gerechnet.

⁷¹ Vollständige Daten stehen für die USA erst ab 1880 zur Verfügung. Im Vereinigten Königreich macht der Anteil des Waldes an der gesamten Fläche 4 % aus.

für ein anderes Agrarsystem mit mehr Viehwirtschaft. Ein entscheidender Faktor für diesen enormen Unterschied in der Biomasse stellt wohl die Anzahl der Nutztiere, und hier vor allem die der Rinder, dar. Im Jahr 1867 gab es in den USA fast 29 Mio. Rinder (U.S. Bureau of the Census 1975), im Vereinigten Königreich hingegen lediglich knapp 9 Mio. Rinder (Quelle: Krausmann et al. 2003, persönliche Kommunikation). Das sind weniger als ein Drittel an Rindern im Vereinigten Königreich. Werden alle bedeutenden Nutztiere einbezogen hatte die USA im Jahr 1867 über 46 Mio. Großvieheinheiten (GVE)⁷² und das Vereinigten Königreich über 13,5 Mio. GVE. Im Jahr 1997 waren es 106,5 Mio. GVE in den USA und über 16 Mio. GVE im VK. Im Laufe des betrachteten Zeitraumes ist dieser Unterschied zwar kleiner geworden, aber er blieb dennoch bestehen. Der Viehbestand ist ein wichtiger Faktor hinter der Höhe des Biomasseumsatzes, da zur Erhaltung von Nutztvieh und für die tierische Produktion sehr große Mengen an Futterbiomasse erforderlich sind. Je höher der Viehbestand, umso höher in der Regel daher auch der Biomassebedarf (siehe Krausmann et al 2008c).

Welche Faktoren könnten einen Einfluss auf die Höhe des DEC der fossilen Energieträger haben? Hier könnten die von Rogich et al. (2008) sogenannten Unterschiede im Lebensstil und Konsumverhalten eine Rolle spielen. Über zwei Drittel des Erdölverbrauches in den USA fiel im Jahr 2000 im Transportsektor an (EIA 2009). Im Jahr 2000 machte in den USA Benzin („motor gasoline“) 47% der gesamten Produkte aus Erdölraffinerien aus (eigene Berechnungen nach IEA 2007). Für das Vereinigte Königreich beträgt dieser Wert 30%. Im Vereinigten Königreich wurden im Jahr 2000 363 kg Benzin pro Kopf verbraucht, in den USA ist dieser Wert 3,5-mal so hoch – hier wurden 1271 kg Benzin pro Kopf verbraucht (eigene Berechnungen nach IEA 2007). Schipper (2004) kommt in einem internationalen Vergleich zur Energienutzung zum Ergebnis, dass in den USA höhere Distanzen pro Jahr mit dem Autor gefahren werden und dass es eine höhere Rate an AutobesitzerInnen in Relation zum BIP gibt, als in den Vergleichsländern⁷³. Weiters stellt er fest, dass in den USA die Treibstoff Intensität (Liter Treibstoff pro 100 gefahrenen Kilometer) der Autos am höchsten ist. Als Gründe nennt er unter anderem die geringe Besteuerung von Benzin und in der Folge niedrigeren Preise für Treibstoffe. Newman et al. (1991) stellen fest, dass für die Höhe des Benzinkonsum neben ökonomischen Faktoren, wie dem Einkommen, der Treibstoffeffizienz und den Benzinpreisen auch die Bevölkerungsdichte in Städten, räumliche Siedlungsmuster und Lebensstile eine Rolle spielen. Vor allem US amerikanische Städte weisen eine niedrige Bevölkerungsdichte (unter 25 Personen pro ha im Jahr 1980) und einen hohem Benzinverbrauch pro Kopf (über 40.000 MJ/cap im Jahr 1980) aus (Newman et al. 1991: 48).

In den USA fielen im Jahr 2000 ca. 92% des Kohleverbrauches für die Elektrizitätserzeugung an (EIA 2009). Der größte Anteil der Elektrizität (34%) wurde in den USA im Jahr 2000 in den privaten Haushalten konsumiert. Im Vereinigten Königreich wurden im Jahr 2000 auch 34% der Elektrizität in privaten Haushalten konsumiert. Insgesamt lag der Verbrauch von Elektrizität im Vereinigten Königreich im Jahr 2000 bei 20 GJ pro Kopf. In den USA ist dieser

⁷² Zur Berechnung der Großvieheinheiten wurden dieselben Faktoren verwendet wie in Krausmann et al. 2003.

⁷³ Deutschland, Dänemark, Schweden, die Niederlande, das Vereinigte Königreich und Japan (Schipper 2004: 548)

Wert mehr als doppelt so hoch. Hier liegt der Verbrauch von Elektrizität bei 44 GJ pro Kopf. Schipper (2004) stellt in seiner Studie zur Energienutzung fest, dass in den USA in den privaten Haushalten im Vergleich zu den anderen Ländern⁷⁴ am meisten Energie (um die 42 GJ/Kopf Endnutzungsenergie in Form von Elektrizität und Treibstoffen) verbraucht wird (siehe Anhang, Abbildung 39). Er erklärt das damit, dass in den USA die Häuser im Durchschnitt größer sind als in den anderen Ländern und die Haushaltsgeräte ineffizienter (unter anderem weil sie größer sind) (ebd.).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Vereinigte Königreich Ausgangspunkt für das auf der Nutzung von Kohle basierten Regimes, welches auf einer Kombination von Eisenbahn, Dampfmaschine, Kohlenutzung und Stahlproduktion beruht (Grübler 1992, McNeill 1992), war. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist in den USA ein neues technologisches Cluster (Grübler 1992) bzw. Agglomerat (McNeill 2000), beruhend auf der Kombination von Erdöl, Elektrizität, Fließband, Automobil und petrochemischer Industrie verbunden mit einer bestimmten Form der sozialen Organisation, welche überbordenden Konsum für die breite Masse ermöglichte, entstanden.

