Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Technische Universität Wien

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Zur Relevanz des indirekten Energieverbrauchs österreichischer Privathaushalte

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Reinhard Haas
Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft E373

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Wolfgang Weirich
Matr. Nr.: 0125398
Utendorfgasse 3/3, 1140 Wien

Wien, am 20. April 2008 ……

Kurzfassung

Der österreichische Energieverbrauch steigt ständig. Dabei geht es nicht nur um den direkten Energieverbrauch in Form von Erdöl, Erdgas, Strom, etc. sondern um die Energie, die aufgewendet werden muss, um Konsumgüter bereit zu stellen. In der Arbeit wird dieser so genannte indirekte Energieverbrauch der österreichischen Haushalte für das Jahr 2005 abgeschätzt. Der Berechnung liegen einfache, zum Großteil eigene Rechenmodelle zugrunde. Die Datenerhebung zum Konsumverbrauch und zum spezifischen indirekten Energieverbrauch erfolgt durch eine Literaturrecherche. Der Gesamtenergieverbrauch der österreichischen Haushalte beträgt rund 197 PJ im Jahr 2005. Die Erzeugung von Lebensmitteln hat mit rund 38 % den größten Anteil. Um indirekte Energie zu sparen, müsste mehr Geld für Dienstleistungen ausgegeben werden.

Abstract

The consumption of energy is increasing in Austria. It can be distinguished into direct energy use in form of oil, natural gas, electricity etc. and so called indirect use in form of products and services which consume energy during their production phase. The indirect energy-consumption of Austrian households in the year 2005 is estimated in this paper. The calculation is based on simple calculation models mostly established by the author. Intensive literature research provides data for the consumption of goods and services and specific indirect energy use. The aggregated indirect energy use is approximately 197 PJ in the year 2005. The provision of food has the highest share of 38 %. Indirect energy can be saved when consumers switch to less energy intensive products like services.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

1.1 Motivation ... 1

1.2 Aufgabenstellung ... 2

1.3 Literatur ... 2

1.4 Aufbau ... 2

2 Energiebilanzierung ... 4

2.1 Einleitung ... 4

2.2 Messung der Energie ... 4

2.3 Energiedienstleistungen ... 6

2.4 Graue Energie ... 7

2.4.1 Horizontale Grenzen ... 9

2.4.2 Vertikale Grenzen ... 10

2.4.3 Kuppelproduktion ... 11

3 Kennzahlen von Energiebereitstellungssystemen ... 13

4 Computerprogramme ... 14

4.1 GEMIS – Globales Emissionsmodell integrierter Systeme ... 14

4.2 PROBAS – Prozessorientierte Basisdaten ... 14

5 Kumulierter Energieverbrauch (KEV) vs. kumulierter Energieaufwand (KEA) ... 15

5.1 Definition ... 15

5.2 Energie- und Stoffströme ... 15

6 Methoden der Bilanzierung ... 17

6.1 Prozesskettenanalyse ... 17

6.2 Input-Output-Analyse ... 18

6.3 Hybrid-Methode ... 20

7 Ermittlung des indirekten Energiekonsums der Haushalte ... 21

8 Daten & Datenqualität ... 23

8.1 Graue Energie ... 23

8.2 Konsum ... 25

8.3 Bevölkerung ... 25

9 Methodik und Abgrenzung ... 26

10 Durchführung der Ermittlung des indirekten Energieverbrauchs ... 27

10.1 Verkehr ... 27

10.1.1 PKW & Motorrad ... 27

10.1.1.1 PKW-Zulassungsstatistik ... 27
10.1.1.2 PKW-Fahrleistung ... 27
10.1.1.3 PKW-Energieintensität (MJ/€) ... 28
10.1.1.4 Motorrad ... 29
10.1.2 Fahrrad ... 29
10.1.2.1 Verkaufsstatistik ... 29
10.1.2.2 Fahrleistung ... 29
10.1.3 Flugverkehr ... 30
10.1.4 Bahn ... 31
10.1.5 Straßenbahn, U-Bahn und Buslinien ... 32
10.1.6 Zusammenfassung Verkehr ... 33
10.1.6.1 Gesamter Energieverbrauch ... 33
10.1.6.2 Grauer Energieverbrauch ... 34
10.2 Lebens- und Genussmittel ... 36
10.3 Haushaltsgeräte ... 42
10.4 Unterhaltungselektronik, Personalcomputer, Mobiltelefon und Medien ... 43
10.5 Einrichtung, Möblierung ... 45
10.5.1 Konjunkturstatistik ... 45
10.5.2 Energieintensität (MJ/€) ... 47
10.5.3 Leuchtmittel, Küchengeschirr und Reinigungsmittel ... 48
10.6 Bekleidung, Textilien ... 50
10.6.1 Altkleideraufkommen ... 50
10.6.2 Energieintensität (MJ/€) ... 51
10.7 Papier ... 52
10.8 Verpackung ... 53
10.8.1 Glasverpackung ... 53
10.8.2 Aluminiumverpackung ... 53
10.8.3 Andere Metallverpackungen ... 54
10.8.4 Holz-Verpackungen und Holz ... 54
10.8.5 Kunststoffverpackung ... 54
10.8.6 Zusammenfassung Verpackung ... 55
11 Ergebnis & Schlussfolgerung ... 56
12 Ausblick ... 59
13 Anhang ... 60
13.1 Bananenproduktion ... 60

13.2 Trockenfrüchte 60
13.3 Zigaretten 61
13.4 Mikrowellenherd, Elektroherd 61
13.4.1 Elektroherd 62
13.4.2 Mikrowellenherd 62
13.5 Digitalkamera 63
13.6 CD, DVD 64
14 Abbildungsverzeichnis 65
15 Tabellenverzeichnis 66
16 Referenzen 68

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Bedarf an Energie steigt in Österreich stetig. In der modernen Welt verursacht jede menschliche Aktivität einen Verbrauch von Energie. Energie ist aber ein knappes Gut und die Umwandlung von Energieformen verursacht Umweltprobleme. Da 80 % des weltweiten Energieverbrauchs auf fossilen Energieträgern beruht, lässt sich ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Ansteigen des Energieverbrauchs und der Zunahme des Ausstoßes an Treibhausgasen ziehen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit das Klima beeinflussen. Außerdem ist die Energieversorgung des Transportsektors, der hauptsächlich auf Erdöl basiert, durch zunehmende Unsicherheit charakterisiert. Etwa 90 % der Reserven liegen im Nahen Osten, einem politisch unsicheren Gebiet. Fehlende Kapazitäten der Raffinerien, eine stagnierende Förderquote und der rasant steigende Verbrauch in Asien sind Gründe für den hohen Ölpreis und die Anwendung militärischer Gewalt einer wirtschaftlichen Großmacht, die von billiger Energie abhängig ist. Am Anteil der regenerativen Energieträger am österreichischen Energiegesamtaufkommen, der trotz Investitionen in Windkraft und Biomasse sinkt, sieht man, dass die Abhängigkeit gegenüber den Förderländern steigt.

Es ist daher wichtig, die Energieintensität der menschlichen Aktivitäten zu senken. Ein erster Schritt ist die Quantifizierung des Energieverbrauchs. Dabei wird oft nur vom direkten Energieverbrauch gesprochen. Der direkte Energieverbrauch ist relativ leicht messbar, beispielsweise durch einen Blick auf die Zapfsäule beim Tanken oder die jährliche Stromrechnung. Ein großer Teil der Energie wird zur Herstellung von Produkten verwendet. Für Konsumgüter mussten erhebliche Energiemengen aufgewendet werden um sie herzustellen. Den indirekten Energieverbrauch zu vernachlässigen würde schlicht einen Teil der Gesamtenergiebilanz ausblenden.

Je nach Struktur der Wirtschaft kann es sein, dass ein Land indirekte Energie importiert oder exportiert. Island hat beispielsweise eine bedeutende Aluminiumindustrie, die auf der günstigen Verfügbarkeit von elektrischem Strom beruht. Da vor allem für den Export produziert wird, wäre es falsch, den Stromverbrauch der Aluminiumproduktion gänzlich dem Land zuzurechnen. Tatsächlich sollte der Energieverbrauch den Bestimmungsländern angelastet werden.

An der aktuellen Debatte um den Klimaschutz, die sich um die Vergabe der Emissionszertifikate dreht, zeigt sich, dass noch viel Forschungs- und Aufklärungsarbeit geleistet werden muss. Denn die Zertifikate betreffen ja nur die lokalen Emissionen und damit den direkten Energieverbrauch eines Staates. Völlig außer Acht gelassen werden die Emissionen, die durch den Import von grauer Energie verursacht werden. Staaten, die ihre energieintensive Produktion auslagern, werden daher bevorzugt. Aufgrund der hohen Effizienz der europäischen Industrie bringt dies jedoch in der Regel Nachteile für den Umweltschutz. Daher sollte auch der graue Energieverbrauch bei der Vergabe von Zertifikaten eine Rolle spielen.

Eine wesentliche Komponente der Bilanzierung des Gesamtenergieverbrauchs einer Volkswirtschaft ist die Ermittlung des indirekten Energieverbrauchs der privaten Haushalte in Form von Produkten, Lebensmitteln und Dienstleistungen. Letztlich laufen alle Anstrengungen der Industrie darauf hinaus, Konsumgüter herzustellen und Dienstleistungen zu erbringen.

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Arbeit wird der indirekte Energiebedarf österreichischer Haushalte abgeschätzt. Hierbei werden verschiedene relevante Konsum- und Investitionsgüter betrachtet und bilanziert. Die Auswahl der Güter erfolgt Auf Grundlage der Haushaltsausgaben. Es wird angenommen, dass die Höhe der Ausgaben mit dem indirekten Energieverbrauch positiv korreliert. Natürlich hängt das stark von der Art der betrachteten Güter ab.

Die Stoffstromanalyse des Ökoinstituts bietet ebenfalls einen guten Anhaltspunkt für die Auswahl der Güter (Quack et al 2004). In dieser Studie wird der Stoffstrom relevanter Produktgruppen in deutschen Haushalten untersucht.

Die Bilanzierung erfolgt durch eine Ermittlung des Verbrauchs. Die Zahlen hierzu sind zum größten Teil durch nationale Statistiken abgedeckt (Statistik Austria). Die Energieintenstität der Produkte wird hauptsächlich durch das Computerprogramm GEMIS bestimmt. Durch Multiplikation des Verbrauchs mit der Intensität erhält man den Energieverbrauch.

1.3 Literatur

Eine Studie über den indirekten Energieverbrauch österreichischer Haushalte wurde noch nicht erstellt.

Vringer und Blok ermittelten den gesamten Energieverbrauch niederländischer Haushalte für das Jahr 1990 (Vringer et al 1995). Hierbei wurde die Hybrid-Methode angewendet und eine Vielzahl von Konsumgütern untersucht. Der Energieverbrauch wurde mit Hilfe von Energieintensitäten und Daten über Haushaltsausgaben ermittelt und in Abhängigkeit vom Haushaltseinkommen dargestellt. Der indirekte Energieverbrauch eines durchschnittlichen Haushaltes beläuft sich auf 130 GJ.

Manfred Lenzen führte eine Studie über die Treibhausgasemissionen und den Primärenergieverbrauch australischer Haushalte durch (Lenzen 1998). Er benutzte dazu die IO-Analyse und kam auf einen Wert von 287,1 GJ pro Kopf (exklusive Exporte).

Es gibt noch eine Vielzahl von Studien, die den Energieverbrauch von Haushalten ermitteln. Kok, Benders und Moll (Kok et al 2006) vergleichen einige Studien, die auf unterschiedlichen Berechnungsmethoden beruhen. Die Autoren sind der Meinung, dass die Forschung bis jetzt hauptsächlich darauf fokussiert gewesen sei, den Energieverbrauch der Haushalte zu beschreiben. Zukünftige Forschung müsse darauf abzielen, Veränderungen des Konsumverhaltens zu beurteilen. Alfredsson (2004) geht einen Schritt in diese Richtung, indem sie unterschiedliches Konsumverhalten bei konstanten Haushaltsausgaben bewertet.

1.4 Aufbau

Kapitel 2 und 3 beschäftigen sich mit der Energiebilanzierung. Es werden Themen wie Messung der Energie und Abgrenzung der Bilanzierung behandelt. Anschließend wird der Begriff „graue Energie“ definiert. Kapitel 4 stellt die Computerprogramme GEMIS und PROBAS vor, mit deren Hilfe die Energiebilanz erstellt wird. Die Programme berechnen den kumulierten Energieaufwand bzw. –verbrauch. Der Unterschied zwischen diesen Kennzahlen wird in Kapitel 5 erklärt. In Kapitel 6 wird der Frage nachgegangen, welcher Methoden sich die Energiebilanzierung bedient. Anschließend wird im nächsten Kapitel erläutert, wie der Konsumgüter- und graue Energieverbrauch von Haushalten mit Hilfe dieser Methoden ermittelt werden kann. Kapitel 8 und 9 beschäftigen sich mit der Datenqualität und der in der Arbeit verwendeten Methode der Bilanzierung. Gegenstand des

nächsten Kapitels ist die detaillierte Beschreibung der Vorgangsweise bei der Berechnung des indirekten Energieverbrauchs der Haushalte. Die Ergebnisse werden in Kapitel 11 dargestellt und interpretiert.

2 Energiebilanzierung

2.1 Einleitung

Die Energiebilanzierung verfolgt das Ziel den Energieverbrauch bestimmter Aktivitäten abzubilden. Anfang der siebziger Jahre wurde das von Ingenieuren, Ökonomen und Politikern spielerisch betrieben (Spreng 1995). Das führte zu Aussagen wie „Mit einem Flugzeug oder einem Auto von A nach B zu reisen benötigt eine Kilowattstunde“ (Spreng 1995, S 39). Als wissenschaftliche Methode wurde die Energiebilanzierung 1974 bekannt (Spreng 1995). In einer Studie kam Howard Odum zu dem Ergebnis, dass kleine Ölfördervorhaben, die bereits erschlossene Ölfelder weiter ausbeuten, eher mehr Energie verbrauchen, als sie in Form von Öl zur Verfügung stellen.

Die Energiebilanzierung stellt ein wesentliches Element bei der ökonomischen und ökologischen Beurteilung dar. Während der Ölkrise in den achtziger Jahren rückte der wirtschaftliche Aspekt in den Vordergrund, weil es zu Engpässen in der Energieversorgung kam. Aber auch die Ökologie spielt eine wichtige Rolle, da fossiler Energieverbrauch und damit verbundene Emissionen zur Umweltzerstörung beitragen.

Die Energiebilanzierung kann bei der Entwicklung von Produkten konkrete Fragen beantworten. Zum Beispiel erfordert der Ersatz von Stahl durch Aluminium in der Automobilindustrie einen höheren Energieeinsatz. Durch das geringere Gewicht sinkt der Spritverbrauch, weshalb in Summe weniger Energie verbraucht wird.

2.2 Messung der Energie

Ein wesentlicher Punkt bei der Erstellung einer Energiebilanz ist die Messung der Energieströme. Dazu ist zunächst eine einheitliche Maßeinheit zu wählen. Es gibt eine Fülle von Einheiten, in denen der Energieverbrauch gemessen werden kann. Dies wären zum Beispiel die klassischen Einheiten wie die SI-Einheit Joule (J) oder die Kalorie (cal) oder die geläufige Einheit kWh. Des Weiteren kann man den Energieverbrauch auch in Erdöläquivalenten oder dem selten verwendeten British Thermal Unit (BTU) angeben. In dieser Arbeit wird ausschließlich das Joule als Maßeinheit verwendet.

Weil bei Energieumwandlungen Verluste auftreten, ist es wichtig, die Energieform anzugeben. Energie kann zum Beispiel in chemischer Form in Erdöl gespeichert sein, aber auch als elektrischer Strom zur Verfügung stehen. Die einfache Addition der unterschiedlichen Energieströme führt zu einem bedeutenden Verlust an Information. Elektrischer Strom ist eine hochwertige Energieform, die sich zwar nicht gut speichern, aber mit hohem Wirkungsgrad in mechanische und andere Energieformen umwandeln lässt und relativ gut transportiert werden kann. Insbesondere die fossilen Energieträger werden hauptsächlich über den mit hohen Verlusten verbundenen Weg der Verbrennung in mechanische Energie umgewandelt, wobei eine hohe lokale Emissionsbelastung akzeptiert werden muss.

Die Einteilung der Energieträger in sekundäre und primäre sollte daher auch bei der Energiebilanzierung berücksichtigt werden. So ist es möglich, den Verbrauch von elektrischem Strom in ein Äquivalent von primären Energieträgern umzurechnen. Dies erfordert zusätzliche Information über den Kraftwerkspark, woraus sich eine aggregierte Kennzahl errechnen lässt, die den Energieverbrauch ziemlich genau in einem primären Energieäquivalent ausdrückt. Für Vergleiche ist dies praktisch, aber mit Informationsverlusten verbunden, sofern nicht angegeben wird, aus welchen

Energieträgern das Äquivalent errechnet wurde. Gerade die Erzeugung von elektrischem Strom erweist sich in dieser Hinsicht als problematisch, da große Unterschiede bei der Stromerzeugung zwischen Österreich und Deutschland bestehen. Noch findet nur etwa 40 % der österreichischen Stromproduktion in Wärmekraftwerken statt, in Deutschland sind es 80 %. Das führt zu einem unterschiedlich hohen Primärenergieverbrauch. Die meisten verwendeten Kennwerte des spezifischen Energieverbrauchs von Aktivitäten stammen aus Untersuchungen, die sich auf Deutschland beziehen. Eine Umrechnung auf den österreichischen Strommix ist aufgrund mangelnder Daten meist nicht möglich, wird aber für den Bahnverkehr, die öffentlichen Verkehrsmittel und einen Teil der Lebensmittel durchgeführt.

Grundsätzlich bezieht sich der Energieverbrauch in dieser Arbeit auf primäre Energieträger.

Nun lässt sich der Verbrauch von Erdgas, Erdöl oder anderen chemischen Energieträgern relativ leicht messen. Es handelt sich um kommerzielle Energieträger. Schwieriger ist die Sache mit nicht kommerziellen primären Energieträgern wie der potentiellen Energie des Wassers, der Sonneneinstrahlung oder der Windenergie. Im Computerprogramm GEMIS (siehe Kapitel 4) wird das Problem so gelöst, dass der Output an sekundärer Energie, meist elektrischer Strom, mit dem Verbrauch von Primärenergie ungeachtet des Wirkungsgrads der Energieumwandlung gleich gesetzt wird. Zu diesem Wert muss aber noch der Energieverbrauch des Kraftwerkbaus anteilig addiert werden. Eine andere Möglichkeit besteht in der Messung des Verbrauchs von anderen Ressourcen wie Land- oder Wasserfläche (Spreng 1995). Dies erscheint sinnvoll, da diese Ressourcen anderen Vorhaben nicht mehr zur Verfügung stehen, birgt aber den Nachteil, dass der Energieverbrauch aufgrund mehrerer Parameter schlechter vergleichbar ist. Drake geht bei der Bewertung von Energiesystemen einen anderen Weg (Drake 1996). Er bilanziert nur knappe Primärenergieträger und damit im Prinzip nur nicht regenerative Energiequellen. Im Fall eines Solarkraftwerks würde dies bedeuten, dass nur der indirekte Energieaufwand zum Bau desselben bilanziert würde, nicht aber die Sonnenenergie, die auf die Kollektorfläche fällt. Dies ist ein sinnvoller Ansatz für die alleinige Bewertung von Systemen, deren Zweck es ist, Energie bereit zu stellen. In unserem Fall ist er nicht brauchbar, da die Herkunft der Energie eine weniger wichtige Rolle spielt als der Energieverbrauch der betrachteten Prozesse. In anderen Worten hätte ein Prozess, der Energie hauptsächlich aus Solarkraftwerken bezieht, einen sehr niedrigen Primärenergieverbrauch, obwohl der spezifische elektrische Energieverbrauch sehr hoch sein kann. Dieser Verzerrung könnte begegnet werden, indem dem Stromverbrauch ein einheitlicher Kraftwerkspark zugrunde gelegt wird. Erstens ist dies für die Fülle an unterschiedlichen betrachteten Prozessen aus denen sich der Anteil des elektrischen Stromverbrauchs nicht errechnen lässt, nicht gewährleistet. Zweitens werden Prozesse wie zum Beispiel Transportvorgänge, die zum Großteil nicht auf Strom basieren, benachteiligt. Eine Voraussetzung für all diese Überlegungen ist, dass Energieformen mit unterschiedlichen Wirkungsgraden in andere Energieformen umgewandelt werden können. Denn nur unter dieser Voraussetzung kann man am Prinzip der Opportunitätskosten, hier umgelegt auf Energie, festhalten. Es geht um die Frage: Was hätte man mit der Energiemenge sonst machen können?

Die Messung des Energieverbrauchs kann auf mehrere Arten erfolgen.

Beim Energieinput kann einfach das Gewicht oder Volumen der eingesetzten Energieträger gemessen werden.

Aus obigen Ausführungen geht hervor, dass der Energieverbrauch ungefähr direkt proportional zum CO_2-Ausstoß ist. Aus den Emissionsdaten lässt sich daher der Energieverbrauch einer Aktivität abschätzen. Dies kann beispielsweise sehr genau für den motorisierten Verkehr ermittelt werden, da aufgrund der breiten öffentlichen Diskussion des CO_2-Ausstoßes Daten darüber veröffentlicht werden. Der CO_2-Ausstoß spielt in dieser Arbeit nur im Bereich des Straßenverkehrs eine Rolle, da aus dem durchschnittlichen Ausstoß der Fahrzeuge der Verbrauch errechnet wird.

Eine nicht unwichtige Messgröße der Energiebilanzierung ist die Abwärme. Sie wird stellvertretend als Indikator für Umweltprobleme herangezogen, weil sie relativ leicht mess- und addierbar ist. Obwohl Abwärme lokale Klimata beeinflussen kann, zählt sie nicht zu den dringendsten Umweltproblemen. Da jede Aktivität Abwärme erzeugt, ist die Universalität dieses Instruments jedenfalls gegeben, aber die Messung der Abwärme ist nur bei großen Energieverbrauchern praktisch durchführbar. Daher ist sie im Fall der Ermittlung des Energieverbrauchs wenig brauchbar, weil die Datenlage dünn ist und man für die Umrechnung in primäre Energieträger eine Information über den Wirkungsgrad des Systems benötigt.

2.3 Energiedienstleistungen

Aus Sicht der Konsumenten besteht keine direkte Nachfrage nach Energie, sondern nach Energiedienstleistungen wie Mobilität, Wärme oder Licht. Wer also an der Tankstelle Treibstoff erwirbt, ist nicht interessiert an der darin gespeicherten chemischen Energie, sondern an komfortabler Mobilität.

Der tatsächliche Energieverbrauch einer Energiedienstleistung hängt sehr stark von der Technologie ab. Beispielsweise ist der direkte Energieverbrauch eines mit Wärmepumpe betriebenen Heizsystems geringer als eine Heizung, die Strom über Heizdrähte in Wärme umwandelt, wenn beide Systeme die gleiche Heizleistung erbringen.

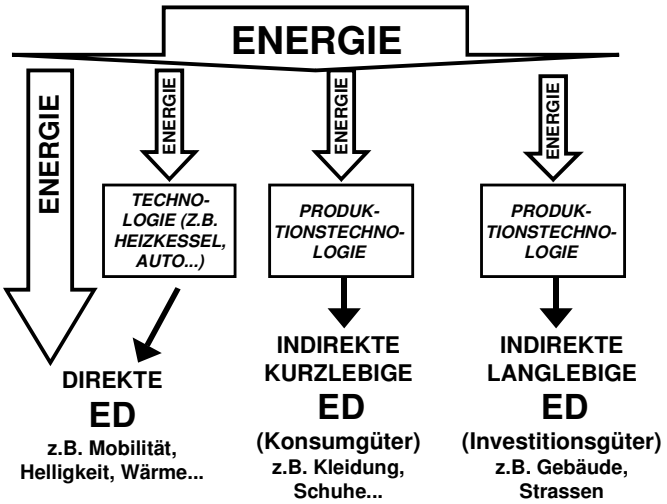

Abbildung 2.1: Energiefluss bei (in)direkten Energiedienstleistungen

Abbildung 2.1 zeigt den Energiefluss der unterschiedlichen Energiedienstleistungen. Direkte Energiedienstleistungen sind Mobilität, Wärme und Helligkeit. Indirekte kurzlebige Energiedienstleistungen sind ein Großteil der Konsumgüter. Schließlich gibt es noch langlebige Energiedienstleistungen wie Gebäude, das Automobil oder Haushaltsgeräte. Die Bereitstellung von direkten Energiedienstleistungen erfordert im allgemeinen Geräte, die die Energie umformen. Der

Energieverbrauch zur Herstellung dieser Geräte ist in der direkten Energiedienstleistung enthalten. Direkte Energiedienstleistungen sind durch einen hohen Energiefluss während der Nutzungsphase charakterisiert.

2.4 Graue Energie

Der Begriff „Graue Energie“ kommt aus der Schweiz und wird seit den siebziger Jahren verwendet (Spreng 1995). Er bezeichnet den indirekten Energieverbrauch und berücksichtigte damals fossile und nukleare Energieträger und Wasserkraft. Heute werden sämtliche Energieträger berücksichtigt. Der Begriff lässt sich direkt ins Französische übersetzen („énergie grise“). Im Englischen spricht man von „embodied“ oder „embedded energy“. In dieser Arbeit werden die Begriffe indirekte Energie und graue Energie gleichbedeutend verwendet.

Die Summe aus grauer Energie und direktem Energieverbrauch, der hauptsächlich in der Nutzungsphase eines Produkts oder einer Dienstleistung auftritt wird in der Literatur am häufigsten als kumulierter Energieverbrauch (KEV) bzw. kumulierter Energieaufwand (KEA) bezeichnet. Diese Bezeichnung wird auch in GEMIS verwendet. Wolfgang Mauch gibt noch eine Fülle weiterer Bezeichnungen für diesen Begriff an (Mauch 1993).

Der indirekte Energieverbrauch bezeichnet jenen Teil des Energieverbrauchs, der auf die Herstellung oder Erzeugung eines Produktes entfällt. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden, welches sich in der Literatur oft findet: der Kühlschrank. Zunächst muss das Material, aus dem der Kühlschrank zusammengesetzt ist, produziert werden. Dies sind Stahlblech, Glas, verschiedene Kunststoffe und andere Materialien. Stahl wird aus Erz gewonnen, das unter hohem Energieeinsatz aufgeschmolzen und zu Stahl veredelt wird. Der Transport des Stahlblechs wird in der Energiebilanz ebenfalls berücksichtigt. Die Einzelteile werden montiert und der fertige Kühlschrank gelangt in den Handel. Dort wird ebenfalls Energie verbraucht. Beispielsweise müssen die Verkaufsräume geheizt und beleuchtet werden. Der Transport in den Haushalt erfolgt meist über den Privat-PKW oder Klein-LKW. Im Laufe seines Lebens konsumiert der Kühlschrank ein Vielfaches seiner Herstellungsenergie in Form von elektrischem Strom. Dieser Energieverbrauch ist direkt und wird daher nicht der grauen Energie zugerechnet. Allerdings macht die Bereitstellung von Strom einen indirekten Energieaufwand notwendig. Denn es müssen Kraftwerke und Leitungen errichtet werden. Zur Klarstellung sei gesagt, dass der elektrische Stromverbrauch inklusive der Aufwendungen zur Bereitstellung während der Nutzungsphase als direkter Energieinput behandelt wird.

Nach 15 bis 20 Jahren ist das Ende der Lebensspanne erreicht und der Kühlschrank muss entsorgt werden. Der Energieverbrauch der Entsorgung geht ebenfalls in die Bilanzierung des indirekten Energieverbrauchs ein. Im schlechtesten Fall erfolgt eine Deponierung. Es muss der Transport und die Energie zum Betrieb der Deponie verrechnet werden. Sollte der Kühlschrank vollständig oder teilweise rezykliert werden, kann die in den wieder verwendeten Materialien gespeicherte graue Energie in der Bilanz abgezogen werden. Sie vermindert daher den indirekten Energieverbrauch.

Die Untersuchung des indirekten Energieverbrauchs beschränkt sich keineswegs nur auf materielle Produkte, sondern kann ohne Weiteres auf Dienstleistungen ausgeweitet werden. Ein Beispiel hierfür sind Personentransporte. Je nach Definition ist der direkte Energieverbrauch während des Transportvorgangs enthalten oder nicht enthalten. Betrachtet man einen Personenkraftwagen als Produkt, so ist im indirekten Energieverbrauch die Herstellung, Wartung und Entsorgung berücksichtigt. Der direkte Energieverbrauch bezieht sich auf den Treibstoffverbrauch. Wird

hingegen die Dienstleistung Personentransport im PKW untersucht, so ist der Energieverbrauch während des Transportvorgangs per definitionem enthalten.

Abbildung 2.2 zeigt die Energieflüsse der Schweiz im Jahr 1975. Man sieht, dass die graue Energie mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs der Haushalte ausmacht. Alle Energieflüsse beziehen sich auf die Primärenergie.

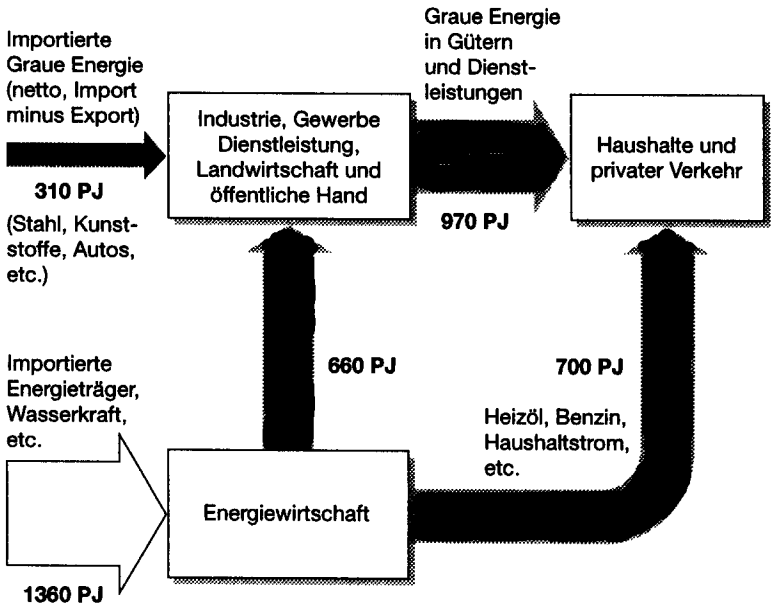

Abbildung 2.2: Energieflüsse in der Schweiz, 1975 (Spreng 1995)

In dieser Arbeit wird zwischen indirektem und direktem Energieverbrauch wie folgt abgegrenzt. Der indirekte Energieverbrauch bezieht sich auf die graue Energie jener Produkte und Dienstleistungen, die von Haushalten angeschafft werden und die Energie umwandeln, aber nicht bereit stellen, das heißt, sie benötigen zum Betrieb externe Energiequellen. Dazu gehören Haushaltsgeräte, der PKW, Möbel, Verpackungsmaterialien etc., Lebensmittel sind zwar im weitesten Sinne ebenfalls Energielieferanten, werden aber auch der eben genannten Kategorie hinzugezählt. Auf der anderen Seite fallen in die Kategorie des direkten Energieverbrauchs diejenigen Produkte, die den Zweck haben, Energie bereit zu stellen und dabei verzehrt werden. Dies sind beispielsweise elektrischer Strom, Erdgas, Dieselöl etc. So gesehen zählt der Energieaufwand für Anbau Produktion und Transport von Lebensmitteln zum indirekten Energieverbrauch. Das Gas, das am Herd zur Gewinnung von Wärmeenergie zum Kochen verbrannt wird, ist aber dem direkten Energieverbrauch zuzurechnen.

Nur der indirekte Energieverbrauch eines Produkts wird berechnet. Der Verkehr bildet hier eine Ausnahme; es werden zwei Bilanzen erstellt. Eine davon beinhaltet nur den indirekten Verbrauch, die andere den Gesamtverbrauch inklusive Antriebsenergie, berücksichtigt also auch den direkten Verbrauch. Der Treibstoffverbrauch des PKW-Verkehrs ist ein direkter Energieverbrauch. Hingegen ist der Verbrauch von elektrischer Energie beim Bahnfahren indirekt, weil er nicht von den privaten Haushalten angeschafft wird, sondern Bestandteil der Personentransportdienstleistung ist. Die Unterdrückung des Treibstoffverbrauchs des Individualverkehrs würde aber zu einer Verzerrung

zugunsten desselben führen, weshalb hier zwei Bilanzen erstellt werden. Bei der Berechnung des Gesamtenergieverbrauchs wird nur der graue Energieverbrauch des Verkehrs addiert.

Das Erstellen einer Energiebilanz zur Erörterung der grauen Energie ist arbeitsintensiv und komplex. Der Grund dafür liegt im hohen Vernetzungsgrad, der komplizierten Struktur der Wirtschaft und der Vielfalt der untersuchten Produkte und Gegenstände. Allein die Produktion eines Automobils verteilt sich auf viele Regionen der Welt. So gesehen müssten sämtliche Zulieferfirmen und die Endmontage untersucht werden um ein genaues Ergebnis zu erhalten. Für die Bilanzierung einer großen Zahl an Automobilen ist außerdem problematisch, dass es eine unüberschaubar große Zahl an unterschiedlichen Modellen gibt, die nicht separat untersucht werden können. Somit wird das Definieren eines „Durchschnittsmodells“ erforderlich, welches möglichst genau den Mittelwert der quantitativen Merkmale aller untersuchten Fahrzeuge zu repräsentieren hat. Dies gilt nicht nur für den Verkehrssektor, sondern für sämtliche bilanzierte Sektoren.

2.4.1 Horizontale Grenzen

Produkte und Dienstleistungen durchlaufen in ihren Lebenszyklen mehrere Prozesse, man spricht von einer Prozesskette. Betrachtet man einen Lebenszyklus, so stellt sich die Frage, wo man bei der Bilanzierung des Energieverbrauchs anfängt und wo man aufhört. Welche Aktivitäten eines Systems sollen berücksichtigt werden und welche zählen nicht mehr oder noch nicht dazu? Die Beantwortung dieser Frage hat unmittelbar mit der Problemstellung zu tun und muss für jedes Produkt behandelt werden. Beispielsweise muss entschieden werden, ob bei der Produktion eines Kühlschranks der Abbau und Transport von Eisenerz zur Stahlerzeugung bilanziert wird oder erst mit der energieaufwändigen Stahlblecherzeugung begonnen wird und die davor gelegenen Produktionsschritte ausgelassen werden. Am Ende des Produktlebenszyklus stellt sich die Frage, ob die Entsorgung Teil der Bilanz werden soll. Dies kann bei Rezyklierung oder Verbrennung zu einer Gutschrift in der Energiebilanz führen, weil die Energie anderswo eingespart werden kann.

In dieser Arbeit sind die horizontalen Grenzen wie folgt festgelegt:

Der Anfang der Prozesskette ist in den fast allen Fällen die Gewinnung des Rohstoffs bzw. der Primärenergie. Dies gilt grundsätzlich für alle Datensätze aus GEMIS. Natürlich sollte die horizontale Grenze für alle Produkte einheitlich sein, die Datenlage erfordert jedoch eine Ausnahme. Im Bereich der Lebens- und Genussmittel wird für die Tabakproduktion nur eine Energieintensität aus der Input-Output-Analyse der Tabakverarbeitung ohne Vorkette angegeben. Aufgrund des zusätzlichen Arbeitsaufwands, der in keiner Relation zur Bedeutung der Vorkette steht, wird diese hier nicht weiter untersucht.

Als Ende der Prozesskette wird der Anfang der Nutzungsphase im Haushalt festgelegt. Im Allgemeinen wird die Nutzungsphase durch einen hohen direkten und niedrigen indirekten Energieverbrauch charakterisiert. Man denke an den Stromverbrauch eines Kühlschranks. Es soll jedoch festgehalten werden, dass es in der Nutzungsphase zu Wartungsarbeiten mit Materialeinsatz kommen kann, der eine vermutlich geringe Menge graue Energie verbraucht.

Eine Sonderstellung nimmt hier wieder der Verkehr ein, die Berücksichtigung der Antriebsenergie schiebt die horizontale Grenze ans Ende der Nutzungsphase.

Die Entsorgung wird in der Arbeit folgendermaßen behandelt: Für die meisten Produkte wird der Energieverbrauch der Entsorgungsmaßnahmen nicht betrachtet. Es gibt Materialien wie Aluminium,

deren Rezyklierung offensichtlich erhebliche Mengen Energie einsparen kann. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird der Aluminiumproduktion ein Mix an Sekundär- und Primäraluminium zugrunde gelegt. Es wird dem Produktzyklus also nicht Energie gutgeschrieben, sondern der Energieverbrauch der Herstellung der Materialien gesenkt. Eine analoge Vorgangsweise wird für Glasverpackungen und Papier gewählt.

Abbildung 2.3 veranschaulicht die vertikale und horizontale Abgrenzung der Prozesskette.

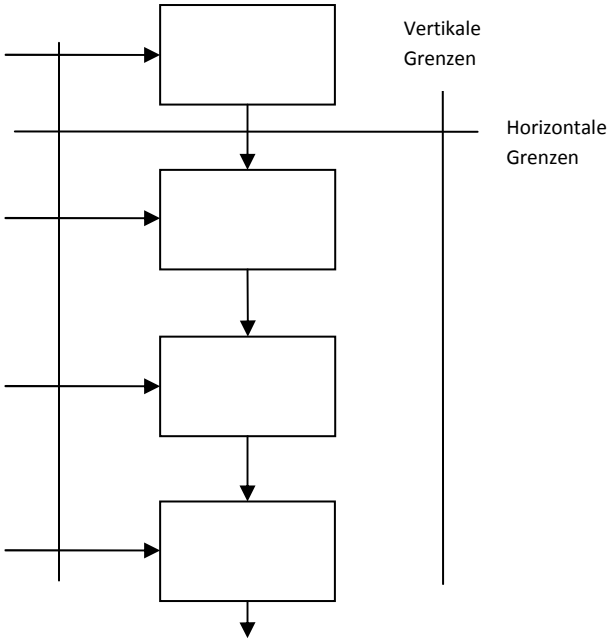

Abbildung 2.3: horizontale und vertikale Grenzen (nach Spreng 1995)

2.4.2 Vertikale Grenzen

Die Festlegung der vertikalen Grenzen bestimmt die Breite der Untersuchung einer Aktivität. Es geht also darum zu entscheiden, welche Energieströme im System enthalten sind, die ein Konsumgut bei seiner Produktion auslöst. Dies soll wieder an Hand der Kühlschrankproduktion erläutert werden. Betrachtet man die Endmontage, so stellt man fest, dass dafür Maschinen notwendig sind. Es erscheint selbstverständlich, den Stromverbrauch der Maschinen dem Herstellprozess zuzuordnen. Nun erfordert auch die Herstellung und Wartung der Maschinen Energie. Im Allgemeinen spricht man von Betriebsmitteln und Einrichtungen, die zur Verfügung gestellt werden müssen, graue Energie verbrauchen und so ebenfalls in das System hineingenommen werden können. Die Bereitstellung dieser Einrichtungen setzt das Vorhandensein weiterer Produktionsstätten voraus. So kann das System im Prinzip beliebig erweitert werden. Man spricht von Approximationen erster Ordnung, zweiter Ordnung usw. Allerdings nimmt die Bedeutung ab, weil der Anteil am Gesamtenergieverbrauch mit jeder Erweiterung sinkt. Ein illustratives Beispiel ist der Personentransport durch den PKW. Der Individualverkehr erfordert den Bau von Straßen, Verkehrssignalen, Lärmschutzwänden und den Einsatz von Rettungskräften. Sollte der dafür notwendige Energieverbrauch in die Bilanz einfließen?

In der Praxis beschränkt man sich auf die 2. Ordnung, da der Arbeitsaufwand der Analyse stark steigt, während die Bedeutung höherer Ordnungen sinkt. Beispielsweise ist eine Autobahn für eine große

Menge an PKWs ausgelegt, so dass jedes einzelne Fahrzeug einen verschwindend geringen Anteil am Bauaufwand mittragen muss.