Arnulf Grübler (1992) beschreibt die Entwicklung neuer technologischer Cluster als langwierigen Prozess, welcher in bestimmten „Kernländern“ initiiert wird. Andere Länder eignen sich später unter bestimmten Voraussetzungen die neuen Technologien an, allerdings mit einer viel höheren Geschwindigkeit als die ursprünglichen „Kernländer“. Die Intensität der „Aneignung“ in den Nachfolgeländern ist meist viel geringer als in den Ausgangsländern. Entsteht wiederum ein neues soziotechnologisches Cluster benötigen die vormaligen „Kernländer“ mehr Zeit um das neue System zu „adaptieren“, da ihr System auf das „alte“ Cluster eingestellt ist. (vgl. Grübler 1992, Nakićenović et al. 1991) Mit der Entstehung eines Energiesystems, welches auf der Nutzung von Kohle beruht, wurde im Vereinigten Königreich ein bestimmter Pfad eingeschlagen. Die Nutzung von Kohle als hauptsächlichen Energieträger geht mit einer Reihe von darauf abgestimmten sozioökonomischen Strukturen einher. Eine wichtige Rolle nimmt dabei das auf der Dampfmaschine basierte Transportsystem ein.

Die gesellschaftlichen Strukturen sind derart stark auf das bestehende energetisch-technologische Cluster ausgerichtet, dass die Durchsetzung eines neuen Energiesystems im Vereinigten Königreich erst einige Zeit später als in den USA von statten ging, dann allerdings viel schneller. Die USA haben den Pfad eines auf der Nutzung von Erdöl und Erdgas basierten technologischen Clusters eingeschlagen. Die sozioökonomischen Strukturen sind darauf ausgerichtet. Die Verknappung fossiler Energieträger und die Absicht etwas gegen den Klimawandel zu unternehmen, machen es notwendig, dass in Zukunft der Verbrauch fossiler Energieträger eingeschränkt wird. Ein neues Energiesystem wird notwendig sein. Die Frage dabei ist, ob und wie es gelingt den eingeschlagenen Pfad, welcher zu einem ressourcenintensiven Umgang mit natürlichen Ressourcen geführt hat (Krausmann, Kowalski 2010), zu verlassen bzw. zu verändern. Der Blick in die Vergangenheit lässt es wahrscheinlich erscheinen, dass die Impulse der Veränderung nicht aus den USA sondern anderswoher kommen werden.

⁷⁴ EUR-4, Japan, Kanada, Australien, Dänemark (Schipper 2004: 540).

Für die Unterschiede im sozialen Metabolismus der USA und des VK spielen die Ressourcenausstattung, die Bevölkerungsdichte, die wirtschaftliche Entwicklung und jeweilige Konsumstile, die historische Entwicklung, welche zu bestimmten Pfadabhängigkeiten führt und die jeweiligen Schlüsseltechnologien eine wichtige Rolle.

5 Schlussbetrachtung

Ausgangspunkt der Arbeit war die Darstellung der langfristigen Trends der Material- und Energieflüsse in den USA von 1850 bis 2005 und diese im größeren Kontext der Transition zu einem industrialisierten sozialmetabolischen Regime zu diskutieren. Darauf aufbauend wurden vier explizite Forschungsfragen formuliert. In einem einleitenden Kapitel wurden dazu mehrere Detailfragen aufgeworfen. In dieser abschließenden Zusammenschau soll eine gemeinsame Betrachtung stattfinden.

Doch zunächst ein paar Fakten: die DE von Materialien ist im Zeitraum von 1870 bis 2005 um das 16-fache angestiegen. Im selben Zeitraum ist die DE von Primärenergie um das 14-fache angestiegen. Die DE von Primärenergie hat von 1850 bis 2005 um den Faktor 27 zugenommen. Der DMC pro Kopf war im Jahr 2005 2,4-mal so groß wie noch im Jahr 1870, der DEC pro Kopf ist im selben Zeitraum um den Faktor 2,5 angestiegen. In den USA wurden im Jahr 2005 durchschnittlich 27 Tonnen Material pro Kopf verbraucht bzw. 441 GJ Energie genutzt. Im Vergleich dazu betrug der DMC pro Kopf im Vereinigten Königreich im Jahr 2000 ca. 12 Tonnen pro Kopf und der DEC pro Kopf ca. 189 GJ.

Der massive Anstieg des Material- und Energieverbrauches von 1850 bis 2005 verlief nicht gleichmäßig. Es gab Phasen wo dieser schneller ansteigt, wo er langsamer ansteigt oder stagniert und es gab sogar (kurze) Zeiten eines rückläufigen Material- und Energieverbrauches. Der Anteil einzelner Material- und Energiegruppen zum Gesamtverbrauch veränderte sich in dieser Zeit. Es gab eine Entwicklung von einem hauptsächlich von Biomasse dominierten Stoffwechsel hin zu einem erweiterten Metabolismus, den nicht erneuerbare Ressourcen dominieren. Bei den Leitenergieträgern gab es einen Wechsel von Biomasse zu Kohle zu Erdöl/Erdgas als dominante Energieträger. Diese Entwicklungen sind, wird der Zeitfaktor außer Acht gelassen, charakteristisch sowohl für die USA wie auch das VK und letztlich für alle Industriegesellschaften. Was ist das Spezifische der USA?

Der Vergleich mit anderen sozioökonomischen Einheiten und hier vor allem mit dem Vereinigten Königreich, sollte darüber Aufschluss geben. Der zweite große Abschnitt der industriellen Transformation, damit ist der Übergang zu einem Erdöl/Erdgas basierten Regime gemeint, hatte seinen Ausgangspunkt in den USA. Das geschah in der in dieser Arbeit als Umbruchphase bezeichneten Periode. Das Automobil und die chemische Industrie sind zwei Schlüsselsektoren dieses neuen Regimes. Die Industrialisierung der Landwirtschaft nahm in dieser Phase ihren Anfang. Die Nutzung von Elektrizität begann immer größere Ausmaße anzunehmen. In dieser Phase wurden die Grundsteine für das neue sozioökonomische Modell der Massenproduktion für den Massenkonsum gelegt. Ein Modell, welches sich in der zweiten Hälfte des 20. Jh. auf weite Teile der Welt ausbreitete. Das Vereinigte Königreich (und das weitere Europa) war in dieser Zeit von 1919 bis 1950 geprägt von politischen Konflikten und Kriegen, erst danach begann sich auch hier das neue Regime durchzusetzen. In den USA war in dieser Periode die Wirtschaftskrise Anfang der 1930er Jahre viel prägender für das

sozialmetabolische Muster. Diese markierte in vielerlei Hinsicht einen Wendepunkt, welcher sich auch im Material- und Energieverbrauch widerspiegelt. Offen bleibt die Frage, wohin der seit der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eingeschlagene Weg führen wird. Aktuelle Diskussionen um den Klimawandel und die Endlichkeit fossiler Energieträger lassen einen erneuten Wandel der energetischen Basis der (Industrie-) Gesellschaft unausweichlich erscheinen. Der Höhepunkt, sowohl des Material- als auch des Energieverbrauches pro Kopf wurde in den USA bereits in den 1970er Jahren erreicht. Ein Blick auf den DEC der kohlenstofffreien Energieträger hat gezeigt, dass diese in den USA im Jahr 2005 lediglich ca. 8% des gesamten Energieverbrauches abdeckten. Die aktuelle Wirtschaftskrise könnte das Potential für einen Wandel in sich tragen. Überlegungen zu einer gewissen Abhängigkeit des eingeschlagenen Pfades lassen dies wiederum unwahrscheinlicher erscheinen.