Passiv genutzte Umweltenergien wie die natürliche Beleuchtung werden nicht bilanziert. In der Literatur wird auch vorgeschlagen, den Nährwert der Lebensmittel, die ein Bauarbeiter zu sich nimmt um die Arbeit zu verrichten im Allgemeinen nicht zu bilanzieren (Drake 1996, VDI 1995).

In dieser Arbeit wird die Analyse der Prozesse meist auf die Approximation erster Ordnung beschränkt. Das heißt, es werden die Einrichtungen und Betriebsmittel der Produktion meist nicht berücksichtigt.

Abbildung 2.4 zeigt die konkrete Ausgestaltung der vertikalen Grenzen und der damit verbundenen Erweiterung des Bilanzierungsraums in der Prozesskettenanalyse.

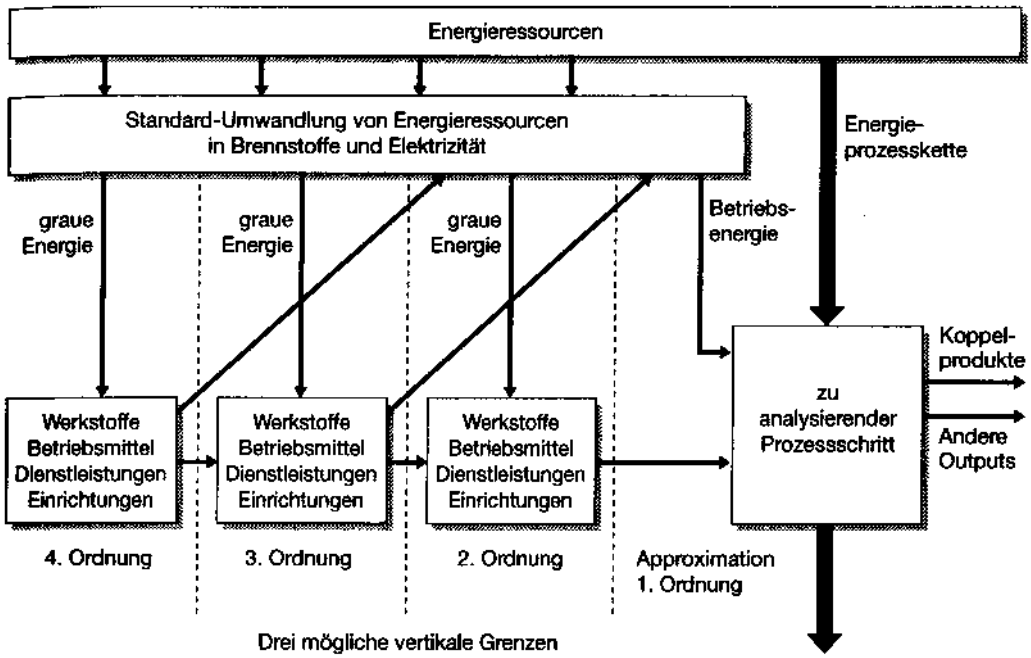

Abbildung 2.4.: Erweitern des Bilanzraums durch Ändern der vertikalen Grenzen (Spreng 1995)

2.4.3 Kuppelproduktion

Es gibt Herstellungsverfahren, die zu mehr als einem Produkt führen. Wie soll nun der Energieverbrauch auf die Produkte aufgeteilt werden?

Wolfgang Mauch (1993) meint, dass der Energieverbrauch meistens nur dem Produkt angelastet wird, das Gegenstand der Betrachtung ist. Ist das Koppelprodukt Abfall, so ist jedenfalls die Entsorgung auch dem Hauptprodukt anzulasten. Hat es jedoch ökonomische Bedeutung, so wird der Entsorgungsaufwand dem Koppelprodukt zugeordnet.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Aufteilung der Energie mit Hilfe physikalischer Größen. Dabei können die Produkte nach Heizwert oder Masse gewichtet werden. Allerdings ist diese Art der Aufteilung aufwändig oder gar unmöglich. Es gibt Koppelprodukte, die für andere Prozesse wertvoll sind und Erzeugnisse substituieren können, für deren Produktion Energie verbraucht worden wäre. Diese eingesparte Energie kann dem ursprünglichen Prozess gutgeschrieben werden (Mauch 1993).

Daniel Spreng (1995) führt noch eine Möglichkeit der Energieaufteilung an. Die Aufteilung erfolgt an Hand des ökonomischen Wertes der Produkte. Sollte ein Koppelprodukt keinen Wert haben, so ist es offensichtlich Abfall und der Energieaufwand wird zur Gänze dem Hauptprodukt zugeordnet. Ein Nachteil ist, dass die Preise einer mehr oder weniger hohen Fluktuation unterliegen, die den Aufteilungsschlüssel instabil machen. Ein sinnvolles Kriterium ist daher beispielsweise der Durchschnittspreis der beiden Produkte über mehrere Jahre.

In den VDI-Berichten 1218 wird der Aufteilungsschlüssel von Koppelprodukten von Schaefer (VDI 1995 S 8) präzisiert:

- Physische Größen: Masse, Volumen, Stoffmenge (Mol)
- Energetische Größen: Heizwert, Brennwert, gewichtete Energieinhalte
- Wirtschaftliche Größen: Marktpreis, monetäre Bewertung
- Energietechnische Größen: Die Energieinhalte der Koppelprodukte, die bei Prozessen entstehen, werden dem Prozess gutgeschrieben.

Bei einem modernen Gas- und Dampfturbinenkraftwerk wird neben der Erzeugung von Strom auch (Fern-)Wärme als Koppelenergie gewonnen, mit der im Winter geheizt werden kann. Die Wärmemenge kann der Stromproduktion gutgeschrieben werden. Allerdings muss sie die Verluste des Transports der Wärme zum Nutzer tragen (Mauch 1993).

3 Kennzahlen von Energiebereitstellungssystemen

Da wir unseren Energiebedarf kaum direkt aus primären Energieträgern decken (wohl niemand besitzt eine Kohlegrube im eigenen Garten), müssen diese über verschiedene Prozesse in die so genannte Endenergie umgewandelt werden. Die Endenergie liegt zum Beispiel in Form von elektrischem Strom, Benzin, Diesel oder auch Holzpellets vor.

Es gibt natürlich eine große Menge an verschiedenen Kennzahlen, die Energiesysteme charakterisieren. Daniel Spreng (1995) definiert zwei Quotienten wie folgt:

$$Quotient\ 1 = \frac{Energieprodukt}{kumulierter\ indirekter\ Energieaufwand}$$

$$Quotient\ 2 = \frac{direkter\ und\ indirekter\ Gesamtenergie - Input}{Energieprodukt}$$

Spreng (1995)

Quotient 1 wird auch manchmal als Erntefaktor bezeichnet. Er gibt eine direkte Antwort auf die Frage, ob mehr (indirekte) Energie in ein System hineingesteckt wird, als es produziert. Zur Bewertung von regenerativen Energiesystemen ist diese Kennzahl hervorragend geeignet, weil sie die schwer quantifizierbaren dynamischen Umweltenergieströme nicht berücksichtigt, die ja, sofern sie nicht umgewandelt werden, keinen ökonomischen Wert haben. Dies entspricht auch Drakes Bewertungsverfahren (Drake 1996). Für diese Arbeit ist der Quotient ohne Belang.

Quotient 2 beantwortet einerseits die Frage nach der Effizienz, spiegelt andererseits den Gesamtenergieverbrauch pro Einheit Energiedienstleistung wider. Für effiziente Systeme liegt der Wert nahe bei 1, weil wenig zusätzliche indirekte Energie aufgewendet werden muss bzw. der Wirkungsgrad der Energieumwandlung hoch ist. Dies ist auch der Wert, den GEMIS als kumulierten Energieverbrauch einer Energiedienstleistung angibt. Der Quotient wird in der Arbeit verwendet.

Wolfgang Mauch (1993) gibt einen ähnlichen Kennwert an, den er kumulierten Bereitstellungsnutzungsgrad nennt. Für ein Kraftwerk sieht er so aus:

$$g_{kum} = \frac{W_{EEV}}{W_{EEV} + W_{Ber} + \sum_{i=1}^{n} KEA_{Anlage}}$$

Mauch (1993)

W_{EEV} ist der Heizwert des Endenergieträgers. Er wird durch die Summe aus W_{EEV}, den Aufwendungen für die Bereitstellung und dem Energieaufwand zum Bau der Anlage dividiert.

4 Computerprogramme

4.1 GEMIS – Globales Emissionsmodell integrierter Systeme

GEMIS wurde in den Jahren 1987 bis 1989 vom Öko-Institut und der Gesamthochschule Kassel entwickelt. Es ist ein Computerprogramm, das vergleichende Analysen von Umwelteffekten und Energiebereitstellungen durchführt. Das Programm wird kontinuierlich weiterentwickelt und aktualisiert. GEMIS wird von der Hessischen Landesregierung gefördert.

Seit 1996 (3. Version) ist GEMIS als public domain software kostenlos verfügbar.

Die Datenbasis umfasst Informationen zu folgenden Prozessen:

- Bereitstellung von Energieträgern und Endenergie aus regenerativen und nicht-regenerativen Quellen
- Bereitstellung von Stoffen (inklusive Lebensmitteln)
- Transportprozesse (Personen und Güter)

GEMIS legt allen Prozessen einen Lebenszyklus zugrunde. Das heißt, es werden alle Emissionen und Energie- und Stoffaufwendungen von der Gewinnung der Primärenergie bis zur Nutzenergie bzw. Bereitstellung dargestellt. Dazu werden Kenndaten der Leistung, Auslastung und Lebensdauer benötigt, die auch in der Datenbasis enthalten sind und verändert werden können.

In GEMIS können verschiedene Datensätze geladen werden. In dieser Arbeit wird der Standarddatensatz verwendet, der in GEMIS enthalten ist und vom Umweltbundesamt Deutschland und dem Öko-Institut stammt. In einigen Fällen wird der österreichische Datensatz verwendet bzw. werden die Prozesse an österreichische Verhältnisse angepasst.

Die meisten Daten können verändert werden, so dass neue Prozesse kreiert werden können. Dies ist ein sehr wichtiges Merkmal, da GEMIS für manche Prozesse relativ ungenaue Abschätzungen der Kenndaten bietet. Für diese Arbeit werden die Kenndaten im Bereich Verkehr und Lebensmittel geändert.

4.2 PROBAS – Prozessorientierte Basisdaten

PROBAS ist ein Projekt, das Basisdaten über Umweltmanagement in einem Webportal zur Verfügung stellt. Es wird vom Öko-Institut und dem Umweltbundesamt (Deutschland) betrieben. Im Gegensatz zu GEMIS ist es nicht möglich, die Input-Daten auf der online-Plattform zu verändern. Dafür beruht PROBAS auf mehreren Projekten, darunter auch GEMIS, und hat daher eine breitere Datenbasis.

GEMIS und PROBAS stellen den kumulierten Energieverbrauch bzw. –aufwand dar. Der kumulierte Energieaufwand ist der relevante Kennwert, der im Weiteren verwendet wird. Es wird hauptsächlich GEMIS verwendet, weil das Programm durch eine etwas komfortablere Bedienung gekennzeichnet ist und die Anpassung der Kenndaten erlaubt.

5 Kumulierter Energieverbrauch (KEV) vs. kumulierter Energieaufwand (KEA)

5.1 Definition

Grundsätzlich versteht man unter dem kumulierten Energieverbrauch bzw. –aufwand den gesamten primärenergetisch bewerteten Verbrauch an Energieressourcen eines Prozesses. Der Unterschied zwischen KEA und KEV besteht in der Bewertung der Stoffe, die in einem Prozess nicht-energetisch verwendet werden. Die Berechnung des KEV erfolgt ohne den Heizwert dieser Stoffe, da dieser bei einer anschließenden Nutzung noch zur Verfügung steht. Beispielsweise kann der Energieinhalt von Kunststoffen am Ende des Produktlebenszyklus in einer Müllverbrennungsanlage verwertet werden.

Beim KEA hingegen wird der Heizwert auch dann addiert, wenn der Stoff nicht-energetisch verwendet wird.

GEMIS erstellt Energiebilanzen nach der VDI-Richtlinie 4600 mit einigen Ausnahmen. In der VDI-Richtlinie finden sich Vorgaben hinsichtlich Bilanzierungsgrenzen und Methodik über die Berechnung des kumulierten Energieaufwandes, auf die hier nicht im Detail eingegangen wird.

Zur Methodik der Berechnung des KEA sollen im Folgenden jedoch einige wichtige Prinzipien erläutert werden, die GEMIS seinen Berechnungen zugrunde legt.

Es wird eine Disaggregation des KEA in erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger durchgeführt (Fritsche et al 1999).

Die Autoren von GEMIS schlagen im Gegensatz zur VDI-Richtlinie einen Nutzungsgrad von 100 % für die Gewinnung von Energieressourcen vor. Das heißt, das Verhältnis aus theoretisch maximal verfügbarem Potential an Energie (zum Beispiel durch die Fallhöhe in einem Wasserkraftwerk) und dem eigentlichen Output wird nicht berechnet, sondern mit dem Wert 1 angesetzt. Dies gilt natürlich nur für die erste Stufe der Prozesskette. Außerdem werden selbstverständlich die Maschinen und notwendigen Bauten zur Energiegewinnung bilanziert.

5.2 Energie- und Stoffströme

Laut VDI-Richtlinie muss der Energieinhalt der verwendeten Stoffe auch mitbilanziert werden, wenn der Stoff nicht-energetisch genutzt wird. Beispielsweise wird der Heizwert von Erdöl zum Gesamt-KEA addiert, wenn daraus Kunststoffe gemacht werden. Daraus folgt, dass die Entsorgungsphase einen entscheidenden Einfluss auf den Gesamt-KEA hat. Im Fall einer energetischen Nutzung, zum Beispiel durch Verbrennen, erhält der Prozess eine Energiegutschrift (Fritsche et al 1999).

Es zeigt sich, dass es praktisch schwer möglich ist, für jedes Produkt differenzierte Daten über die Entsorgung zu finden. Daher ist eine Entkopplung zwischen Nutzungs- und Entsorgungsphase notwendig. Es werden dann ausschließlich die Energieanteile bilanziert, die tatsächlich energetisch genutzt werden. Selbstverständlich sind alle Hilfsenergien und Transportaufwendungen zur Produktion und zum Betrieb ebenfalls Teil der Bilanz.

Am Beispiel der Produktion eines Möbelstücks aus Holz soll die Bilanzierung nach GEMIS verdeutlicht werden. Nur 3 energetische Flüsse werden bilanziert. Es handelt sich um den Energie-Input von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern und den Input von so genannten „anderen“

Energieträgern („KEA-andere“, Fritsche et al 1999), die beim Produktionsprozess entstehen. Unter die Kategorie „KEA andere“ fallen in diesem Beispiel Holzreststoffe, die in der Produktion energetisch genutzt werden. Wenn der Anfall an Holzreststoffen größer ist als der interne Verbrauch, so erhält der Prozess eine energetische Gutschrift und „KEA-andere“ hat einen negativen Wert. Im umgekehrten Fall ist er positiv. An Hand von Abbildung 5.1 erkennt man auch, dass die Entsorgung in die Berechnung des KEA nicht eingeht.

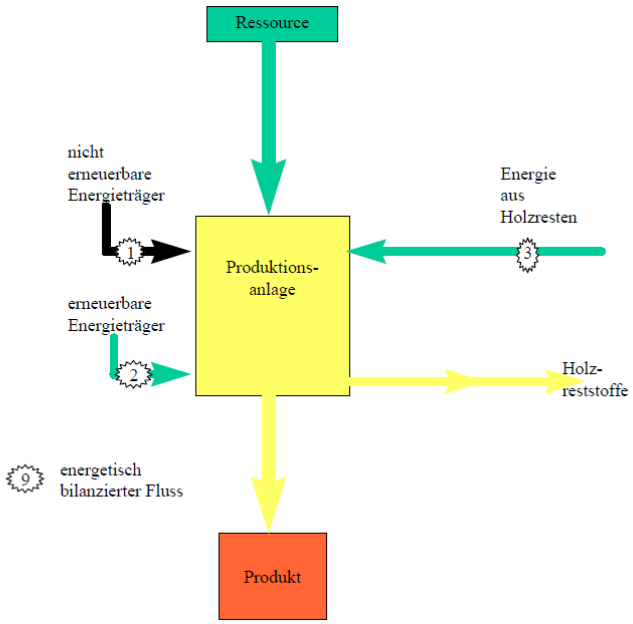

Abbildung 5.1.: Energiefluss eines Prozesses nach GEMIS

In der Literatur wird der KEA häufiger genannt. In dieser Arbeit wird deswegen einheitlich nach der Methodik des KEA bilanziert wie er in GEMIS standardmäßig zur Anwendung kommt.

6 Methoden der Bilanzierung

In der Methodik der Bilanzierung werden zwei Verfahren unterschieden: die Prozesskettenanalyse und die Input-Output-Analyse. Eine dritte Vorgehensweise verknüpft beide Verfahren und wird daher Hybrid-Methode genannt.

6.1 Prozesskettenanalyse

Die Prozesskettenanalyse ist eine genaue Untersuchung der einzelnen Prozessschritte. Für jeden Schritt müssen In- und Outputs definiert und alle Werkstoffe, Einrichtungen und Maschinen quantifiziert werden. Eine Voraussetzung ist die genaue Angabe der horizontalen und vertikalen Grenzen der Prozesse.

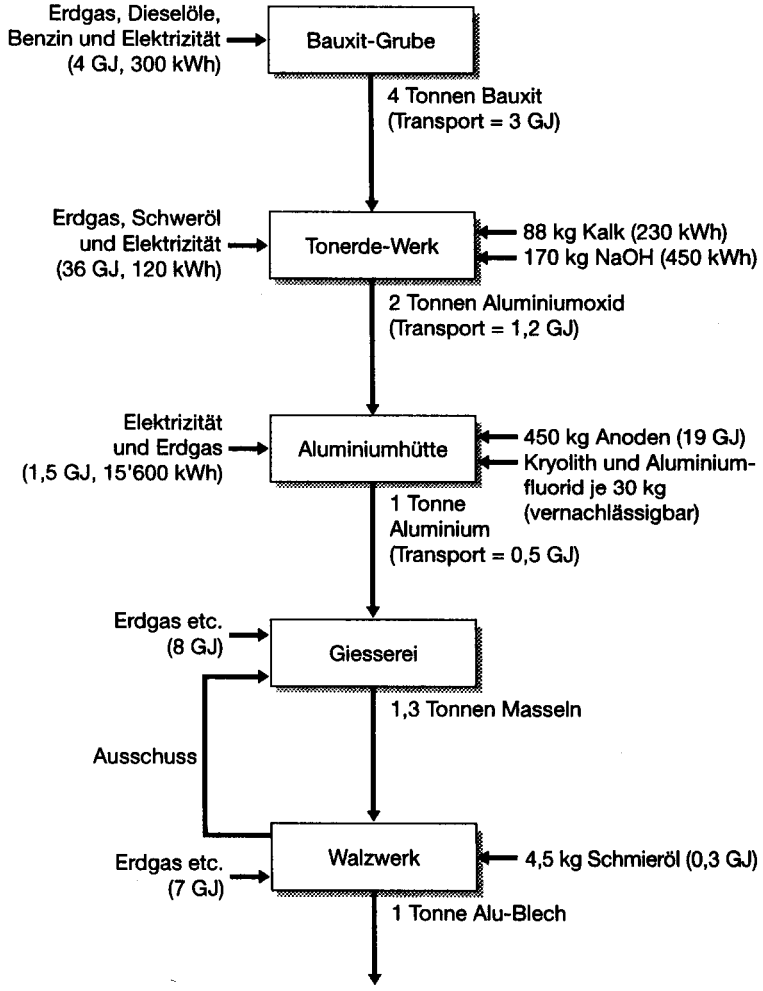

Abbildung 6.1.: Prozesskettenanalyse (Spreng 1995)

Abbildung 6.1 zeigt schematisch die Prozesskette der Aluminiumproduktion. Man erkennt, dass die Schmelzflusselektrolyse in der Aluminiumhütte den größten Anteil am Energieverbrauch hat (15600 kWh).