6 Literatur

- Abraham, H., 1945. Asphalts and allied substances. Their occurrence, modes of production, use in the arts and methods of testing. Volume One: Raw materials and manufactured products. D. van Nostrand, New York.
- Adams, W.P., 2008. Die USA im 20. Jahrhundert. Oldenbourg Verlag, München.
- Adams, W., 2009. Die USA vor 1900. Oldenbourg Verlag, München.
- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., Schütz, H., 1997. Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies. World Resources Institute, Washington DC.
- Ayres, R.U., Ayres, L.W., 2002a. Handbook of Industrial Ecology. Edward Elgar, Cheltenham, UK and Lyme, US.
- Ayres, R.U., 2002b. Resources, Scarcity, Technology and Growth. INSEAD, Fontainebleau.
- Ayres, R.U., Warr, B., Ayres, L.W., 2003. Exergy, power and work in the US Economy, 1900-1998. Energy, 28 (3), 219-273.
- Behrens, A., Giljum, S., Kovanda, J., Niza, S., 2007. The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. Ecological Economics, 64 (2), 444-453.
- Bringezu, S., Moriguchi, Y., 2002. Material flow analysis. In: Ayres, R.U. and Ayres, L.W. (Eds.), A Handbook of Industrial Ecology. Edward Elgar, Cheltenham, Northampton, pp. 79-91.
- Carter, S.B., 2006. Historical Statistics of the United States. Earliest Times to the Present. Part C: Economic Structure and Performance. University Press, Cambridge.
- Cleveland, C.J., 1995. The Direct and Indirect Use of Fossil Fuels and Electricity in USA Agriculture, 1910-1990. Agriculture, Ecosystems & Environment, 55 (2), 111-121.
- Cottrell, F., 1955. Energy and Society. The Relation between Energy, Social Change, and Economic Development. McGraw-Hill Book Company, New York, Toronto, London.
- Cronon, W., 1992. Natures Metropolis. Chicago and the great west. Norton, New York [u.a.].
- Cunfer, G., Krausmann, F., 2010. Sustaining soil fertility. Agricultural practice in the old and new worlds. Global Environment, 4, 9-43.
- Cunfer, G., 2005. On the Great Plains: Agriculture and Environment. Texas A&M University Press, College Station.
- Daly, H.E., Farley, J., 2004. Ecological Economics - Principles and Applications. Island Press, Washington, D.C.
- Daniels, P.L., Moore, S., 2001. Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies, Part I: Methodological Overview. Journal of Industrial Ecology, 5 (4), 69-93.
- DNR - DOG Alaska Department of Natural Resources, D.o.O.a.G., 2009. Alaska Oil and Gas Report.
- DOE U.S.Department of Energy. Biomass Mulit-Year Programm Plan. Office of the Biomass

- programm. 2010. 1-6-2010.
- DOT U.S.Department of Transportation and RITA Research and Innovative Technology Administration. National Transportation Statistics 2010. 2010. 20-5-2010.
- EIA U.S.Energy Information Administration. International Energy Anual 2006. 2008. 5-5-2010.
- EIA U.S.Energy Information Administration. History of Energy in the United States 1635-2000. 2009. 20-5-2010.
- Erb, K.-H., Haberl, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzar, C., Steinberger, J.K., Müller, C., Bondeau, A., Waha, K., and Pollack, G. Eating the planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely - a scoping study. Report commissioned by Compassion in World Farming and Friends of the Earth, UK. [116], 1-132. 2009. Vienna, Potsdam, Institute of Social Ecology and PIK Potsdam. Social Ecology Working Paper. 19-4-2010.
- ERS - Economic Research Service, 2000. A History of American Agriculture 1607-2000. Washington DC.
- Eurostat, 2007. Economy-wide Material Flow Accounting. A Compilation Guide. European Statistical Office, Luxembourg.
- FAO, 2005. FAOSTAT 2005, FAO Statistical Databases: Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition. FAO, Rome.
- FAO, 2006. FISHSTAT Plus. Universal software for fishery statistical time series. Version 2.3. Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit, Rome.
- FAO, 2009. FAOSTAT 2009. Food and Agriculture Organization (FAO)-
<http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor>, Rom.
- Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Hüttler, W., Payer, H., Schandl, H., Winiwarter, V., Zangerl-Weisz, H., 1997. Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur. Ein Versuch in Sozialer Ökologie. Gordon & Breach Fakultas, Amsterdam.
- Giddens, A., 2001. Sociology. Forth Edition. Polity Press, Cambridge.
- Grübler, A., 1992. Technology and global change. Land-use, past and present. IIASA, Laxenburg.
- Grübler, A., 2004. Transitions in Energy Use. In: Cleveland, C.J. (Eds.), Encyclopedia of Energy. Elsevier, Amsterdam, pp. 163-177.
- Haberl, H., 2001a. The Energetic Metabolism of Societies, Part I: Accounting Concepts. Journal of Industrial Ecology, 5 (1), 11-33.
- Haberl, H., 2001b. The Energetic Metabolism of Societies, Part II: Empirical Examples. Journal of Industrial Ecology, 5 (2), 71-88.
- Haberl, H., 2002. Economy-Wide Energy Flow Accounting. In: Schandl, H., Grünbühel, C.M., Haberl, H. and Weisz, H. (Eds.), Handbook of Physical Accounting. Measuring Bio-Physical Dimensions of Socio-Economic Activities. MFA - EFA - HANPP. Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Vienna, pp. 30-48.
- Haberl, H., Weisz, H., Amann, C., Bondeau, A., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., 2006. The energetic metabolism of the EU-15 and the USA. Decadal energy input time-series with an emphasis on biomass. Journal of Industrial Ecology, 10 (4), 151-171.
- Houghton, R.A., Hackler, J.L., 2000. Changes in terrestrial carbon storage in the United States. 1:

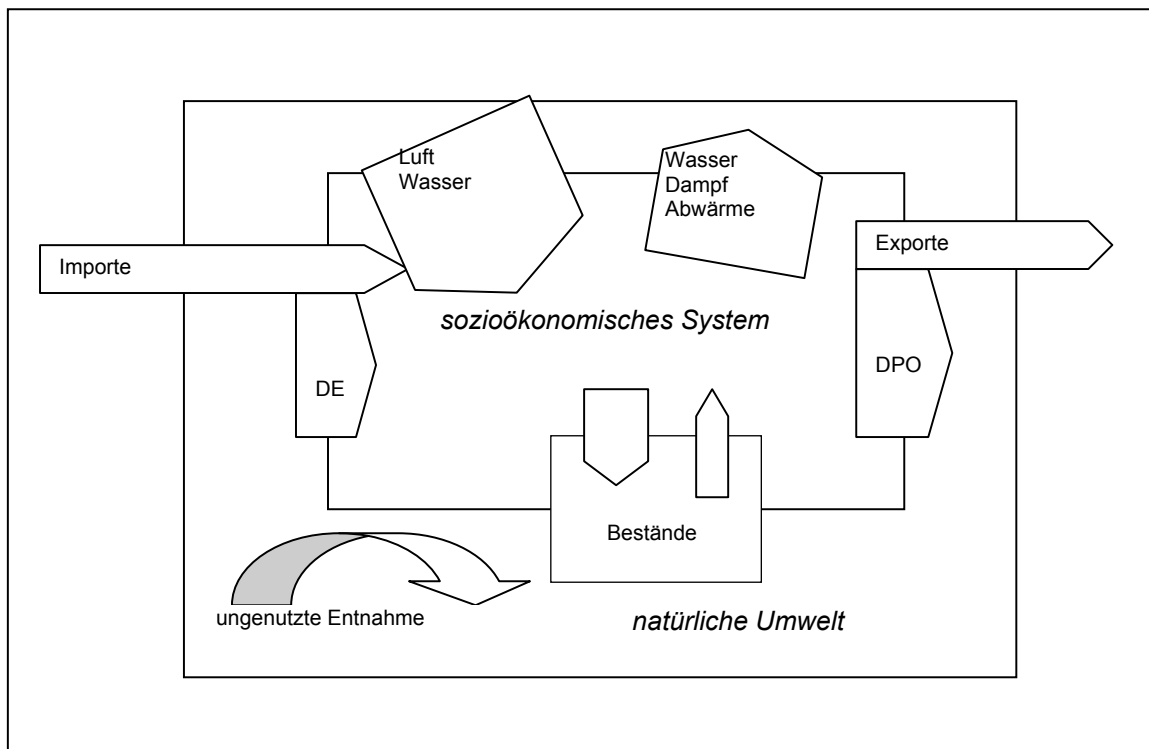
- The roles of agriculture and forestry. *Global Ecology and Biogeography*, 9 (2), 125-144.
- Howard, J.L., 2007. US timber production, trade, consumption and price statistics, 1965 to 2005, research paper FPL-RP-637. U.S. Department of Agriculture, Forest Service,
- IEA. Energy Statistics of OECD Countries, 2004-2005 -- 2007 Edition. CD-ROM . 2007. Paris, International Energy Agency (IEA), Organisation of Economic Co-Operation and Development (OECD). 10-1-2008.
- K.K.Ackerbauministerium, 1900. Das Getreide im Welthandel: I Statistische Tabellen über Production, Handel, Consum, Preise, Frachtsätze und Kündigungen. K. Frick, Wien.
- Kelly, T.D., Matos, G.R., 2008. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States. Version 3.0. United States Geological Survey,
- Kiessling, O.E., 1933. Minerals Yearbook 1932-1933. United States Government Printing Office, Washington.
- Krausmann, F., 2001. Land Use and Industrial Modernization: an empirical analysis of human influence on the functioning of ecosystems in Austria 1830 - 1995. *Land Use Policy*, 18 (1), 17-26.
- Krausmann, F., Haberl, H., 2002. The process of Industrialization from an energetic metabolism point of view. Socio-economic energy flows in Austria 1830-1995. *Ecological Economics*, 41, 177-201.
- Krausmann, F., Schandl, H., Schulz, N.B., 2003. Vergleichende Untersuchung zur langfristigen Entwicklung von gesellschaftlichem Stoffwechsel und Landnutzung in Österreich und dem Vereinigten Königreich. Breuninger Stiftung, Stuttgart.
- Krausmann, F., Haberl, H., Erb, K.-H., Wackernagel, M., 2004. Resource flows and land use in Austria 1950-2000: Using the MEFA framework to monitor society-nature interaction for sustainability. *Land Use Policy*, 21 (3), 215-230.
- Krausmann, F., 2006. Der soziale Metabolismus der Industrialisierung. Die Überwindung der energetischen Schranken des agrarischen Wirtschaftens. *GAIA*, 15 (4), 285-293.
- Krausmann, F., Schandl, H., Sieferle, R.P., 2008a. Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom. *Ecological Economics*, 65 (1), 187-201.
- Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., Eisenmenger, N., 2008b. The global socio-metabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories. *Journal of Industrial Ecology*, 12 (5/6), 637-656.
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Lauk, C., Haberl, H., 2008c. Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics*, 65 (3), 471-487.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68 (10), 2696-2705.
- Krausmann, F. and Fischer-Kowalski, M. Gesellschaftliche Naturverhältnisse: Energiequellen und die globale Transformation des gesellschaftlichen Stoffwechsels. [117]. 2010. Wien, IFF-Social Ecology Working Paper. 15-12-2009.
- Krech III, S., 1999. The ecological indian. Myth and History. Norton & Company, New York.
- Kuskova, P., Gingrich, S., Krausmann, F., 2008. Long term changes in social metabolism and land