Vorteile:

- Die Prozesskettenanalyse kann im Prinzip beliebig genau durchgeführt werden. Durch eine intensive Daten-Recherche können sehr detaillierte Ergebnisse erzielt werden.

Nachteile:

- Die Qualität der Ergebnisse hängt stark von den Daten ab, deren Beschaffung sehr arbeitsintensiv oder in manchen Fällen unmöglich ist.
- Durch die starke Verknüpfung mancher Prozesse mit der Wirtschaft gibt es zahlreiche Schnittstellen und es ist nicht immer möglich, einen Energie-Input genau zuzuordnen. Beispielsweise sind der Kohlebergbau und die Stahlindustrie verbunden. Ein wichtiges Energienebenprodukt ist Koks, der für die Stahlindustrie und weitere Anwendungen eingesetzt wird (Spreng 1995).

6.2 Input-Output-Analyse

In der Input-Output-Analyse (IO-Analyse) werden monetär bewertete Güterströme und Energieströme verknüpft. Die IO-Rechnung einer Volkswirtschaft wurde vom Ökonomen Wassily Leontief begründet (Drake 1996). Einige Staaten, darunter auch Österreich, veröffentlichen derartige IO-Tabellen.

Abbildung 6.2 zeigt den Aufbau der IO-Tabelle des statistischen Bundesamts in Deutschland. Die Tabelle der Statistik Austria ist genauso aufgebaut und enthält ebenfalls 58 Sektoren.

	Spalte	1	...	j	...	58	59	60–65	66	67
Zeile		belieferte Sektoren					Σ	letzte Verw.	Σ	ges. Verw.
1	liefernde Sektoren	$x_{1,1}$	...	$x_{1,j}$	...	$x_{1,58}$	...	...	y_1	p_1
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i		$x_{i,1}$	...	x_{ij}	...	$x_{i,58}$	x_i	y_{il}	y_i	p_i
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
58		$x_{58,1}$	...	$x_{58,j}$	...	$x_{58,58}$	...	...	y_{58}	p_{58}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
66	BWS	...	...	...	...	...				
67	Prod.-Wert	q_1	...	q_j	...	q_{58}	...			
68	Importe	m_1	...	m_j	...	m_{58}	...			
69	ges. Aufk. an Gütern	p_1	...	p_j	...	p_{58}	...			

Abbildung 6.2.: IO-Tabelle (Drake 1996)

Liest man die Tabelle zeilenweise, erhält man Informationen darüber, an welche Sektoren ein bestimmter Sektor seine Güter liefert. Dies ist innerhalb der zentralen n x n – Matrix dargestellt. Der Anteil der Produktion, der an den Endverbraucher geliefert wird, ist mit y bezeichnet

Spaltenweise gelesen erkennt man innerhalb der n x n - Matrix, welche Menge an Gütern ein Sektor aus anderen Sektoren bezieht. Außerdem wird eine Angabe über die Bruttowertschöpfung (BWS) dieses Sektors gemacht. Denn ein Sektor verzehrt ja nicht nur Güter, sondern er fügt sie zu einem

neuen Gut zusammen, das einen höheren Wert als die eingekauften Güter hat. Die Addition aller eingekauften Güter und der Bruttowertschöpfung ergibt den Produktionswert eines Sektors.

Um ein Bild über die wirtschaftliche Intensität eines Sektors zu bekommen, werden die Güterlieferungen durch den Produktionswert dividiert. So erhält man Informationen darüber, welche Güterströme in Bewegung gesetzt werden müssen um eine Einheit eines bestimmten Gutes zu erzeugen. Man erhält die Leontief-Matrix C^1 = A, indem jeder Güterstrom x_{ij} durch den Produktionswert des Sektors i dividiert wird:

$$c^1{}_{ij} = a_{ij} = \frac{x_{ij}}{q_i}$$

Das entspricht aber nur der ersten Vorleistungsebene, weswegen die Matrix mit einer hochgestellten 1 bezeichnet wird. Dies kann als Analogon zur Wahl der vertikalen Grenzen in der Prozesskettenanalyse betrachtet werden. In diesem Fall ist es eine Approximation der ersten Ordnung.

Nun sollen weitere Vorleistungen berücksichtigt werden. Beispielsweise benötigt der Sektor Möbelindustrie einen Input aus der Textilindustrie, die wiederum Maschinen aus dem Sektor Maschinenbau braucht. Diese Kette von Vorleistungsebenen lässt sich unendlich lang fortsetzen. Die Berücksichtigung aller Vorleistungsebenen kann mathematisch durch folgende Matrixoperation beschrieben werden:

$$C = I + A + A^2 + A^3 + \ldots + A^n$$

Da die Elemente der Matrix A kleiner als 1 sind, lässt sich die Summe dieser geometrischen Reihe bilden. Man erhält

$$C = (I - A)^{-1}.$$

Die Multiplikation der Leontief Inversen C mit dem Nachfragevektor y ergibt den monetären Wert der weltweit ausgelösten Güterströme. Eine detaillierte Beschreibung der IO-Tabellen nach Leontief findet sich in der Literatur (Leontief 1966).

Zu Energieintensitäten kommt man, indem den Prozessen, die Energie bereit stellen, ein Primärenergieverbrauch zugeordnet wird. So werden prinzipiell alle kommerziellen Energieträger erfasst. Die Energie wird an die Sektoren verteilt. Durch Division des Energieeinsatzes durch die Produktionsmenge erhält man die gesuchte Energieintensität.

Die vertikalen Grenzen der IO-Analyse umschließen die gesamte Wirtschaft. Die Aufteilung der Energieinputs erfolgt nach Höhe der Geldtransaktionen zwischen den Sektoren (Spreng 1995).

Die Methode der IO-Analyse ist mit einigen Vor- und Nachteilen verbunden:

Vorteile:

- Im Gegensatz zur Prozesskettenanalyse werden alle Vorleistungsebenen berücksichtigt, was zu genaueren Resultaten führt.
- Die Methode ist weniger arbeitsintensiv als die Prozesskettenanalyse. Es müssen weniger Daten beschafft werden.

Nachteile:

- Durch die hohe Aggregation der Sektoren sind keine detaillierten Analysen von einzelnen Konsumgütern möglich.
- Die IO-Analyse bezieht ihr Datenmaterial ausschließlich aus dem Inland. Importe werden daher energetisch so bewertet, als ob sie im eigenen Land produziert worden wären. Das kann zu falschen Ergebnissen führen, da die Energieeffizienz der Sektoren in unterschiedlichen Ländern stark variieren kann. Beispielsweise benötigt die Bereitstellung von Strom in Österreich einen niedrigeren primärenergetischen Input als in China, weil sich der Kraftwerkspark stark unterscheidet.
- Nicht-kommerzielle Energieflüsse werden nicht berücksichtigt

In dieser Arbeit wird die Energieintensität der Tabakproduktion aus der IO-Analyse für Deutschland verwendet, die von GEMIS zur Verfügung gestellt wird. Für Vergleichszwecke wird auch die Energieintensität der Möbel- und Textilindustrie herangezogen. Details dazu finden sich in den einzelnen Kapiteln.

6.3 Hybrid-Methode

In der Hybrid-Methode werden die Prozesskettenanalyse und die IO-Analyse vereint. Sie wurde von Van Engelenburg geprägt (Van Engelenburg et al 1994), ist aber nicht sehr verbreitet. Die Essenz der Methode ist, dass den Stoffen, die aufgrund eines geringen Massenanteils vermutlich keinen hohen Energieverbrauch verursachen, ein Energieinhalt mit Hilfe der IO-Analyse zugeordnet wird. Stoffe, die einen großen Massenanteil am Produkt haben oder einen hohen spezifischen Energieaufwand verursachen, werden in einer Prozesskettenanalyse untersucht. Kapitalgüter wie Maschinen oder Gebäude werden ebenfalls über die IO-Analyse bilanziert. Auf eine detaillierte Beschreibung der Hybrid-Methode wird verzichtet, weil sie in dieser Arbeit nicht angewendet wird.

7 Ermittlung des indirekten Energiekonsums der Haushalte

Um den Energieverbrauch der Haushalte zu ermitteln benötigt man außer den Energieintensitäten auch Daten über den Konsum. Kok, Benders und Moll vergleichen drei Methoden (Abbildung 7.1) um den Energieverbrauch von Haushalten zu ermitteln (Kok et al 2006).

Eine reine IO-Analyse (IO-EA) stützt sich nur auf die Daten der nationalen IO-Tabellen.

Man kann die IO-Analyse erweitern, indem Daten über die Haushaltsausgaben eingerechnet werden (IO-EA-expenditure). Von der Statistik Austria wurden diese Daten im Jahr 2005 erhoben (Statistik Austria 2006b). Aus den IO-Tabellen werden Energieintensitäten errechnet, die dann mit den Ausgaben der Haushalte multipliziert werden. Die IO-EA-expenditure-Methode wird dann angewendet, wenn mehrere Berechnungsverfahren zu vergleichen sind wenn keine anderen Daten vorhanden sind.

Die dritte Methode basiert auf einer Hybrid-Analyse (IO-EA-process). Aus der IO-Analyse, die fallweise um Prozesskettenanalysen ergänzt wird, wie oben beschrieben, erhält man durch eine Verknüpfung mit Durchschnittspreisen die Energieintensitäten der Konsumgüter. Auch hier wird eine Studie über die Haushaltsausgaben benötigt.

Die Autorengruppe kommt zu dem wenig überraschenden Ergebnis, dass die IO-Analyse Aussagen über den Energieverbrauch auf makroökonomischer Ebene mache. Hingegen sei die erweiterte Hybrid-Methode gut geeignet um in einzelnen Haushalten Sparpotenziale zu entwickeln.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass alle drei Methoden auf vergleichbare Ergebnisse kommen. Der Grad der Aggregation der Daten variiert natürlich beträchtlich, aber der methodenbedingte Fehler dürfte für alle Verfahren in der gleichen Größenordnung liegen, das heißt, alle Berechnungsverfahren liefern bezüglich ihrer Fehlerhaftigkeit etwa gleich korrekte Ergebnisse.

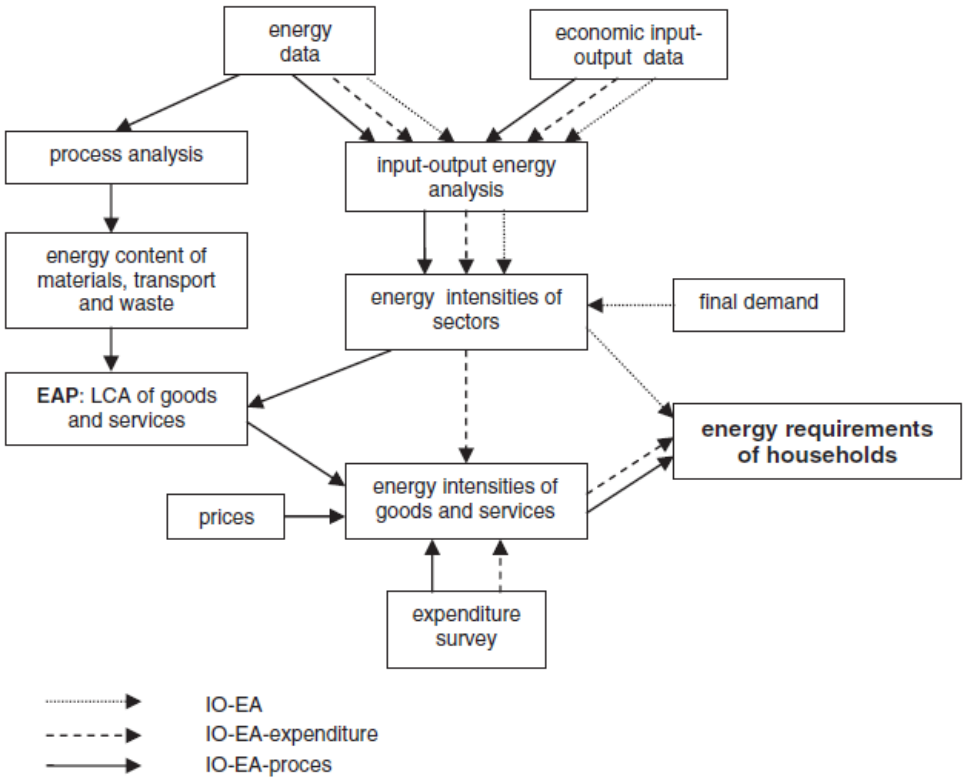

Abbildung 7.1.: Methoden zur Ermittlung des Energieverbrauchs von Haushalten (Kok et al 2006)

In der vorliegenden Arbeit wird der Konsumgüter-Verbrauch von Haushalten aus verschiedenen Studien zusammengetragen. Somit kann man sich den Weg über Preise und Haushaltsausgaben sparen, der mehrere Nachteile bringt: Die Daten über Durchschnittspreise sind ungenau und nicht vollständig und werden von der Statistik Austria nur bis zum Jahr 2003 angegeben. Außerdem ist mit den Haushaltsausgaben für Nahrungsmittel nur der innerhäusliche Verzehr dargestellt. Im Bereich „Gastronomie“ sind zwar auch die Ausgaben für außerhäuslichen Verzehr von Lebensmitteln dargestellt, es ist aber schwierig, die durchschnittliche Zusammensetzung der Gerichte zu ermitteln, die für die Ermittlung der Energieintensität notwendig wäre.

8 Daten & Datenqualität

8.1 Graue Energie

Die meisten Daten über den kumulierten Energieverbrauch stammen von GEMIS, das genaue Angaben über die Datenqualität macht. Es werden auch Studien zu Rate gezogen, die ihre Berechnungen teilweise auf GEMIS stützen (Taylor 2000). Bei manchen Studien ist es jedoch schwer, eine Aussage über die Datenqualität zu machen.

Tabelle 8.1 und 8.2 zeigen die graue Energie für Materialien, Produkten, Dienstleistungen und Energieintensitäten für fertige Produkte. Für die Datensätze aus GEMIS wird auch die Qualität angegeben. Die Daten nach Vringer und Blok (Vringer et al 1995) werden auf Euro umgerechnet und sind inflationsbereinigt.

Daten aus GEMIS bzw. PROBAS sind in der Quellenangabe kursiv und im Wortlaut des Prozessnamens angegeben. So gut es ging, werden den Berechnungen der grauen Energie österreichische Daten zugrunde gelegt. Man erkennt dies an einem „A“ in der Quellenangabe. Da es in Österreich keine Aluminiumproduktion gibt, wird näherungsweise der Aluminiumimport Deutschlands als Primäraluminium verwendet. Für Kupfer werden ebenfalls Daten aus Deutschland genommen.

Der Datensatz für Kunststoffe bezieht sich zum Teil auf Österreich. Einige Werte stammen vom Verband der Kunststoffhersteller Europas (Association of Plastics Manufacturers in Europe – APME). Ihr Ortsbezug ist Europa.

Für Holzmaterialien werden zwei Quellen untersucht. Erstens stammen die Daten aus Vorträgen des Umwelttechnologieforums 1994, zweitens werden sie aus GEMIS berechnet. Einige Daten beziehen sich auf Österreich. Hier dürfte der Unterschied zwischen Österreich und Deutschland allerdings nicht groß sein.

Die graue Energie von Papier bezieht sich auf die Produktion von hochwertigem Büropapier, das in Deutschland produziert wird. Der Unterschied zwischen „Nord“ und „Süd“ liegt in den Herkunftsländern des Sulfatzellstoffs, aus dem das Papier gemacht wird. „Nord“ steht hier für die Länder Norwegen und Schweden, „Süd“ für Länder aus Übersee wie Brasilien. Die Überschusswärme aus der Produktion wird nicht gutgeschrieben, da angenommen wird, dass die Produktionsstätten siedlungsfern gelegen sind.

Die graue Energie von Tonziegeln wird näherungsweise für das Material von Geschirr herangezogen.

Tabelle 8.3 enthält Daten über Transportdienstleistungen. Die Daten über den PKW-Verkehr beziehen sich auf Deutschland, das einen sehr ähnlichen Fahrzeugpark wie Österreich hat. Die Werte beziehen sich auf den kumulierten Energieaufwand, welcher neben dem indirekten auch den direkten Energieverbrauch während des Betriebs beinhaltet.

Es werden auch aggregierte Daten über die graue Energie von Haushalts- und Elektrogeräten verwendet, die in den jeweiligen Kapiteln angeführt werden. Diese stammen aus verschiedenen Studien. Teilweise wird die Bilanzierung nicht nach GEMIS-Standard durchgeführt. Hinweise dazu finden sich in den jeweiligen Kapiteln.

Die Daten über die graue Energie beziehen sich auf die Zeitperiode von ca. 1990 bis 2000.

Material	graue Energie *MJ/kg*	Quelle	Qualität
Metalle			
Sekundäraluminium	27,41	*Metall\Aluminium-DE-sekundär*	mittel
Aluminium aus Import	188,88	*Metall\Aluminium-Import-mix-DE*	mittel
Stahlblech	27,90	*Metall\Stahl-DE-Blech*	mittel
Kupfer	49,43	*Metall\Kupfer-DE-mix*	mittel
Kunststoffe			
High density Polyethylen Behälter	93,06	*Kunststoff\HDPE-Behälter-APME-99*	sehr gut
High density Polyethylen Rohr	87,73	*Kunststoff\HDPE-Rohr-APME-99*	sehr gut
Low density Polyethylen Folie	92,43	*Kunststoff\LDPE-Folie-APME-99*	sehr gut
Polypropylen Folie	95,66	*Kunststoff\PP-Folie(OPP)-APME-99*	sehr gut
Polypropylen Spritzguss	110,10	*Kunststoff\PP-Spritzguss-APME-99*	sehr gut
Polyvinylchlorid Platte	59,88	*Kunststoff\PVC-Platte-APME-99*	sehr gut
Polyvinylchlorid Rohr	59,29	*Kunststoff\PVC-Rohr-APME-99*	sehr gut
Polyvinylchlorid Spritzguss	86,49	*Kunststoff\PVC-Spritzguss-APME-99*	sehr gut
Mittelwert verarbeitete Kunststoffe	**85,58**		
High density Polyethylen	79,91	*Chem-Org\HDPE-A*	mittel
Low density Polyethylen	81,87	*Chem-Org\LDPE-A*	mittel
Expandiertes Polystyrol	100,26	*Kunststoff\EPS-A*	mittel
Polyvinylchlorid	52,07	*Chem-Org\PVC-APME-99*	sehr gut
Polyethylenterephthalat	78,97	*Chem-Org\PET-APME-97*	sehr gut
Polykarbonat	106,63	*Chem-Org\PC-APME-99*	sehr gut
Polypropylen	71,42	*Chem-Org\PP-APME-99*	sehr gut
Mittelwert Kunststoffe	**81,59**		
EPDM Gummi	94,83	*Chem-Org\Gummi-EPDM*	vorläufig
PUR-Weichschaum	126,13	*Kunststoff\PUR-Weichschaum*	mittel
Holz und Papier			
Spanplatte	10,82	*Umwelttechnologieforum 1994*	
Holz Spanplatte	10,88	*HolzWirtschaft\Spanplatte*	vorläufig
Faserplatte hart	15,09	*Umwelttechnologieforum 1994*	
Faserplatte weich	16,15	*Umwelttechnologieforum 1994*	
Faserplatte weich	12,271	*HolzWirtschaft\Weichfaserplatte-A*	mittel
Brettschichtholz Fichte	11,72	*HolzWirtschaft\Brettschichtholz-Fichte*	mittel
Sperrholz Fichte	28,09	*HolzWirtschaft\Sperrholz-Fichte-A*	mittel
Mittelwert Holzmaterialien	**15,00**		
(Büro-)Papier primär Nord	38,61	*ifeu 2006*	
(Büro-)Papier primär Süd	40,80	*ifeu 2006*	
Mittelwert Primärpapier	**39,71**		
(Büro-)Papier sekundär	15,14	*ifeu 2006*	
Wellpappe	11,40	*Papier-Pappe\Testliner-DE*	gut
Mittelwert Sekundärpapier	**13,27**		

Tabelle 8.1: Graue Energie verschiedener Materialien

Material, Produkt, Dienstleistung	graue Energie MJ/kg	Quelle	Qualität
Glas, Keramik, Baumwolle			
Glas	13,0272	*Steine-Erden\Glas-flach-A-neu*	mittel
Glaswolle	28,0683	*Steine-Erden\Glaswolle-A*	mittel
Tonziegel	4,66	*Steine-Erden\Tonziegel*	vorläufig
Baumwolle entkörnt	59,35	*Entkörnen-CN\Baumwolle-CN*	
Lebensmittel			
Lebensmittel		GEMIS	meist einfache Schätzung
Energieintensitäten MJ/€			
Zigaretten	1,39	Tabak-D-IOT-95	gut
Bekleidung	2,90	Umweltökonomische Gesamtrechnung 2007	
Bekleidung	4,78	nach Vringer et al 1995	
Möbel	5,95	nach Vringer et al 1995	

Tabelle 8.2: Graue Energie verschiedener Materialien, Produkte und Dienstleistungen

Transportdienstleistung	KEA MJ	Quelle	Qualität
1 Pkm mit PKW-Diesel	1,87	*PKW-Diesel*	gut
1 Pkm mit PKW-Benzin	2,36	*PKW-Benzin*	gut
1 tkm LKW	1,91	*LKW-2005-A*	sehr gut
1 Pkm Flugzeug	4,19	GEMIS modifiziert	einfache Schätzung
1 Pkm Bahn	1,27	GEMIS modifiziert	mittel
1 Pkm Straßenbahn	1,07	GEMIS modifiziert	mittel
1 Pkm Bus	1,78	GEMIS modifiziert	sehr gut

Tabelle 8.3: Kumulierter Energieaufwand (KEA) verschiedener Transportdienstleistungen

8.2 Konsum

Daten über den Verbrauch von Konsumgütern kommen aus einer Vielzahl von Studien.

Eine bedeutende Rolle spielt die Statistik Austria. Für den Verbrauch von Lebensmitteln wird die Versorgungsstatistik herangezogen. Die Konjunkturstatistik im Produzierenden Bereich (2006e) liefert die Daten für den Möbelverbrauch.

Eigene Rechenmodelle kommen zum Beispiel bei der Berechnung des Verbrauchs von Haushaltsgeräten zum Einsatz. Über den Ausstattungsgrad und die durchschnittliche Lebensdauer kann die durchschnittliche Zahl der Anschaffungen pro Jahr errechnet werden.

Bezüglich des Verbrauchs von Kunststoffen spielt die Verpackungsindustrie eine große Rolle. Daten über den Verpackungsverbrauch stammen vom Bundesabfallplan (2006).

Über die Datenqualität lässt sich in den meisten Fällen auch hier schwer berichten.

8.3 Bevölkerung

Die Daten über die österreichische Bevölkerung und die Anzahl der Haushalte stammen von der Statistik Austria (2006a).

Anzahl der Haushalte	3470000
durchschnittliche Personenzahl pro Haushalt	2,34
Einwohner Österreich	8119800

Tabelle 8.4: Bevölkerungsdaten für Österreich 2005 (Statistik Austria 2006a

9 Methodik und Abgrenzung

Aufgrund der Verschiedenheit der untersuchten Konsumgüter und Dienstleistungen werden unterschiedliche Berechnungsmodelle angewendet, die im jeweiligen Kapitel erläutert werden. Alle Daten stammen aus Publikationen oder persönlichen Mitteilungen. Ein wesentlicher Teil der Arbeit bestand in der Erhebung der Daten.

Die Berechnung beruht einerseits auf bewährten Methoden, andererseits werden auch eigene Rechenmodelle entwickelt. Hinweise dazu finden sich in den einzelnen Kapiteln.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen eine Momentaufnahme dar. Es werden daher keine Trends des indirekten Energieverbrauchs abgebildet. Der untersuchte Zeitraum ist das Jahr 2005. Aufgrund fehlender Statistiken wird manchmal auf Daten von vorangegangenen oder folgenden Jahren zurückgegriffen.

Die horizontalen Grenzen gestalten sich wie folgt. Der Beginn des Bilanzierungsraums ist die Gewinnung der Rohstoffe bzw. der Primärenergieträger. Das Ende der Bilanzierung ist der Beginn der Nutzungsphase des betrachteten Produkts. Beim Verkehr wird auch eine Bilanz inklusive Nutzungsphase erstellt.

Bei den vertikalen Grenzen wird nur die Approximation erster Ordnung betrachtet.

Die Bilanzierung wird nach den KEA-Richtlinien durchgeführt, die oben beschrieben sind und auch dem GEMIS-Standard entsprechen. Bei einigen Daten, die der Literatur entnommen sind, fehlt eine Angabe über die Abgrenzung und Art der Bilanzierung. In den jeweiligen Kapiteln wird darauf hingewiesen.

10 Durchführung der Ermittlung des indirekten Energieverbrauchs

10.1 Verkehr

Der indirekte Energieverbrauch des Individualverkehrs (Kraftfahrzeuge, Fahrrad) wird durch den Materialaufwand der Fahrzeuge bestimmt. Der Energieverbrauch der Approximation zweiter Ordnung wie zum Beispiel der Aufwand beim Straßenbau und der Stromverbrauch von Ampeln wird nicht betrachtet.

10.1.1 PKW & Motorrad

Für die Berechnung der grauen Energie werden nur Anschaffungen von Neuwagen betrachtet, weil Gebrauchtwagen jedenfalls zu einem früheren Zeitpunkt als Neuzulassung in die Statistik eingeflossen sind. Zu einer Verzerrung käme es nur dann, wenn ein Großteil der Gebrauchtwagen aus dem Ausland importiert oder ins Ausland exportiert wird. Es wird davon ausgegangen, dass dies nicht der Fall ist. Die Berechnung des indirekten Energieverbrauchs erfolgt auf drei Arten. Die Berechnung der grauen Energie der einspurigen Kraftfahrzeuge erfolgt nur über die Zulassungsstatistik.

10.1.1.1 PKW-Zulassungsstatistik

Aus der Zulassungsstatistik erhält man die Anzahl der Kraftfahrzeuge, die an österreichische Haushalte verkauft wurden. Der Energieverbrauch zur Herstellung eines Fahrzeugs beträgt 82,5 GJ. Daraus ergibt sich ein Gesamtenergieverbrauch von 25,4 PJ.

Neu-Zulassungen 2005	307915	Statistik Austria 2006a
Herstellungsenergie pro Fahrzeug GJ	82,5	Hoffmann 1995
Gesamt PJ	**25,40**	

Tabelle 10.1: Berechnung des grauen Energieverbrauchs von PKWs über die Zulassungsstatistik

10.1.1.2 PKW-Fahrleistung

Eine Fahrt mit dem Automobil verursacht einen indirekten und einen direkten Energieverbrauch. Die durchschnittliche Fahrleistung wird für Diesel- und Benzinfahrzeuge vom ÖAMTC getrennt angegeben und die Berechnung der grauen Energie wird auch getrennt durchgeführt.

Tabelle 10.2 enthält Daten über den PKW-Bestand und die Fahrgewohnheiten. Die Anzahl der Personenkilometer wurde schon an den Anteil der Antriebsart angepasst. Für die Dieselfahrzeuge wurde also eine Gesamtkilometerzahl bestimmt und von davon ein Anteil von 47 % genommen.

Fahrleistung	**Diesel**	**Benzin**	**Quelle**
Anzahl PKW pro 1000 Einwohner	507	507	Statistik Austria 2006a
Personen pro Haushalt	2,34	2,34	Statistik Austria 2006a
PKW pro Haushalt	1,186	1,186	
Anteil der Antriebsarten am Fahrzeugbestand %	47,2	52,8	ÖAMTC 2007
Kilometer pro PKW und Jahr	16300	11700	ÖAMTC 2007
Personen pro Fahrzeug	1,4	1,4	Quack et al 2004
Pkm pro Jahr und Haushalt	12779	10261	

Tabelle 10.2: Fahrzeugbestand, Fahrgewohnheiten und Fahrleistung

In Tabelle 10.3 sind die Daten angegeben, die den Input für die Berechnung in GEMIS darstellen. GEMIS schlägt zwar Daten vor, diese sind aber ungenau und damit wenig brauchbar. Außerdem

können sie an österreichische Verhältnisse angepasst werden. Der Materialverbrauch eines PKW ist sehr grob abgeschätzt.

GEMIS - Eingangsdaten	PKW-Benzin	PKW-Diesel	Quelle
Metall\Stahl-DE-mix *kg*	1000	1100	eigene Annahme
Chem-Org\HDPE *kg*	200	200	eigene Annahme
Fahrleistung *km*	11700	16300	ÖAMTC 2007
Lebensdauer *Jahre*	10	10	eigene Annahme
Besetzungsgrad *Personen*	1,4	1,4	Quack et al 2004

Tabelle 10.3: Eingangsdaten für die Berechnung in GEMIS

Tabelle 10.3 enthält Daten über den Energieverbrauch des PKW-Verkehrs. Laut GEMIS beträgt der spezifische kumulierte Energieaufwand 1,97 MJ für Diesel- bzw. 2,34 MJ für Benzinfahrzeuge. Dieser Wert beinhaltet also neben der Abnutzung auch den Kraftstoffverbrauch. Der reine Materialverbrauch, ausgedrückt in Energieeinheiten, beträgt 0,16 bzw. 0,26 MJ/Pkm. Ein Dieselfahrzeug ist zwar um 100 kg schwerer, hat aber eine höhere Fahrleistung bei gleicher Lebensdauer, was den Nachteil der energieintensiveren Fertigung überkompensiert.

	Diesel	Benzin	Quelle
KEA PKW *MJ/Pkm*	1,97	2,34	GEMIS
graue Energie *MJ/Pkm*	0,16	0,26	GEMIS
Gesamtverbrauch *PJ*			
direkte und graue Energie	87	83	
grauer Energieverbrauch	7,3	11,7	
Anteil indirekter Energie *%*	8,4	14,0	
PKW gesamt indirekt	**19,0**		
PKW gesamt	**170,7**		

Tabelle 10.4: Daten zum Energieverbrauch des PKW-Verkehrs aufgrund der Fahrleistung

Der indirekte Energieverbrauch des PKW-Verkehrs beträgt 19 PJ. Der Anteil der grauen Energie am Gesamtverbrauch ist niedrig und liegt bei rund 7 % für Benzin- bzw. 12 % für Dieselfahrzeuge.

10.1.1.3 PKW-Energieintensität (MJ/€)

Die Berechnung der grauen Energie erfolgt über die Haushaltsausgaben und den Durchschnittspreis für Neuwagen. Die Durchschnittspreise stammen aus einer Quelle aus Deutschland, die mit Hilfe von Preisindizes an Österreich angepasst wird. Mit der Herstellungsenergie eines Fahrzeugs kann ein Gesamtenergieverbrauch von 12,9 PJ errechnet werden.

Herstellungsenergie pro Fahrzeug *GJ*	82,5	Hoffmann 1995
Durchschnittspreis *€*	26428	Deutsch. Kraftfahrzeuggew. Zentralverband 2004; Hofbauer et al 2006
Energieintensität *MJ/€*	3,122	
Haushaltsausgaben *€/Monat*	99,4	Statistik Austria 2006b
Verbrauch pro Haushalt *GJ*	3,7	
Gesamt *PJ*	**12,9**	

Tabelle 10.5: Energieverbrauch des PKW-Verkehrs aufgrund der Haushaltsausgaben und Energieintensitäten

10.1.1.4 Motorrad

Es wird angenommen, dass sich die Herstellungsenergie direkt proportional zur Masse von PKW und Motorrad verhält. Daraus resultiert eine Herstellungsenergie von 8,49 GJ pro Motorrad. Die Berechnung des gesamten grauen Energieverbrauchs erfolgt nur über die Zulassungsstatistik. Demnach müssen 0,41 PJ für die Herstellung der Motorräder aufgewendet werden.

Durchschnittsgewicht PKW *kg*	1750	NZZ Online 2004
Durchschnittsgewicht Motorrad *kg*	180	eigene Annahme
Herstellungsenergie Motorrad *GJ*	8,49	
Neu-Zulassungen	48774	
Gesamt *PJ*	**0,41**	

Tabelle 10.6: grauer Energieverbrauch von Motorrädern

10.1.2 Fahrrad

Die Berechnung der grauen Energie erfolgt auf zwei Arten:

10.1.2.1 Verkaufsstatistik

2005 wurden in Österreich 443000 Fahrräder verkauft (Rauh 2006). Die Angaben zum Materialverbrauch pro Fahrrad stammen aus „Öko-Bilanzen von Fahrzeugen“ (Teufel et al 1999). Die Berechnung der Herstellungsenergie erfolgt auf Basis der grauen Energie der Werkstoffe, der Montage und des Transports. Es wird angenommen, dass 5 % der grauen Energie der Werkstoffe zur Fertigung des Fahrrads aufgewendet werden muss. Es resultiert ein Gesamtbedarf an grauer Energie von 0,23 PJ.

Material	**Masse *kg***	**graue Energie *MJ***	**Quelle**
Stahl (Stahlblech)	11	306,9	*Metall\Stahl-DE-Blech*
Aluminium	2	135,6	*Metall\Aluminium-Import-mix-DE*
Kupfer	0,1	4,9	*Metall\Kupfer-DE-mix*
Kunststoffe	1	12,2	Chem-Org\HDPE
Reifen	1,2	36,9	*Chem-Org\Gummi_EPDM*
Summe pro Fahrrad	**15,3**	**496,5**	

Tabelle 10.7: Energieaufwand zur Herstellung der Materialien eines Fahrrads (nach Teufel et al 1999)

Graue Energie der Materialien *MJ*	496,49
Montageenergie *MJ*	24,82
Transport LKW *300 km*	8,79
Summe Fahrrad *MJ*	530,11
Graue Energie *PJ*	**0,23**

Tabelle 10.8: grauer Energieverbrauch aller verkauften Fahrräder

10.1.2.2 Fahrleistung

Die durchschnittliche Fahrleistung beträgt etwa 162 km pro Person und Jahr für ganz Österreich. Tatsächlich benutzen aber nur etwa 1,2 Mio. Menschen das Fahrrad im Alltag. Der Anteil der Radfahrer, der Radfahren als Sport betreibt, wird hier nicht untersucht und spielt aufgrund des geringen Einflusses auf die Ergebnisse keine Rolle.

Um den spezifischen Energieverbrauch zu berechnen, muss man die Jahres-Fahrleistung eines Fahrrades ermitteln. Rechnet man die 162 km um auf 1,2 Mio. Menschen, so erhält man einen Wert von knapp 1100 km pro Jahr und Person. Es wird angenommen, dass diese 1100 km auf dem eigenen

Fahrrad zurückgelegt werden, woraus sich eine durchschnittliche Fahrleistung eines Fahrrades von etwa 1100 km ergibt. Dieser Wert ist vermutlich etwas zu hoch angesetzt, da es viele Fahrräder gibt, die selten oder gar nicht verwendet werden, was den spezifischen Energieverbrauch pro Personenkilometer erhöht. Auf der anderen Seite erreichen diese allerdings meistens eine höhere Lebensdauer. Das wiederum dämpft den spezifischen Energieverbrauch. Die Effekte gleichen sich in etwa aus. Eine Verdopplung der Lebensdauer auf 20 Jahre und eine Halbierung der jährlichen Fahrleistung auf 550 erhöht den Energieverbrauch laut GEMIS um 0,003 MJ/Pkm.

Eine weitere Anpassung des Datensatzes betrifft den Materialverbrauch pro Fahrrad. Dieser wird aus Tabelle 10.7 in den Prozess übernommen.

Der gesamte Energieverbrauch beträgt rund 0,2 PJ. Hingegen liegt der graue Energieverbrauch bei 0,08 PJ.

Radfahrer	1200000	VCÖ 2006a
Bevölkerung	8119800	Statistik Austria 2006a
Kilometer pro Person und Jahr	162	VCÖ 2006a
Kilometerleistung pro Fahrrad *km*	1096	
Energieverbrauch bei 15 km/h *kJ/km*	106	Massholder 2008
KEA Fahrrad *MJ/Pkm*	0,17	GEMIS Fahrrad Österreich
Graue Energie Fahrrad *MJ/Pkm*	0,06	
Graue Energie *PJ*	**0,08**	
Gesamt *PJ*	**0,22**	

Tabelle 10.9: Energieverbrauch des Fahrradverkehrs aufgrund der Fahrleistung

10.1.3 Flugverkehr

Der VCÖ (2006b) gibt für das Jahr 2005 eine Flugverkehrsleistung von 5,3 Milliarden Personenkilometer an.

Die Eingangsdaten zur Berechnung in GEMIS werden angepasst. Die Änderung der Parameter und die zugrunde liegenden Daten sind in Tabelle 10.10 zusammengefasst. Die durchschnittliche Lebensdauer beträgt zwar 15 Jahre, aber wegen der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten und dem damit verbundenen Materialverbrauch wird der Wert bei 10 Jahren belassen, was dem Vorschlag von GEMIS entspricht. Des Weiteren wird die jährliche Flugleistung auf 1500000 km erhöht. Das Durchschnittsgewicht der Verkehrsflugzeuge wird aus einem Informationsblatt des Flughafen Linz errechnet (Airport Linz 2005). Dabei werden die meisten der dort angegebenen Flugzeuge der Marke Boeing und Airbus berücksichtigt. Die Flughafen Wien AG (2007) gibt eine durchschnittliche Auslastung von 70 Passagieren pro Flug an. Damit es nicht zu Verzerrungen bei der Berechnung des Energieverbrauchs pro zurückgelegtem Kilometer kommt, werden alle größeren Flugzeuge mit einem Gewicht von mehr als 100 t nicht in die Berechnung des durchschnittlichen Gewichts und der durchschnittlichen Zahl der Sitzplätze einbezogen. Schließlich wird Aluminium als Material des Flugzeugs festgelegt, was näherungsweise für alle verbauten Materialien steht.

Bezüglich des spezifischen Energieverbrauchs werden in der Literatur Werte zwischen 3 und 10 Litern pro Passagier pro 100 km genannt. Die untere Grenze des Verbrauchs gilt aber nur für große Flugzeuge wie die Boeing 747 oder den Airbus 380 und bei voller Auslastung der Flugzeuge. Der angenommene Verbrauch von 4 Litern wird mit der durchschnittlichen Anzahl der Sitzplätze multipliziert, man erhält einen Wert von 255 MJ/km. Zur Berechnung der durchschnittlichen Zahl an

Sitzplätzen werden dieselben Flugzeuge wie zur Berechnung des Durchschnittsgewichts herangezogen.

GEMIS – Eingangsdaten Flugzeug		**Quelle**
Lebensdauer Jahre	10	wikipedia 2008a
Flugleistung km/Jahr	1500000	eigene Annahme
Metall\Aluminium-DE kg	45398	Airport Linz 2005, eigene Annahme
Energie		
Kerosinverbrauch pro Passagier l/100km	4	eigene Annahme
durchschn. Zahl von Sitzplätzen	187	Airport Linz 2005
durchschn. Passagierzahl pro Flug	70	Flughafen Wien AG 2007
spez. Energieverbrauch MJ/km	255	

Tabelle 10.10: Eingangsdaten des Flugverkehrs für die Berechnung in GEMIS

In Tabelle 10.10 ist ein spezifischer Energieverbrauch von 4,72 MJ/Pkm angegeben. In diesem Wert ist schon die Tatsache berücksichtigt, dass die Flüge nicht immer voll ausgelastet sind.

Der Flugverkehr verursacht einen grauen Energieverbrauch von 2,84 PJ bzw. einen Gesamtverbrauch von rund 25 PJ.

Personenkilometer in Mio.	5300	VCÖ 2006b
Energie *MJ/Pkm*	4,72	GEMIS
Graue Energie *MJ/Pkm*	0,54	
Graue Energie *PJ*	**2,84**	
Gesamt *PJ*	**25,02**	

Tabelle 10.11: Energieverbrauch des Flugverkehrs

10.1.4 Bahn

In diesem Kapitel wird nur der Bahnverkehr zwischen den Städten und Ortschaften behandelt. Der innerstädtische öffentliche Verkehr wird im nächsten Kapitel untersucht.

Der Energieverbrauch des Bahnverkehrs wird über die zurückgelegten Personenkilometer berechnet. Die Verkehrsstatistik der Statistik Austria (2007) liefert einen Betrag für die Verkehrsleistung der Bahn.