- use in Czechoslovakia, 1830-2000: An energy transition under changing political regimes. *Ecological Economics*, 68 (1-2), 394-407.
- Maddison, A., 2007. *Contours of the World Economy, 1-2030 AD. Essays in Macro-Economic History*. Oxford University Press, New York.
- Maddison, A., 2008. *Historical Statistics for the World Economy: 1-2006 AD*. <http://www.ggdc.net/maddison/>, 5-5-2010.
- Manthy, R.S., 1978. *Natural Resource Commodities-A Century of Statistics. Prices, Output, Consumption, Foreign Trade, and Employment in the United States 1970-1973*. John Hopkins Press, Baltimore, London.
- Martinez-Alier, J., 1987. *Ecological Economics. Energy, Environment and Society*. Blackwell, Oxford.
- Matos, G., Wagner, L., 1998. Consumption of Materials in the United States, 1900-1995. *Annual Review of Energy and the Environment*, 23, 107-122.
- Matos, G. 2009. Use of Materials and Minerals in the United States. From 1900 Through 2006. <http://pubs.usgs.gov/fs/2009/3008/> 5-5-2010.
- Matthews, E., Amann, C., Fischer-Kowalski, M., Bringezu, S., Hüttler, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schütz, H., van der Voet, E., Weisz, H., 2000. *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- McNeill, J.R., 2000. *Blue Planet. Die Geschichte der Umwelt im 20. Jahrhundert*. Campus Verlag, Frankfurt am Main.
- Nakicenovic, N., Grübler, A., 1991. *Diffusion of Technologies and Social Behavior*. Springer Verlag, Berlin u.a.
- Newman, P., Kenworthy, J., 1991. *Cities and Automobile Dependence: A source book*. Avebury, Aldershot, UK.
- OECD, IEA, Eurostat, 2004. *Energy statistics manual*. International Energy Agency (IEA), Paris.
- Pfister, C., 1995. *Das 1950er Syndrom. Der Weg in die Konsumgesellschaft*. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Pimentel, D., 2004. Energy Flows in Industrial Agriculture. In: Cleveland, C.J. (Eds.), *Encyclopedia of Energy*. Elsevier, Amsterdam, pp. 365-371.
- Potter, N., Christy, F.T., 1962. *Trends in Natural Resource Commodities. Statistics of Prices, Output, Consumption, Foreign Trade, and Employment in the United States 1970-1957*. John Hopkins Press, Baltimore.
- Rogich, D., Cassara, A., Wernick, I., Miranda, M., 2008. *Material flows in the United States. A physical accounting of the U.S. industrial economy*. World Resources Institute, Washington.
- Rogich, D.G., Matos, G.R., 2002. Material flow accounts: the USA and the world. In: Ayres, R.U. and Ayres, L.W. (Eds.), *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar, Cheltenham, Northampton, pp. 260-277.
- Schandl, H., Schulz, N.B., 2002a. Changes in United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land use from 1850 to the present day. *Ecological Economics*, 41 (2), 203-221.

- Schandl, H., Grünbühel, C.M., Haberl, H., Weisz, H., 2002b. Handbook of Physical Accounting. Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities. MFA - EFA - HANPP. Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Vienna.
- Schipper, L., 2004. International Comparisons of Energy End Use: Benefits and Risks. In: Cleveland, C.J. (Eds.), pp. 529-555.
- Schurr, S.H., Netschert, B.C., 1960. Energy in the American Economy 1850-1975. It's history and prospects. John Hopkins Press, Baltimore.
- Sieferle, R.P., 1982. Der unterirdische Wald. Energiekrise und Industrielle Revolution. C.H.Beck, München.
- Sieferle, R.P., 1997. Rückblick auf die Natur: Eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt. Luchterhand, München.
- Sieferle, R.P., 2003. Nachhaltigkeit in universalhistorischer Perspektive. In: Siemann, W. (Eds.), Umweltgeschichte Themen und Perspektiven. C.H. Beck, München, pp. 39-60.
- Sieferle, R.P., Krausmann, F., Schandl, H., Winiwarter, V., 2006. Das Ende der Fläche. Zum gesellschaftlichen Stoffwechsel der Industrialisierung. Böhlau, Köln.
- Smil, V., 1994. Energy in World History. Westview Press, Boulder, San Francisco, Oxford.
- Steinbeck, J., 1939. The grapes of wrath. The Viking Press, New York.
- Steinberger, J.K., Krausmann, F., Eisenmenger, N., 2010. Global patterns of material use: a socioeconomic and geophysical analysis. Ecological Economics, 69 (5), 1148-1158.
- Stöver, B., 2007. Der Kalte Krieg. Beck, München.
- Sullivan, D.E., 2006. Materials in Use in U.S. Interstate Highways.
- Szumigala, D.J., Hughes R.A., and Harbo L.A. Alaska's Mineral Industry 2008. Division of Geological & Geographical Survey. 2009.
- U.S.Bureau of the Census, 1975. Historical Statistics of the United States, Colonial Times to 1970, Bicentennial Edition, Part I. Washington D.C.
- U.S.Bureau of the Census, 1975. Historical Statistics of the United States, Colonial Times to 1970, Bicentennial Edition, Part II. Washington D.C.
- UN Statistics Division. UN Comtrade. Internet . 2009. 30-3-2010.
- USDA, 1992. Weights, Measures, and Conversion Factors for Agricultural Commodities and their Products. Washington DC.
- USGS, 2002. Minerals Yearbook.
- Weisz, H., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Schütz, H., Haas, W., Schaffartzik, A., 2007. Economy-wide Material Flow Accounting. A Compilation Guide. Eurostat, Luxembourg.
- Wirsenius, S., 2000. Human Use of Land and Organic Materials. Modeling the Turnover of Biomass in the Global Food System. Chalmers University, Göteborg, Sweden.
- Worster, D., 1979. Dust Bowl. Oxford University Press, New York.