Bezüglich des spezifischen Energieverbrauchs wird ein Kennwert für elektrisch betriebene Strecken verwendet. In Österreich sind zwar nur 60 % der Strecke elektrifiziert, aber darauf werden 96 % der Fahrten abgewickelt. Die restlichen Fahrten werden näherungsweise ebenfalls als elektrifiziert betrachtet. In Deutschland werden etwa 80 % des elektrischen Stroms mit Hilfe von Wärmekraftwerken erzeugt. Der österreichische Bahnstrom kommt zu einem großen Teil aus Wasserkraftwerken. Um diesem Unterschied Rechnung zu tragen, wird der Datensatz von GEMIS angepasst.

Abbildung 10.1: modifizierte Prozesskette des Personentransports mit der Bahn in GEMIS

Abbildung 10.1 zeigt die Prozesskette des Personentransports mit der Bahn. Geändert wird nur der Kraftwerkspark, der die elektrische Energie zur Verfügung stellt. GEMIS hat einen Datensatz für den österreichischen Kraftwerkspark, der hier näherungsweise für die Erzeugung von Bahnstrom herangezogen wird. Die Verteilung des Stroms auf das Bahnnetz ist mit Verlusten verbunden, die im Prozess „Strom Bahn Österreich“ subsumiert sind. Die Parameter dieses Prozesses entsprechen den Werten, die im äquivalenten Prozess „Netz-el-DE-2000-Bahnstrom“ für die deutsche Bahn angegeben sind.

Bahn		Quelle
Personenkilometer	9100000000	Statistik Austria 2007
Energie *MJ/km*	1,61	*GEMIS*
Graue Energie *MJ/km*	0,24	*GEMIS*
Graue Energie *PJ*	**2,21**	
Gesamt *PJ*	**14,61**	

Tabelle 10.12: Energieverbrauch des Bahnverkehrs

Der graue Energieverbrauch des Bahnverkehrs beträgt 2,21 PJ, insgesamt mussten 14,61 PJ aufgewendet werden.

10.1.5 Straßenbahn, U-Bahn und Buslinien

In diesem Kapitel wird der Energieverbrauch der öffentlichen Verkehrsmittel in den drei größten Städten bilanziert.

In Tabelle 10.13 sind die Daten für die Berechnung der Verkehrsleistung angegeben. Man erhält diese, wenn man die Anzahl der Fahrgäste mit der durchschnittlichen Weglänge verknüpft. Davon ausgenommen ist der öffentliche Verkehr in Linz, weil die Linz AG Daten über die zurückgelegten Personenkilometer veröffentlicht und diese somit direkt verwendet werden können. Die durchschnittliche Weglänge beträgt für Wien 6,75 km, welche auch für die anderen Städte verwendet wird.

Straßen- und U-Bahn	**Wien**	**Graz**	**Linz**	Quelle
Fahrgäste in Mio.	424,8	51,6		Wikipedia 2004, Grazer Verkehrsbetriebe 2006
Weglänge *km*	6,75	6,75	6,75	Herry et al 2007
Personenkilometer in Mio.	2867,4	348,3	138,3	Linz AG 2003
Energie *MJ/Pkm*	1,07	1,07	1,07	GEMIS
Graue Energie *MJ/Pkm*	0,020	0,020	0,020	
Graue Energie *PJ*	**0,075**	**0,007**	**0,003**	
Gesamt *PJ*	**3,073**	**0,373**	**0,148**	
Buslinien	**Wien**	**Graz**	**Linz**	Quelle
Fahrgäste in Mio.	110,5	46,5		Wikipedia 2004, Grazer Verkehrsbetriebe 2006
Weglänge *km*	6,75	6,75	6,75	Herry et al 2007
Pkm in Mio.	745,9	313,8	155,7	Linz AG 2003
Energie *MJ/Pkm*	1,78	1,78	1,78	*Bus-Linie-IO-EURO2 Österreich*
graue Energie *MJ/Pkm*	0,060	0,060	0,060	
Graue Energie *PJ*	**0,045**	**0,019**	**0,009**	
Gesamt *PJ*	**1,327**	**0,558**	**0,277**	
Graue Energie *PJ*	**0,14**			
Gesamt *PJ*	**5,76**			

Tabelle 10.13: Energieverbrauch des öffentlichen innerstädtischen Straßen- und U-Bahnverkehrs

Der Energieverbrauch wird in GEMIS nur für die Straßenbahn angegeben, näherungsweise wird dieser Wert auch für die U-Bahn herangezogen. Der Kraftwerkspark wird, analog zur Bahn, an österreichische Verhältnisse angepasst. Es mussten 0,14 PJ graue Energie bzw. 5,76 PJ insgesamt aufgewendet werden.

10.1.6 Zusammenfassung Verkehr

10.1.6.1 Gesamter Energieverbrauch

Der Verkehr verursacht einen Energieverbrauch von 210,5 PJ. Er wird in Abbildung 10.2 anteilsmäßig dargestellt und umfasst den direkten und indirekten Energieverbrauch der Prozesse. Der graue Energieverbrauch manifestiert sich im Verbrauch der Materialien, aus denen die Transportmittel zusammengesetzt sind. Der Bau von Infrastruktur wird nicht berücksichtigt.

Beim Fahrradverkehr wird die Antriebsenergie über Muskelkraft geliefert, was eine nicht kommerzielle Energiequelle darstellt. Aufgrund dieser Tatsache stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, diese Energieform überhaupt zu quantifizieren und in die Bilanz zu nehmen. Um eine einheitliche Darstellung zu gewährleisten wird sie eingerechnet.

Der motorisierte Individualverkehr dominiert den Energieverbrauch mit 81 % deutlich, was an der relativ hohen Verkehrsleistung und der vergleichsweise niedrigen Lebensdauer der Fahrzeuge liegt. Flugzeug und Bahn folgen mit 11 bzw. 5 %. Warum der Flugverkehr im Vergleich zum Bahnverkehr nur sechs Prozentpunkte höher liegt, soll kurz diskutiert werden.

Gründe für einen hohen Energieverbrauch des Flugverkehrs:

- Flugzeuge haben einen hohen spezifischen Energieverbrauch, weil sie durch ihre hohe Geschwindigkeit einen überproportional hohen Luftwiderstand überwinden müssen.
- Der Einsatz von Leichtmetallen im Flugzeugbau macht die Herstellung sehr energieintensiv.

Gründe für einen hohen Energieverbrauch des Bahnverkehrs:

- Die Bahn erbringt eine doppelt so hohe Verkehrsleistung wie das Flugzeug.
- Die Erzeugung von elektrischem Strom erfolgt zu etwa 40 % aus Wärmekraftwerken, die einen ähnlich niedrigen Wirkungsgrad aufweisen wie Flugzeugturbinen. Durch die Verteilung des elektrischen Stroms entstehen ebenfalls Verluste.
- Die Auslastung der Kapazität spielt eine große Rolle. Aufgrund der höheren Treibstoffkosten des Flugzeugs und der hohen Subventionierung der Bahn dürfte diese im Bahnverkehr im Allgemeinen schlechter sein.

Bemerkung: Beim Vergleich von Flugzeug und Bahn muss man beachten, dass das Verhältnis des direkten Energieverbrauchs der Sekundärenergieträger, also Kerosin und elektrischem Strom, pro Personenkilometer bei fast 5 liegt. Das heißt, das Flugzeug benötigt 5-mal mehr Kerosin als die Bahn elektrischen Strom (GEMIS).

Der öffentliche innerstädtische Verkehr hat einen Anteil von 3 %. Erwartungsgemäß spielt der Energieverbrauch des Fahrradverkehrs eine vernachlässigbare Rolle, was natürlich an der niedrigen erforderlichen Antriebsenergie und der geringen Fahrleistung liegt.

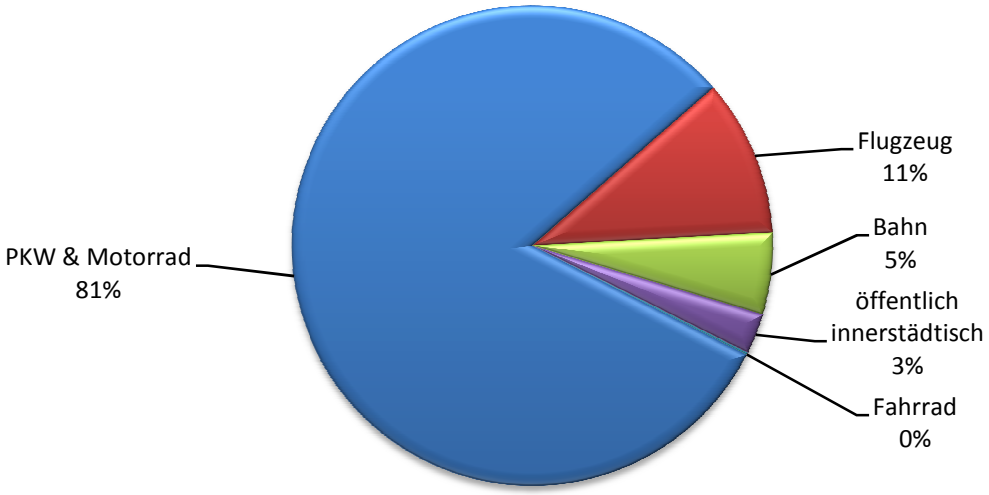

Abbildung 10.2: Gesamter Energieverbrauch des Verkehrs

10.1.6.2 Grauer Energieverbrauch

Der graue Energieverbrauch des Verkehrs beträgt rund 20 PJ. Für den PKW- und Fahrradverkehr wird der Mittelwert aus den unterschiedlichen Berechnungsmethoden gebildet.

In Abbildung 10.3 ist die Verteilung Energieverbrauchs dargestellt. Der Anteil des Individualverkehrs ist mit 98 % sehr hoch. Der Rest von 2 % entfällt auf Fahrrad, öffentlichen Verkehr und Flugverkehr. Innerhalb dieser Gruppe beansprucht das Fahrrad mit 37 % den ersten Platz als größter grauer Energieverbraucher. Wie kommt es zu diesem höchst überraschenden Ergebnis?

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, muss man sich die Berechnungsmethodik genau ansehen. Wenn man den grauen Energieverbrauch des Fahrradverkehrs über die Fahrleistung berechnet, erhält man 0,08 PJ, was knapp über dem Flugverkehr liegt, bei Berechnung über die Verkaufsstatistik kommt man auf den fast dreifachen Wert von 0,22 PJ. Letztere Methode ist mit der Unsicherheit behaftet, dass in der Quelle (Rauh 2006) nicht angegeben ist, ob auch der Verkauf von Gebrauchtfahrräder Teil der Statistik ist. Dies könnte zu einem überhöhten Ergebnis führen. Allerdings kann aufgrund der geringeren Zahl an Parametern davon ausgegangen werden, dass die Resultate dieser Methode weniger fehlerbehaftet sind. Die Berechnung über die Fahrleistung liefert wegen der großen Zahl an Annahmen und Abschätzungen Ergebnisse, die weniger genau sind, was offensichtlich zu einem niedrigeren Energieverbrauch führt. Da die graue Energie des Flug-, Bahn- und öffentlichen Verkehrs nur über die Fahrleistung berechnet wird, ist das Fahrrad „benachteiligt".

Der zweite Grund liegt in der höheren Lebensdauer und der stärkeren Nutzung der Fahrzeuge im Bahn- und Flugsektor im Vergleich zum Fahrradsektor. Um 70 Personen 15 Millionen Kilometer zu transportieren ist nach eigenen, oben beschriebenen Annahmen genau ein Flugzeug notwendig, das danach das Ende seines Lebens erreicht hat. Daraus resultiert ein Materialverbrauch von 45 t Aluminium. Um dieselbe Menge an Personen auf dem Fahrrad zu transportieren sind ungefähr 95500 Fahrräder notwendig, was zu einem Materialverbrauch von 1430 t Metall, Kunststoff und Gummi führt. Natürlich hat der Flug- im Vergleich zum Fahrradverkehr eine höhere Verkehrsleistung (652 km zu 162 km pro Kopf), sie reicht aber offensichtlich nicht aus, um die niedrige Materialeffizienz des Fahrradverkehrs zu kompensieren.

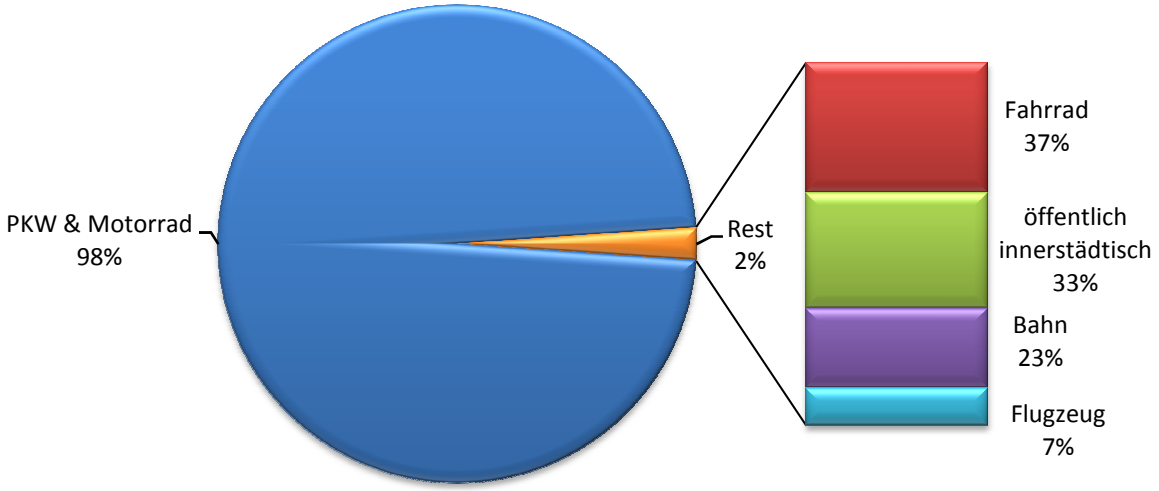

Abbildung 10.3: grauer Energieverbrauch des Verkehrs

In Tabelle 10.14 ist der direkte Energieverbrauch des Verkehrssektors dargestellt. Demnach müssen laut eigenen Berechnungen 190 PJ direkte Energie für Mobilität aufgewendet werden. Aufgrund der geringen Bedeutung ist der Fahrradverkehr hier nicht mehr aufgeführt. Die österreichische Energieagentur gibt einen Wert von ca. 354 PJ für den gesamten Verkehrssektor an, worin unter anderem auch Gütertransporte enthalten sind, die nach eigener Definition nicht dem Verkehrssektor sondern den jeweiligen transportierten Gütern angerechnet werden.

	Energieverbrauch *PJ*
PKW	171
Flugverkehr	22
Bahn	12
Straßenbahn	4
Buslinien	2
Gesamt	**210**
Nur direkter Energieverbrauch	**190**
Österr. Energieagentur (2005)	**354**

Tabelle 10.14: Gegenüberstellung des gesamten Energieverbrauchs des Verkehrs aus eigenen Berechnungen mit den Angaben aus dem Energieflussbild der Österreichischen Energieagentur

10.2 Lebens- und Genussmittel

Die Berechnung der grauen Energie des gesamten Lebensmittelverbrauchs war schwierig, da es keine Daten über die Lebensmittelverarbeitung und den detaillierten Verbrauch gibt. Es bieten sich mehrere Möglichkeiten an.

Die erste Möglichkeit basiert auf der Verknüpfung von Haushaltsausgaben und Durchschnittspreisen, wobei die Datenlage relativ gut ist, obwohl die Angaben zu den Durchschnittspreisen nicht vollständig sind. Ein großer Nachteil der Haushaltsausgaben ist, dass sie nur Rückschlüsse über den innerhäuslichen Verzehr erlauben. Es gibt zwar einen Posten, der Restaurant- und Cafebesuche behandelt, es ist aber schwierig, die Zusammensetzung der Gerichte zu ermitteln.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, den Lebensmittelverbrauch bottom-up zu ermitteln, das heißt, man definiert verschiedene Ernährungsweisen und ermittelt daraus Verbrauchsmuster, die dann auf die Bevölkerung hochgerechnet werden. Diese Methode wird von Corinna Taylor in ihrer Dissertation „Ökologische Bewertung anhand ausgewählter Indikatoren“ angewendet (Taylor 2000). Die Ernährungsweisen werden aus der nationalen Verzehrstudie Deutschlands abgeleitet. Für Österreich gibt es ebenfalls eine Verzehrstudie. Um auf den Verbrauch von Lebensmitteln zu schließen, muss man einige Annahmen treffen, da die Verzehrstudie sehr allgemeine Aussagen über den Verbrauch macht. Beispielsweise wird der Verzehr von Vollkornprodukten, Cholesterin oder pflanzlichem Fett dargestellt und es stellt sich die Frage, von welchen Lebensmittelprodukten diese Inhaltsstoffe stammen. Auch hier sind also Annahmen notwendig, die mangels genauer Daten mit Fehlern behaftet sind.

Die dritte und in dieser Arbeit angewendete Möglichkeit der Verbrauchsermittlung ist die nationale Versorgungsstatistik. Die Daten hierzu sind genauer, aber wenig detailliert. Fertigprodukte werden überhaupt nicht berücksichtigt. Einige verarbeitete Lebensmittel wie zum Beispiel Obstsäfte sind jedoch vorhanden.

Die Daten über die graue Energie werden hauptsächlich von GEMIS geliefert. Die Bilanzierung beinhaltet Anbau, Ernte, Transport, Lagerung und eventuell Kühlung im Lebensmittelhandel. Der Heimtransport und der Energieverbrauch beim Kochen werden nicht berücksichtigt. Bei Letzterem handelt es sich um direkten Energieverbrauch.

In einigen Fällen fehlen Daten über den Transport von Lebensmitteln. Das dürfte keinen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis haben, weil der Transport bei vielen Lebensmitteln nur einen geringen Anteil am Energieverbrauch hat, wie eine Studie des Öko-Instituts eindrucksvoll zeigt (Wiegmann et al 2005). Der Energieverbrauch des Transports erreicht demnach einen Anteil zwischen 2 % (Frischmilch) und 14,6 % (Frischgemüse). Generell nimmt natürlich die Bedeutung des Transports bei Lebensmitteln mit energieintensiver Produktion wie Fleisch und Milchprodukten ab.

Die Tiefkühlung von Lebensmitteln hat einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch. So ist laut GEMIS der graue Energieverbrauch für Tiefkühlgemüse etwa doppelt so hoch wie für Frischgemüse. Der Marktanteil von Tiefkühlprodukten wird aus einer Quelle, die sich auf den deutschen Markt bezieht, ermittelt (ZMP 2004). Für Spinat beträgt der Anteil ein Viertel, für das restliche Gemüse wird ein Anteil von 5 % angenommen, Kartoffeln werden nicht tiefgekühlt. Tiefkühlobst wird aufgrund der geringen Menge vernachlässigt.

Die Tabellen 10.15 bis 10.17 zeigen die Daten aus der Versorgungsstatistik und den grauen Energieverbrauch der Lebensmittel. In der rechten Spalte findet sich die Nummerierung der Bemerkungen, die im Anschluss an die Tabelle Erläuterungen zu Einzelheiten der Berechnung enthalten.

	Netto-verbrauch *t*	spez. Energie *kJ/kg*	Gesamt *PJ*	Anteil Teil-bereich *%*	Quelle	Bem.
Backwaren tiefgekühlt		13565,6			*NG-Handel\Backwaren-tiefgekühlt*	
Gemüse tiefgekühlt		5816,2			*NG-Handel\Gemüse-tiefgekühlt*	
Fleisch & Fisch						
Rind- und Kalbfleisch	147881	34697	5,131	21,4	*NG-Schlachterei\Rind*	1
Schwein	467808	24181	11,312	47,2	*NG-Schlachterei\Schwein*	1
Schaf und Ziege	9670	37288	0,361	1,5	*NG-Handel\Fleisch-mix-frisch*	
Pferd	768	37288	0,029	0,1	*NG-Handel\Fleisch-mix-frisch*	
Innereien	21964	37288	0,819	3,4	*NG-Handel\Fleisch-mix-frisch*	
Geflügel	166930	30020	5,011	20,9	Taylor 2000	
sonstiges	8313	37288	0,310	1,3	*NG-Handel\Fleisch-mix-frisch*	
Fische	63764	15600	0,995	4,2	Taylor 2000	
Summe			**23,967**			
Milchprodukte						
Milch	644312	4287	2,762	24,8	*NG-Handel\Milch*	
Obers und Rahm	61817	24007	1,484	13,3	*NG-Handel\Sahne*	
Haltbarmilch	13804	13557	0,187	1,7	*NG-Handel\Milch-Kondens*	
Milchpulver	4601	38778	0,178	1,6	*NG-Molkerei\Milch-trocken*	
Käse	144252	31158	4,495	40,4	*NG-Handel\Käse*	
Eier	115060	14183	1,632	14,7	*NG-Handel\Eier-Bodenhaltung*	
Schmelzkäse	12754	31158	0,397	3,6	*NG-Handel\Käse*	
Summe			**11,136**			
Getreide						
Weizen	553521	9036	7,003	72,6	*NG-Handel\Brot-misch*	2
Roggen	85824	9036	1,086	11,3	*NG-Handel\Brot-misch*	3
Hartweizen	41315	10603	0,438	4,5	*NG-Handel\Teigwaren*	4
Gerste			wird über Bierverbrauch bilanziert			
Hafer	7613	4379	0,033	0,3	Taylor 2000	5
Reis	31000	26820	0,831	8,6	Taylor 2000	
Mais	94231	2654	0,250	2,6	Taylor 2000	6
Summe			**9,641**			
Alk. Getränke, Kaffee						
Bier	888449	6520	5,793	80,5	NG-Handel\Bier	
Wein	244275	4810	1,175	16,3	Taylor 2000	7
Kaffee	65	3540	0,230	3,2	Taylor 2000	8
Summe			**7,198**			

Tabelle 10.15: grauer Energieverbrauch von Lebensmitteln (1)

1: Hier erfolgt eine Bilanzierung auf Basis des Schlachtgewichts.

2: Es wird angenommen, dass die gesamte Weizenproduktion zur Erzeugung von Brot verwendet wird. Das Masseverhältnis Brot zu Weizen beträgt 1,4.

3: 100 % Roggen wird wie Weizen zu Brot verarbeitet.

4: Hartweizen wird zu Teigwaren verarbeitet.

5: Hafer wird zu Haferflocken verarbeitet.

6: Mais wird gemahlen. Der Energieverbrauch beträgt 880 kJ/kg (Taylor 2000).

7: Wein wird wie Traubensaft behandelt.

8: Es wird von einem pro-Kopf-Verbrauch von 8 kg ausgegangen (Handelszeitung 2007).

	Netto-verbrauch *t*	spez. Energie *kJ/kg*	Gesamt *PJ*	Anteil Teil-bereich *%*	Quelle	Bem.
Obst & Fruchtsäfte						
Äpfel	232493	750	0,219	3,3	Taylor 2000	
Apfelsaft	170000	17761	3,019	45,7	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
Birnen	61299	750	0,046	0,7	wie Äpfel	
Birnensaft	55000	17761	0,977	14,8	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
Marillen	25716	3407	0,088	1,3	Anbau\Obst	
Marillensaft	2500	17761	0,044	0,7	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
Kirschen Weichseln	28502	1883	0,054	0,8	Steinobst	
Kirschensaft	4000	17761	0,071	1,1	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
Pfirsiche, Nektarinen	41522	1883	0,078	1,2	Taylor 2000	9
Zwetschken	41396	1883	0,078	1,2	Taylor 2000	9
Saft	7000	17761	0,124	1,9	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
Erdbeeren	33696	1580	0,053	0,8	Taylor 2000	
Saft	1000	17761	0,018	0,3	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
sonstige Beeren	47312	1580	0,075	1,1	wie Erdbeeren	
Saft	15500	17761	0,275	4,2	*NG-Herstellung\Saft-Obst*	
Tafeltrauben	27030	2420	0,065	1,0	Taylor 2000	10
Bananen	74126	1803	0,134	2,0	Carlsson-Kanyama et al 2000	11
Ananas	16082	1803	0,029	0,4	wie Bananen	
sonstige Obstarten	26675	6005	0,160	2,4	*NG-Handel\Obst-mix frisch*	
Orangen	56403	2630	0,148	2,2	Taylor 2000	
Mandarinen	29631	2630	0,078	1,2	wie Orangen	
Zitronen	21906	2630	0,058	0,9	wie Orangen	
Grapefruit	3155	2630	0,008	0,1	wie Orangen	
Melonen	26719	2630	0,070	1,1	wie Orangen	
sonst. Zitrusfrüchte	1211	2630	0,003	0,0	wie Orangen	
Trockenobst	9926	63101	0,626	9,5	*NG-Handel\Obst-mix frisch*	12
Summe			**6,600**			
Süßwaren, Gewürze						
Zucker	316305	15248	4,823	87,5	*NG-Herstellung\Zucker*	13
Salz	21028	232	0,005	0,1	*Xtra-Abbau\Steinsalz*	14
Schokolade	76326	9000	0,6869	12,5	CHOCOSUISSE 2008, Hörfunk Marketing 2005	
Summe			**5,515**			
Tabak						
Zigaretten			4,091			15
Fette, Öle						
Butter	39191	67807	2,657	65,5	*NG-Handel\Butter*	
Speiseöl	98500	14229	1,402	34,5	*NG-Herstellung\Sonnenblumenöl*	16
Summe			**4,059**			

Tabelle 10.16: grauer Energieverbrauch von Lebensmitteln (2)

9: Dieses Obst wird allgemein als Kernobst behandelt.

10: Tafeltrauben werden wie Weintrauben behandelt.

11: Berechnung des Energieverbrauchs der Bananenproduktion siehe Anhang: Bananenproduktion

12: Zur Berechnung der Trockenfrüchteproduktion siehe Anhang: Trockenfrüchte

	Netto-verbrauch *t*	spez. Energie *kJ/kg*	Gesamt *PJ*	Anteil Teilbereich *%*	Quelle	Bem.
Gemüse & Kartoffeln						
Champignons und Pilze	16323	2072	0,034	1,2	*NG-Handel\Gemüse-frisch*	
Paradeiser	190164	2772	0,527	18,7	*NG-Handel\Tomaten-frisch*	
Erbsen	7332	1180	0,009	0,3	Taylor 2000	
Gurken	16206	2772	0,045	1,6	wie Tomaten	
Salatgurken	38014	2772	0,105	3,7	wie Tomaten	
Karfiol	11832	2060	0,024	0,9	Taylor 2000	
Karotten	56139	780	0,044	1,6	Taylor 2000	
Kohl	35809	635	0,023	0,8	Taylor 2000	17
Kraut, weiß und rot	50451	635	0,032	1,1	wie Kohl	
Paprika Pfefferoni	36228	2072	0,075	2,7	*NG-Handel\Gemüse-frisch*	
Rote Rüben	9638	420	0,004	0,1	Taylor 2000	
Eissalat, Häuptelsalat	52539	2030	0,107	3,8	Taylor 2000	
Salat sonstige	23073	2030	0,047	1,7	wie Eissalat	
Sellerie	12178	1150	0,014	0,5	Taylor 2000	
Spargel	5247	5930	0,031	1,1	Taylor 2000	
Spinat	6432	1360	0,009	0,3	Taylor 2000	
Zwiebeln	67146	1180	0,079	2,8	Taylor 2000	
Zucchini	10620	2072	0,022	0,8	*NG-Handel\Gemüse-frisch*	
übrige Gemüsearten	129295	2072	0,268	9,5	*NG-Handel\Gemüse-frisch*	
Hülsenfrüchte	3276	1260	0,004	0,1	Taylor 2000	18
Kartoffeln (nur frisch)	447665	2376	1,064	37,7	*NG-Handel\Kartoffeln-frisch*	
Kartoffelstärke (nur frisch)	10000	1655	0,017	0,6	*NG-Handel\Kartoffelstärke*	
Frischgemüse			2,583	91,6		
Tiefkühlgemüse	40772	5816,2	0,237	8,4	*NG-Handel\Gemüse-tiefgekühlt*	
Summe			**2,820**			
Gesamt						
Summe *PJ*			**75,027**			

Tabelle 10.17: grauer Energieverbrauch von Lebensmitteln (3)

13: Zucker wird hauptsächlich weiterverarbeitet, weshalb der Lebensmittelhandel hier nicht Teil der Bilanz ist.

14: Ein täglicher Verbrauch von 8,6 g Salz wird angenommen (Schmid 2005), wovon 82,5 % aus Steinsalz gewonnen und den Lebensmitteln zugesetzt wird. Der Rest ist in natürlicher Weise enthalten und wird daher nicht bilanziert.

15: Zigarettenverbrauch wird laut Anhang: Zigaretten berechnet.

16: Das gesamte Speiseöl wird aus Sonnenblumenöl gewonnen. Sonnenblumenkerne sind nach Raps der zweitgrößte Speiseöllieferant.

17: Für Kohl wird ein Mittelwert aus dem Energieverbrauch zur Erzeugung von Weiß- und Rotkohl zugrunde gelegt.

18: Für Hülsenfrüchte wird ein Mittelwert des Energieverbrauchs zur Produktion von Erbsen, Soja und Bohnen berechnet.

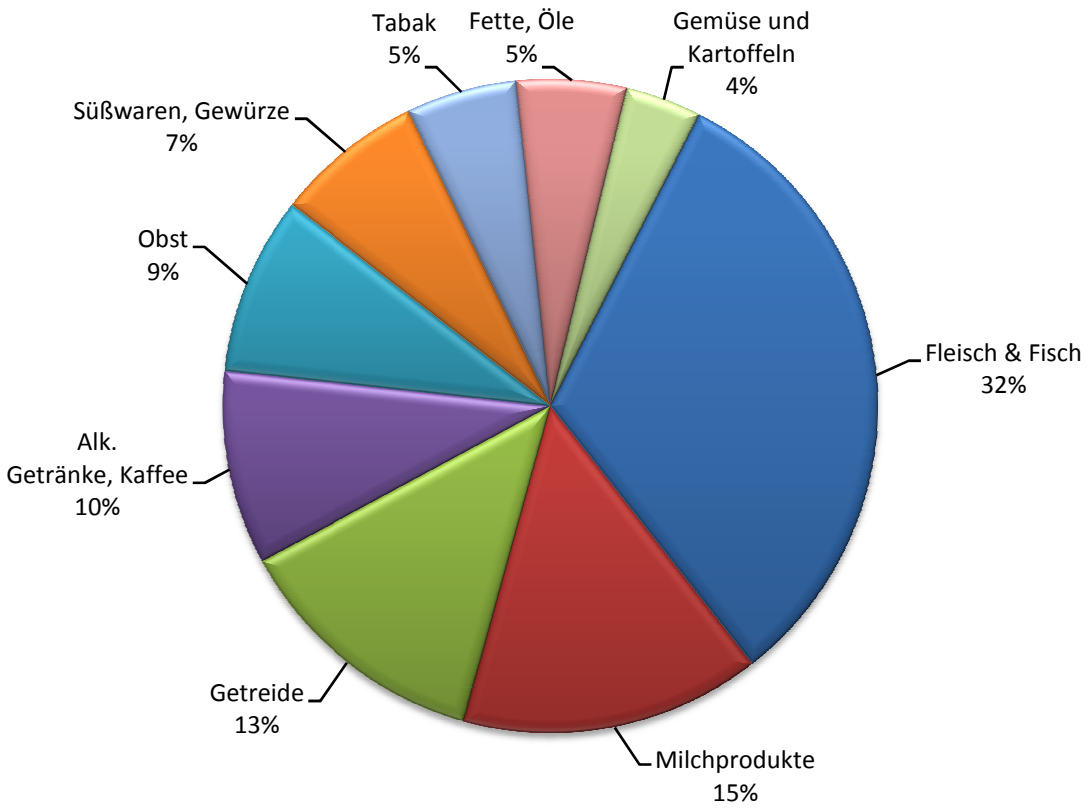

Abbildung 10.4: Anteil der Lebensmittelgruppen am gesamten grauen Energieverbrauch

Der Gesamtverbrauch des Bereichs Lebensmittel beträgt rund 75 PJ. Fleisch hat den größten Anteil am Energieverbrauch, was an der hohen Energieintensität der Fleischproduktion und am hohen Fleischkonsum liegt. Die Futtermittel werden mit einem geringen Wirkungsgrad im Nutztier in Fleisch umgewandelt. Milch folgt mit 15 %. Die Milchproduktion hat ähnlich der Fleischproduktion einen geringen Wirkungsgrad. Außerdem ist bei manchen Milchprodukten wie zum Beispiel Käse eine energieaufwändige Verarbeitung notwendig.

metabolische Energie *kJ/Tag*	9420
Gesamt Österreich *PJ*	27,9

Tabelle 10.18: menschlicher Nährwertverbrauch in Österreich

Es sei hier noch der metabolische Energieverbrauch der österreichischen Bevölkerung angegeben um ihn mit dem grauen Energieverbrauch der Lebensmittelerzeugung zu vergleichen. Die 9420 kJ/Tag stellen einen unteren Grenzwert dar, der in der ersten Welt meistens übertroffen wird. Nahrungsmittel werden also mit einem Wirkungsgrad von weniger als 37 % bereit gestellt ohne hierbei natürlich die von den Pflanzen aufgenommene Sonnenenergie zu berücksichtigen. Darin enthalten sind auch die Verluste durch Wegwerfen von Lebensmitteln.

10.3 Haushaltsgeräte

Die Ermittlung des grauen Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten erfolgt mit Hilfe der durchschnittlichen Anzahl an Geräten, die jedes Jahr angeschafft werden. Die Anschaffungen erhält man, indem die Zahl der Haushalte mit der durchschnittlichen Ausstattung multipliziert und durch die durchschnittliche Lebensdauer dividiert wird. Diese Berechnungsmethode bedingt die Annahme einer konstanten Anzahl an Haushaltsgeräten. Die Änderungen im Bestand sind gering, weshalb der Fehler klein sein dürfte. Für manche Spalten sind mehrere Quellen angegeben. In solchen Fällen wird der Mittelwert aus diesen Quellen genommen. Ein durchschnittlicher Haushalt besitzt etwa 13 Küchenkleingeräte (Langbein et al 1995). Unter diese Kategorie fallen elektrisch betriebene Küchenmaschinen zum Kneten, Mischen und Schneiden. Die Daten zur grauen Energie umfassen bei den Kleingeräten nur die Herstellung der Ausgangsstoffe.

Bei den meisten Quellen der spezifischen grauen Energie ist von einer Energie zur Herstellung des Geräts die Rede. Es werden aber keine genauen Angaben über die Abgrenzung der Bilanz gemacht. Außerdem ist nicht angegeben, ob die Bilanzierung nach der KEA- oder KEV-Richtlinie erfolgt, also ob die im Material gespeicherte Energie addiert wird oder nicht. Bei den Studien von Rüdenauer (2007) und in der Stoffstromanalyse (Quack et al 2004) erfolgt die Bewertung nach GEMIS-Standard. Mikrowellen- und Gasherd werden ebenfalls nach diesem Standard untersucht.

	Ausstattung *%*	**Lebensdauer *Jahre***	**Anschaffungen**	**graue Energie *MJ/Gerät***	**Gesamt *PJ***	**Quellen graue Energie**
Waschmaschine	94	14	227567	3920	**0,89**	*4, 5*
Küchenkleingerät	1300	8	5638750	133	**0,75**	*5*
Tiefkühlschrank	83	18	164264	3793	**0,62**	*1, 3, 5*
Kühlschrank	98	17	197327	2641	**0,52**	*1, 3, 5*
Geschirrspüler	64	14	161709	3211	**0,52**	*4, 5*
Wäschetrockner	27	15	60641	3600	**0,22**	*4, 5*
Elektro- Gasherd	86	17	172165	1140	**0,20**	*6*
Mikrowelle	64	14	164504	272	**0,04**	*6*
Summe					**3,77**	
Quellen	*7*	*8*				

Tabelle 10.19: Grauer Energieverbrauch der Haushaltsgeräte

Quellen:
1: Rüdenauer et al 2007
2: Steiner et al 2005
3: Quack et al 2004
4: Ö.O. Energiesparverband 2007
5: Langbein et al 1995
6: Anhang: Mikrowellenherd und Elektroherd
7: Haas 2007, Langbein et al 1995
8: Brauner 2006, Scholz 2007, Quack et al 2004, Langbein et al 1995

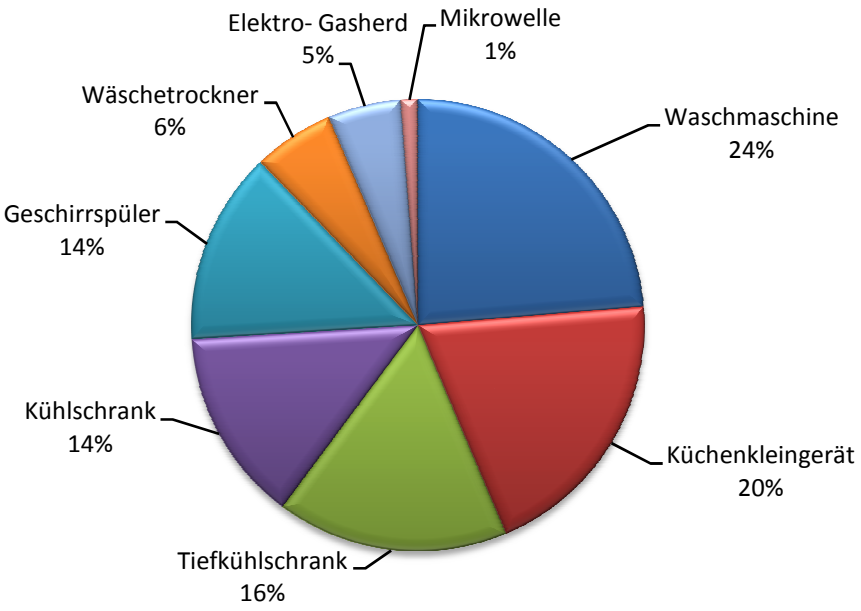

Abbildung 10.5: Anteil der einzelnen Haushaltsgeräte am grauen Energieverbrauch

Haushaltsgeräte verursachen einen grauen Energieverbrauch von 3,77 PJ. Waschmaschinen haben einen beträchtlichen Anteil von 24 %, was an der recht hohen Ausstattung der Haushalte, der vergleichsweise geringen Lebensdauer und dem hohen Energieverbrauch der Herstellung liegt. Dieser ist begründet durch das hohe Gewicht einer Waschmaschine, das sich aus der konstruktionsbedingten großen Masse zur Senkung der Eigenfrequenz ergibt.

10.4 Unterhaltungselektronik, Personalcomputer, Mobiltelefon und Medien

Die Berechnung erfolgt analog zu den Haushaltsgeräten. Socolof, Overly, Kincaid und Geibig (Socolof et al 2001) bewerten den Input von elektrischer Energie nicht primärenergetisch. Alle anderen Quellen bilanzieren nach GEMIS-Standard wie oben beschrieben. Die Berechnung des grauen Energieverbrauchs der Digitalkameras wird im Anhang beschrieben.