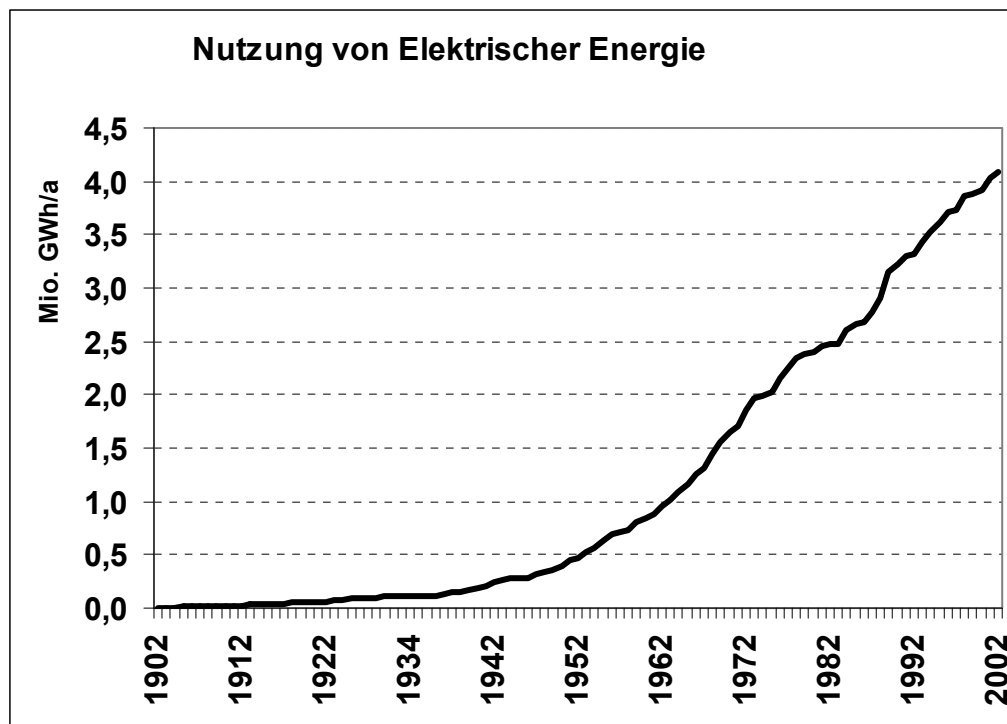
ANHANG

Abbildung 34: Das MFA Modell



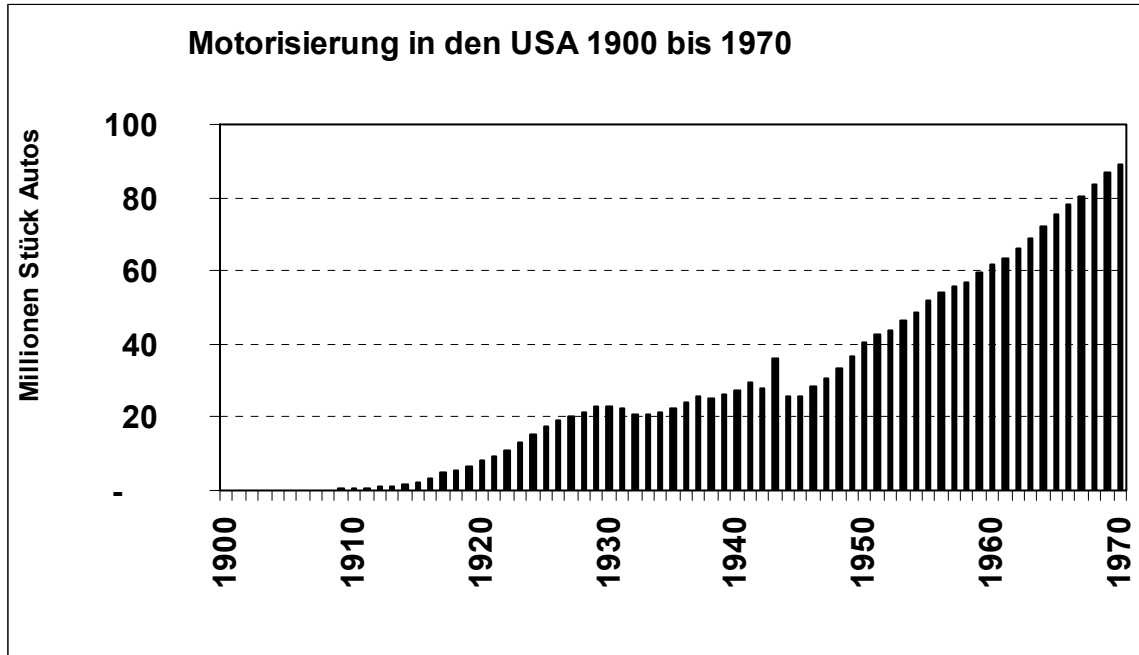
Quelle: eigene Darstellung nach Weisz et al. 2007

Abbildung 35: Nutzung von Elektrischer Energie in den USA von 1902 bis 2005



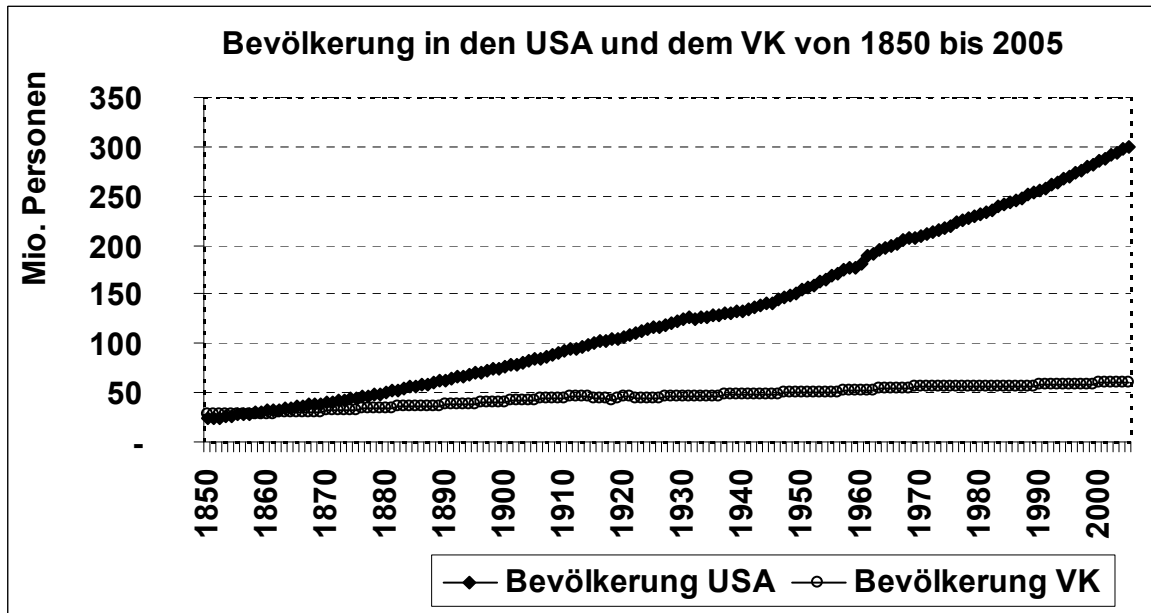
Quelle: eigene Darstellung, Daten nach U.S. Bureau of the Census 1975b, IEA 2007

Abbildung 36: Motorisierung in den USA von den Jahren 1900 bis 1970.



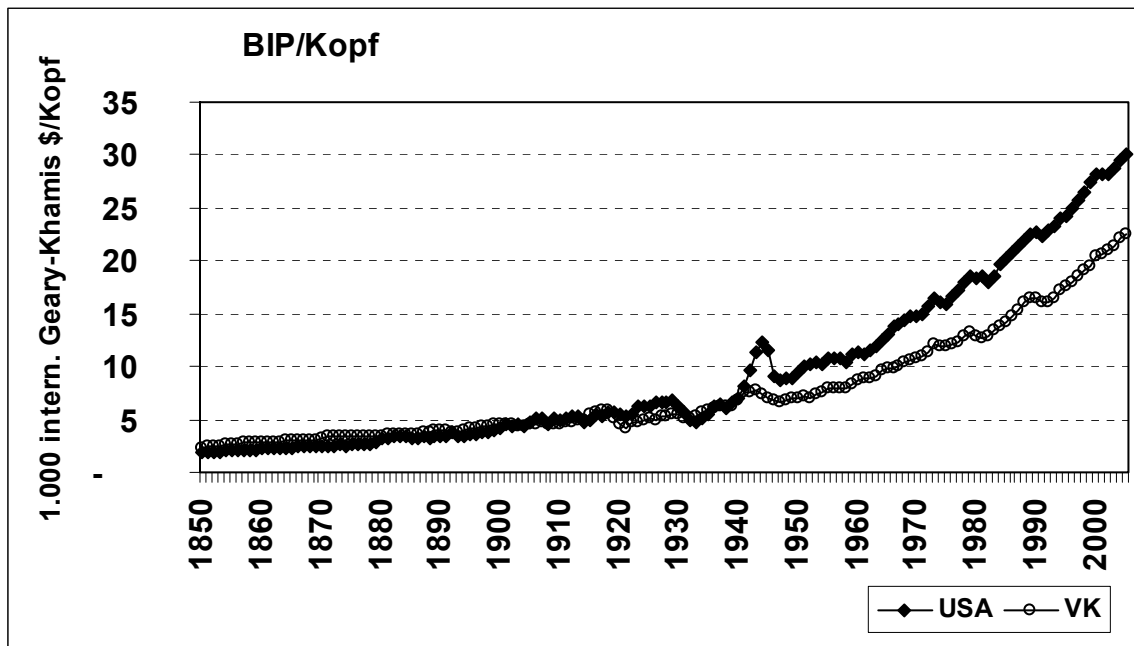
Quelle: eigene Darstellung, nach U.S. Bureau of the Census 1975

Abbildung 37: Bevölkerungsentwicklung in den USA und dem Vereinigten Königreich von 1850 bis 2005



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus U.S. Bureau of the Census 1975, FAO 2009, Krausmann et al. 2003, persönliche Kommunikation

Abbildung 38: Wirtschaftsentwicklung in den USA und im Vereinigten Königreich in den Jahren 1850 bis 2005.



Quelle: eigene Darstellung, Daten aus Maddison 2008

Abbildung 39: Vergleich der Energienutzung in privaten Haushalten

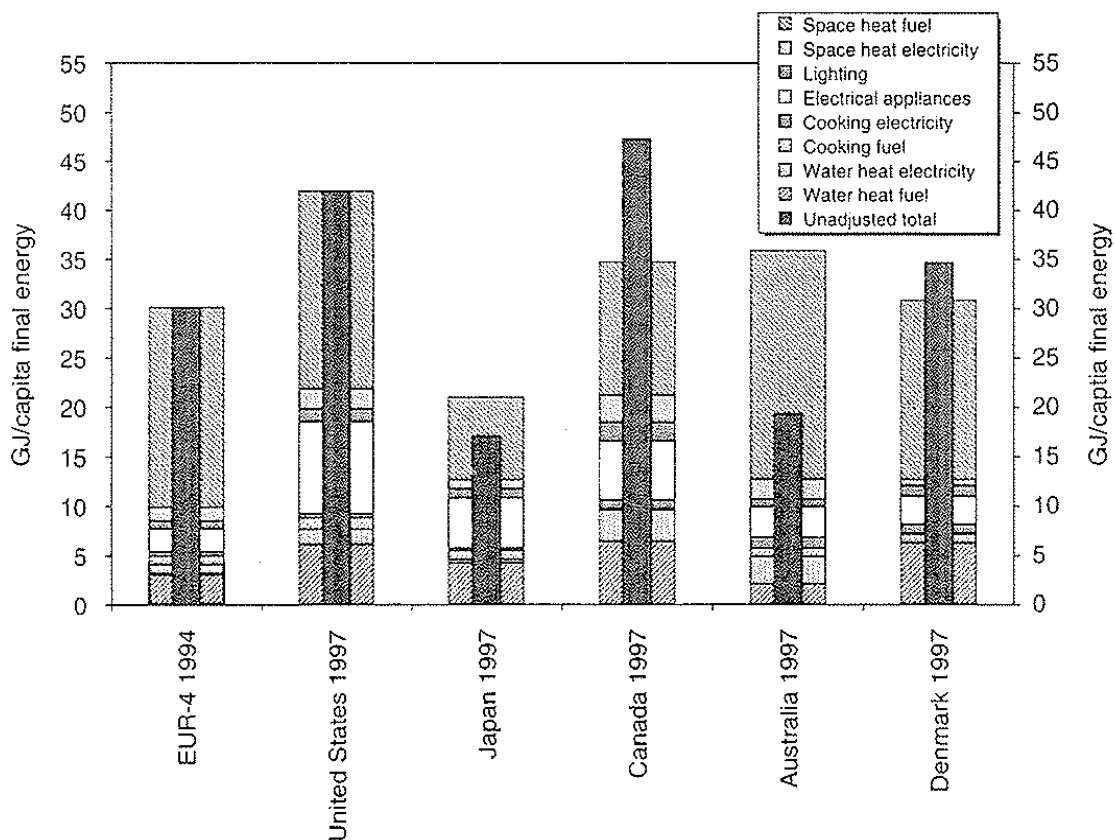


FIGURE 4: Energy use in homes, with space heating normalized to an average winter climate.

Quelle: Schipper 2004

Tabelle 14: Konversion von Maßeinheiten ins metrische System

Einheit	Metrische Tonnen (mt)
1 short ton, ton	0.907185
1 long ton	1.016047
1 pound	0,000454
1 hundredweight (cwt)	0.050802

Quelle: USDA (1992)

Tabelle 15: Brennwert und berechneter Trockenmassegehalt der Biomasse in den USA.

	Trockengehalt	Brennwert (MJ/kg Trockenmasse)
Feldfrüchte		
Getreide	86%	18,3
Hackfrüchte	22%	16,3
Zuckerfrüchte	20%	16
Hülsenfrüchte	90%	20
Nüsse	96%	25
Ölfrüchte	90%	25
Gemüse	11%	18,5
Obst	15%	20
Faserfrüchte	90%	19,5
Gewürze	13%	19
Andere Feldfrüchte	86%	19
Futterpflanzen	85%	18,5
Weidebiomasse und Erntenebenprodukte		
Weidebiomasse	85%	17,5
Erntenebenprodukte	85%	18
Holz und Holzprodukte		
Holz und Holzprodukte	85%	19,5
Papier	90%	19,5
Tierische Produkte		
Lebendtiere	45%	22
Fleisch	45%	22
Milch	13%	25
Eier	34%	30
Fette und Öle		40
Leder, Häute, Wolle, etc.	90%	19

Quelle: Krausmann et al. 2008c, persönliche Kommunikation

Tabelle 16: Brennwerte der fossilen Energieträger

	Brennwert (MJ/kg)
Kokskohle	30,4
Andere bituminöse Kohle & Anthrazit	28,0
Sub-bituminöse Kohle	21,2
Lignit/Braunkohle	16,0
Steinkohle	30,7
Braunkohle	16,0
Torf	9,7
Erdgas	50
Erdöl	45,3

Quelle: IEA 2007, persönliche Kommunikation Fridolin Krausmann

Band 1

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

Band 2

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

Band 3

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

Band 4

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

Band 5

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

Band 6

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

Band 7

Ämtliche Umweltberichterstattung in Österreich. Fischer-Kowalski, M., Lackner, C., Steuerer, A. (1990)

Band 8

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

Band 9

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

Band 10

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

Band 11

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

Band 12

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

Band 13

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

Band 14

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

Band 15

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

Band 16

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

Band 17

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

Band 18

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

Band 19

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

Band 20*

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

Band 22

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

Band 23

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

Band 24

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



Band 25

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

Band 26

Stoffstrombilanz Österreich 1988. Steurer, A. (1992)

Band 28

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

Band 29

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

Band 31

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

Band 32

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

Band 33

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

Band 34

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

Band 35

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

Band 36

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

Band 37

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

Band 38

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

Band 39

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

Band 40

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

Band 41

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

Band 42

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

Band 43

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

Band 44

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

Band 45

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

Band 46

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

Band 47

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

Band 48

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

Band 49

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

Band 50+

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

Band 51+

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

Band 52+

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

Band 53+

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

Band 54+

Was ist Umweltgeschichte? Winiwarter, V. (1998)

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

Band 55+

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

Band 57+

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

Band 58+

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

Band 59+

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

Band 60+

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

Band 61+

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

Band 62+

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

Band 63+

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

Band 64+

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

Band 65+

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

Band 66+

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

Band 67+

Materialflussrechnung London. Bongardt, B. (2002)

Band 68+

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

Band 69+

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

Band 70+

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

Band 72+

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

Band 73+

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

Band 74+

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

Band 75+

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

Band 76+

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

Band 77+

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

Band 78+

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

Band 79+

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

Band 80+

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

Band 81+

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

Band 83+

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

Band 84+

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

Band 85+

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

Band 87+

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



Band 88+

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

Rainer, G. (2006)

Band 89+

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

Band 90+

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

Band 91+

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

Band 92+

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

Band 93+

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

Band 94+

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

Band 95+

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

Band 96+

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

Band 98+

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

Band 99+

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

Band 100+

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

Band 101+

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

Band 102 +

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

Band 103+

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

Band 104+

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

Band 105+

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

Band 106+

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

Band 107+

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

Band 108+

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

Band 109+

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

Band 110+

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

Band 111+

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

Band 112+

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

Band 113+

(in Vorbereitung)

Band 114+

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

Band 115

Towards a low carbon society: Setting targets for a reduction of global resource use. Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Steinberger, J.K., Ayres, R.U.; Wien (2010)

Band 116+

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

Band 117+

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

Band 118+

Zurück zur Fläche? Eine Untersuchung der biophysischen Ökonomie Brasiliens zwischen 1970 und 2005. Mayer, A.; Wien (2010)

Band 119+

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

Band 120+

LOCAL STUDIES MANUAL

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

Band 121+

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

Band 122+

Klimapolitik im Bereich Gebäude und Raumwärme. Entwicklung, Problemfelder und Instrumente der Länder Österreich, Deutschland und Schweiz. Jöbstl, R.; Wien (2010)

Band 123+

Trends and Developments of the Use of Natural Resources in the European Union. Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Steinberger, J.K., Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Weisz, U.; Wien (2011)

Band 126+

Masterstudium "Sozial- und Humanökologie": Selbstevaluation 2005-2010. Schmid, M., Mayer A., Miechtner, G.; Wien (2010)

Band 127 +

Bericht des Zentrums für Evaluation und Forschungsberatung (ZEF). Das Masterstudium „Sozial- und Humanökologie“. Mayring, P., Fenzl, T.; Wien (2010)

Band 128+

Die langfristigen Trends der Material- und Energieflüsse in den USA in den Jahren 1850 bis 2005. Gierlinger, S.; Wien (2010)

Band 129+

Die Verzehrungssteuer 1829 – 1913 als Grundlage einer umwelthistorischen Untersuchung des Metabolismus der Stadt Wien. Hauer, F.; Wien (2010)

Band 130+

Human Appropriation of Net Primary Production in South Africa, 1961- 2006. A socio-ecological analysis. Niedertscheider, M.; Wien (2011)

Band 131+

The socio-metabolic transition. Long term historical trends and patterns in global material and energy use. Krausmann, F. (Editor); Wien (2011)