	Ausstat-tung *%*	**Quelle**	**Lebens-dauer *Jahre***	**Quelle**	**Anschaffungen**	**graue Energie *kJ/Gerät***	**Quelle graue Energie**	**Gesamt *PJ***
PC, Laptop	82	*14*	4	*5*	711350	5345	*8*	**3,80**
Mobiltelefon	241	*4*	2,5	*7*	3345358	350	*9*	**1,17**
Digitalkamera					754126	952	*13*	**0,72**
Fernseher LCD	95	*1, 14*	11	*6*	293793	2073	*11*	**0,61**
Monitor	82	*14*	11	*6*	252924	2073	*11*	**0,52**
CD, DVD							*15*	**0,50**
Drucker	82	*3*	4	*7*	711350	330	*12*	**0,23**
DVD-Player	73	*14*	5	*6*	507314	330	*12*	**0,17**
Hifi-Anlagen	100	*2*	8	*6*	433750	330	*10*	**0,14**
Fernseher CRT	32	*1, 14*	11	*7*	97931	712	*7*	**0,07**
Summe *PJ*								**7,94**

Tabelle 10.20: grauer Energieverbrauch von Elektronikprodukten

Quellen:
1: Die Durchdringung wurde bereits an die Tatsache angepasst, dass 75 % der Neuanschaffungen LCD-Fernseher sind (Riemer 2007).
2: Schlesinger 2007
3: eigene Annahme: 100 % der PC-Besitzer haben einen Drucker
4: 103 Sim-Karten je 100 Einwohner, Forum Mobilkommunikation 2006
5: Mosdorf 1998
6: eigene Annahme
7: Langbein et al 1995
8: Williams 2004
9: Emmenegger et al 2003, Es wird eine Durchdringung von 90 % für GSM und der Rest für UMTS-Mobiltelefone angenommen.
10: Quack et al 2004
11: Socolof et al 2001
12: eigene Annahme: DVD-Player und Drucker haben gleiche graue Energie wie Hifi-Anlagen
13: Wie Mobiltelefon, interpoliert über Gewicht, siehe Anhang: Digitalkamera
14: Haas 2007
15: siehe Anhang: CD, DVD

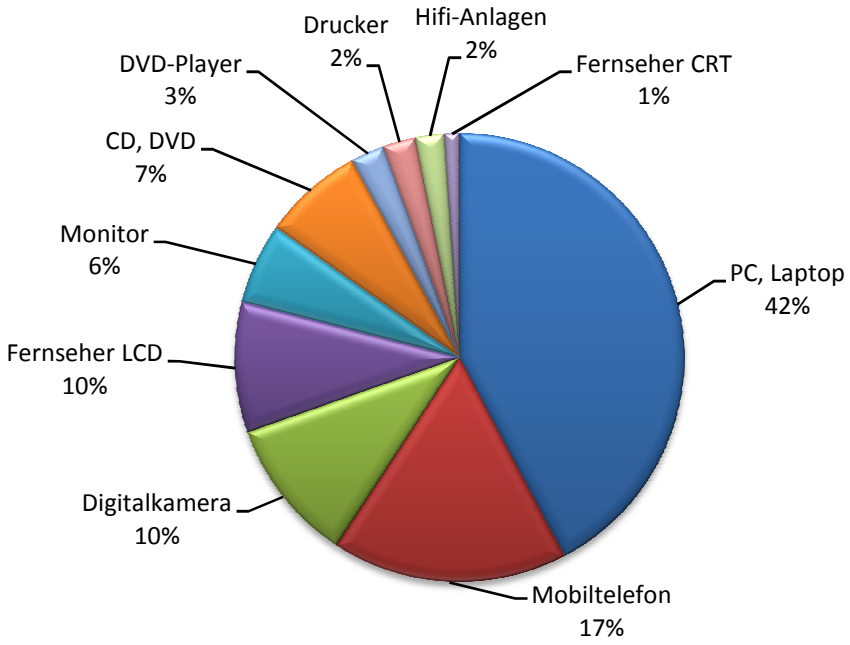

Abbildung 10.6: Anteile der einzelnen Elektronikprodukte am grauen Energieverbrauch

Die Summe der grauen Energie der Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik inklusive Medien beläuft sich auf 7,94 PJ. Ein hoher Anteil von 42 % entfällt auf die Warengruppe Personalcomputer. Der große Energieaufwand bei der Herstellung und die Tatsache, dass 82 % der Haushalte einen PC besitzen sind ausschlaggebend für dieses Resultat. Das Mobiltelefon folgt mit einem Anteil von 17 %. Hier ist die sehr kurze Lebensdauer des Geräts der entscheidende Faktor. Digitalkameras erreichen immerhin einen Anteil von 10 % am Gesamtenergieverbrauch, welcher allerdings bei Betrachtung eines Zeithorizonts mehrerer Jahre großen Schwankungen unterworfen ist, weil der Absatz stark volatil ist. Eine positive Auswirkung auf den Absatz hat die enorme Innovationskraft der Branche, die einerseits zu niedrigeren Preisen führt und andererseits durch neue Funktionen und bessere Qualität

zum Kauf anregt. Auf der anderen Seite werden Foto-Handys zunehmend zu einer Konkurrenz für Kompaktkameras und es wird zu einer Marktsättigung kommen, da vermutlich nur ein kleiner Teil der Konsumenten ihre elektronischen Geräte regelmäßig und oft durch neue ersetzt. Der Zeitbezug auf das Jahr 2005 ist hier also wesentlich.

10.5 Einrichtung, Möblierung

Hier erfolgt die Berechnung auf 2 Arten. Erstens wird der Möbelverbrauch über die Konjunkturstatistik ermittelt, zweitens werden Energieintensitäten berechnet und mit den Haushaltsausgaben für größere Einrichtungsgegenstände verknüpft. Abschließend wird der graue Energieverbrauch von Leuchtmitteln, Küchengeschirr und Reinigungsmitteln untersucht.

10.5.1 Konjunkturstatistik

Die Ermittlung des grauen Energieverbrauchs beruht auf der Konjunkturstatistik 2005 der Statistik Austria (2006e). Es wird die Stückzahl der produzierten Möbel angegeben. Um den Materialverbrauch zu berechnen, muss die Masse der Möbel und die Materialzusammensetzung abgeschätzt werden.

Aus der Stoffstromanalyse (Quack et al 2004) erhält man Durchschnittsangaben zur Materialzusammensetzung und zum Gewicht von Möbeln, die in Tabelle 10.21 dargestellt sind. Die Matratze wird bei der Ermittlung des Durchschnittsgewichts ausgeklammert.

Möbelstück	**Masse *kg***
Stuhl Holz	5,6
Drehstuhl	20
Tisch	45
Schrank	228
Polsterfauteuil	40
Zweisitzer Sofa	54
Küchenelemente	34
Durchschnittsgewicht Möbel	**61**
Matratze	16

Tabelle 10.21: Gewichtsangaben für Möbelstücke (Quack et al 2004)

Die Möbel setzen sich aus folgenden Materialien zusammen: Holz, Stahl, PUR-Weichschaum und andere Kunststoffe. Der spezifische graue Energieverbrauch ist in Tabelle 10.22 dargestellt. Es wird ein Mittelwert mehrerer Kunststoffe von ca. 85,6 MJ/kg verwendet.

	graue Energie *kJ/kg*	**Quelle**
Stahlblech	27899	Metall\Stahl-DE-Blech
Kunststoffe	85580	GEMIS
Holz	15003	Mittelwert verarbeitetes Holz
PUR-Weichschaum	126130	Kunststoff\PUR-Weichschaum

Tabelle 10.22: spezifische graue Energie der Materialien für Möbel

Die Konjunkturstatistik 2005 der Statistik Austria (2006e) enthält Mengenangaben über die Stückzahl der produzierten Möbel. Einrichtungsgegenstände, die zur Verwendung in Büros bestimmt sind, werden nicht berücksichtigt. Ebenfalls ausgeklammert bleiben Kompletteinrichtungen und Instandhaltung bzw. Reparatur von Möbeln, bei denen von der Statistik Austria keine Mengenangabe

gemacht wird. Die Massenanteile der Materialien beruhen auf eigenen Schätzungen. Tabelle 10.23 zeigt alle Möbelgruppen, die bilanziert werden.

Berechnung über Konjunkturstatistik	**Stückzahl**	**Masse pro Stück *kg***	**Material**	**graue Energie *kJ/kg***	**Energie *GJ***
Andere Sitzmöbel, Metallgestell	23812	13	90 % Metall 10 % Kunststoff	33667	10101
Sitzmöbel nicht gepolstert, Metallgestell	160337	13	90 % Metall 10 % Kunststoff	33667	68016
Andere gepolst. Holzgestell	318622	13	95 % Holz 5 % PUR-Weichschaum	20559	82538
Nicht gepolstert, Holzgestell	145847	13	Holz	15003	27570
Holzmöbel in Küche	818611	34	Holz	15003	417941
andere Holzmöbel Küche	59488	34	Holz	15003	30372
Metallmöbel, a.n.g. (ohne Büro)	11615458	61	Metall	27899	19755140
Betten aus Holz	29471	61	Holz	15003	26954
andere Holzmöbel Schlafzimmer	99325	61	Holz	15003	90843
Holzmöbel Esszimmer	88661	61	Holz	15003	81089
Holzmöbel Badezimmer	54628	61	Holz	15003	49963
Holzmöbel Garten	47276	61	Holz	15003	43239
andere Holzmöbel	113412	61	Holz	15003	103726
Sprungrahmen	257729	10	Holz	15003	38667
Auflegematratzen Zellkautschuk	85778	16	PUR-Weichschaum	126130	173107
Auflegematratzen Zellkunststoff	359007	16	PUR-Weichschaum	126130	724505
Auflegematratzen und Federkern	103393	16	PUR-Weichschaum	126130	208655
andere Matratzen	65870	16	PUR-Weichschaum	126130	132931
Summe (ohne Außenhandel) *PJ*					**22,07**

Tabelle 10.23: Bilanzierte Möbelgruppen aus der Konjunkturstatistik (Statistik Austria 2006e)

Aus der Statistik resultiert ein Wert von rund 22 PJ. Davon muss der Export und Import von Möbeln in Form von grauer Energie abgezogen bzw. addiert werden. Laut Außenhandelsstatistik (Statistik Austria 2006c) gab es im Jahr 2005 einen leichten Exportüberschuss, es wurden rund 5400 t mehr exportiert als importiert. Der Einfachheit halber und wegen des geringen Volumens werden die exportierten Möbel als reine Holzmöbel bilanziert. Es resultiert ein Zwischenergebnis von 21,68 PJ (Tabelle 10.24).

Einfuhr *t*	280797
Ausfuhr *t*	306233
Saldo *t*	-25436
Energiesaldo *PJ*	-0,38
Zwischenergebnis Materialien *PJ*	**21,68**

Tabelle 10.24: Energiesaldo auf Basis des Imports und Exports von Möbeln (Statistik Austria 2006c)

Gesamtmasse Möbel t	759498
100 km mit LKW MJ/t	191,45
Transport PJ	0,15
Montageenergie PJ	1,08
Gesamt PJ	**22,91**

Tabelle 10.25: Transport und Montageenergie von Möbeln

Schließlich muss zur grauen Energie des Materials noch die Montage- und Transportenergie addiert werden. Die Möbelstücke werden 100 km im LKW transportiert, wobei der Exportanteil von der Gesamtmasse bereits abgezogen wurde. Es wird angenommen, dass 5 % der grauen Energie des Materials für die Montage aufgebracht werden müssen. Der graue Energieverbrauch von Möbeln beträgt somit 22,91 PJ (Tabelle 10.25).

10.5.2 Energieintensität (MJ/€)

Die zweite Berechnungsmethode der größeren Einrichtungsgegenstände erfolgt über eine Energieintensitätskennzahl.

Der Energieverbrauch pro Euro (MJ/€) wird mit Hilfe von Durchschnittspreisen errechnet. Grundlage für die Auswahl der Möbelstücke sind einerseits die Stoffstromanalyse (Quack et al 2004) und andererseits die Daten der Statistik Austria über Durchschnittspreise aus dem Jahr 2003. Die Preise werden inflationsangepasst für das Jahr 2005 angegeben. Die Inflation des Bereichs „Hausrat und laufende Instandhaltung des Hauses“ beträgt für die beiden Jahre insgesamt 0,95 % (Statistik Austria 2007). Die Angaben zur Masse stammen ebenfalls aus der Stoffstromanalyse.

Zur grauen Energie der einzelnen Möbelstücke werden noch der Transportanteil und der Produktionsanteil addiert. Die Annahmen sind dabei dieselben wie bei der Berechnung über die Konjunkturstatistik.

Aus den Energieintensitäten der verschiedenen Möbelstücke wird ein Mittelwert von 6,8 MJ/€ gebildet (Tabelle 10.26).

Der Mittelwert wird mit den monatlichen Haushaltsausgaben multipliziert. Diese Ausgaben umfassen auch Gartenmöbel, Babymöbel, Teppiche und Leuchtmittel (für eine vollständige Darstellung siehe Statistik Austria (2006b)). Man erhält einen Wert von 19,91 PJ.

	Preis €	**Gewicht kg**	**Material**	**graue Energie MJ/Stück**	**Energieintensität MJ/€**
Hochschrank (für Kühlschrank)	295,1	228,45	Holz	3642,52	12,34
Vorratsschrank	477,7	228,45	Holz	3642,52	7,63
Unterbau-Eckschrank	561,3	228,45	Holz	3642,52	6,49
Küchenelement/Oberschrank	123,9	34,03	Holz	542,592	4,38
Küchenelement/Unterschrank	386,8	34,03	Holz	542,592	1,40
Matratze	247,4	16	PUR-Weichschaum	2122,05	8,58
durchschnittliche Energieintensität MJ/€					**6,80**
Haushaltsausgaben €/Monat (Statistik Austria 2006b)					**70,30**
Gesamt (ohne Außenhandel) PJ					**19,91**

Tabelle 10.26: Ermittlung der grauen Energie des Möbelverbrauchs über Energieintensitäten

Wie bereits im vorigen Abschnitt besprochen, wurden im Jahr 2005 mehr Möbel exportiert als importiert. In diesem Fall wird der Exportüberschuss monetär bewertet um mit der mittleren Energieintensitätskennzahl auf die graue Energie zu kommen. Der graue Energieverbrauch verringert sich von 19,91 auf 19,66 PJ (Tabelle 10.27). Der Wert liegt im liegt in der derselben Größenordnung wie jener aus der Berechnung über die Konjunkturstatistik.

	Wert *Mio. €*
Einfuhr	1139,63
Ausfuhr	1171,10
Saldo	-31,47
inkl. Umsatzsteuer	-37,77
Energiesaldo *PJ*	-0,26
Gesamt *PJ*	**19,66**

Tabelle 10.27: Ermittlung des Exports von grauer Energie von Möbeln mit Hilfe der Energieintensität

Der graue Energieverbrauch des Möbelkonsums der österreichischen Haushalte wird mit jenem der niederländischen Haushalte verglichen. In Tabelle 10.28 wird die niederländische Energieintensität inflationsangepasst in MJ/€ dargestellt. Die Preise der Studie (Vringer et al 1995) beziehen sich auf das Jahr 1990. Die allgemeine Inflationsrate pro Jahr beträgt laut der österreichischen Nationalbank 1,61 % von 1995 bis 1998 und 2,82 % von 1999 bis 2004. Für die Periode von 1990 bis 1995 wird eine Inflationsrate von 1,61 % angenommen.

niederländische Energieintensität 1995 *MJ/Dfl*	3,76	Vringer et al 1995
Inflationsrate NL 1995 bis 2005 *%*	1,38	Oesterreichische Nationalbank 2005
Wechselkurs € in Dfl	2,2	Kodnar 2007
niederländische Energieintensität 2005 *MJ/€*	**5,99**	

Tabelle 10.28: Umrechnung der niederländischen Energieintensität auf die europäische Währung und das Jahr 2005

In Tabelle 10.29 werden die Energieintensitäten der beiden Länder gegenübergestellt. Die österreichische Energieintensität ist um fast 12 % höher, allerdings geben die Niederländer mehr Geld für Möbel aus und verursachen einen mehr als doppelt so hohen Energieverbrauch pro Haushalt. In der letzten Zeile der Tabelle ist die Energieintensität angegeben, die aus der Konjunkturstatistik errechnet wird. Dazu wird der graue Energieaufwand von 22,91 PJ mit den Haushaltsausgaben verknüpft.

	Österreich	Niederlande
Energieintensität *MJ/€*	**6,80**	**5,99**
Verbrauch pro Haushalt *GJ*	5,74	12,50
Energieintensität aus Konjunkturstatistik	7,83	

Tabelle 10.29: Energieintensitätsvergleich zwischen Österreich und den Niederlanden

10.5.3 Leuchtmittel, Küchengeschirr und Reinigungsmittel

Es wird der indirekte Energieverbrauch von Leuchtmitteln abgeschätzt. Der gesamte Energieverbrauch für Beleuchtung und EDV betrug 2005 ca. 35 PJ (Statistik Austria 2006d). Der Energieverbrauch einer Glühbirne bzw. Kompaktleuchtstofflampe während der gesamten Lebensdauer von 1000 bzw. 15000 Stunden ergibt sich bei einer Leistungsaufnahme von 100 bzw. 20 Watt zu 270 bzw. 810 MJ. Diese Werte stammen aus einer Studie des Umweltbundesamts (2003). Nach eigener Schätzung haben Glühbirnen einen Anteil von 80 % am Stromverbrauch und der Rest sind Kompaktleuchtstofflampen. Daher sind etwa 8 % der verwendeten Leuchtmittel Kompaktleuchtstofflampen (Tabelle 10.30). Der Gesamtenergieverbrauch beträgt nur ca. 125 MJ pro Haushalt und ist vernachlässigbar gering.

	Glühbirne	Kompaktleuchtstofflampe
Energieverbrauch während Lebensdauer *MJ*	270	810
Anteil der Gesamtverwendung *%*	80	20
Energieverbrauch Beleuchtung & EDV *PJ*	35	
verbrauchte Stückzahl	103703704	8641975
Graue Energie *MJ* (Umweltbundesamt 2003)	3	14
Gesamt *MJ*	**124,52**	

Tabelle 10.30: indirekter Energieverbrauch von Leuchtmitteln

Nun wird der graue Energieverbrauch von Geschirr und Besteck untersucht. Für einige repräsentative Produktgruppen wird eine durchschnittliche Energieintensität berechnet. Die Preise stammen von der Statistik Austria (2003) und werden über die Inflationsrate von 0,95 % wie bei den Möbeln angepasst. Sämtliche Gewichtsangaben stammen aus eigenen Messungen. Die Haushaltsausgaben für derartige Produkte betragen 10,4 € pro Monat, woraus sich ein Gesamtverbrauch von 0,11 PJ ergibt.

	Preis €	Gewicht *g*	graue Energie *kJ/kg*	Energieintensität *kJ/€*	Quelle graue Energie
Essbesteck 24-teilig	218,2	960	27899	122,8	*Metall\Stahl-DE-Blech*
Druckkochtopf	117,8	2000	27899	473,6	*Metall\Stahl-DE-Blech*
Bratpfanne	83,4	1500	27899	501,7	*Metall\Stahl-DE-Blech*
Messer	31,5	124	27899	109,8	*Metall\Stahl-DE-Blech*
Flachteller	18,0	421	4656	108,7	*Steine-Erden\Tonziegel*
Trinkglas	9,0	178	13027	257,0	*Steine-Erden\Glas-flach-A*
Mittelwert				**262,3**	
Haushaltsausgaben *€/Monat* (Statistik Austria 2006b)				**10,4**	
Gesamt *PJ*				**0,11358**	

Tabelle 10.31: grauer Energieverbrauch von Geschirr und Besteck

Der Energieverbrauch für die Herstellung von Reinigungsmitteln stammt aus „Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung Wäschewaschen“ (Rüdenauer et al 2006). In dieser Studie wird unter anderem der kumulierte Energieaufwand des Wäschewaschens untersucht. Dabei kamen drei unterschiedliche Waschvorgänge in Frage. Der durchschnittliche kumulierte Energieverbrauch des Waschmittels beträgt 620,3 MJ pro Jahr für einen Haushalt (Tabelle 10.32), woraus sich ein Gesamtverbrauch für alle Haushalte von 0,0022 PJ ergibt. Aufgrund der geringen Energiemenge wird auf eine Untersuchung von weiteren im Haushalt verwendeten Reinigungsmitteln verzichtet, da diese jedenfalls einen im Vergleich zum Wäschewaschen niedrigeren Verbrauch aufweisen.

durchschnittlicher KEA pro Haushalt und Jahr *MJ*	620,3
Gesamt *PJ*	0,0022

Tabelle 10.32: Grauer Energieverbrauch von Reinigungsmitteln

10.6 Bekleidung, Textilien

Der graue Energieverbrauch von Bekleidung und Textilien wird auf 2 Arten berechnet. Erstens wird das Altkleideraufkommen ermittelt und mit der spezifischen grauen Energie von Kleidung multipliziert. Zweitens werden zwei Energieintensitätskennzahlen herangezogen und mit den monatlichen Haushaltsausgaben multipliziert.

10.6.1 Altkleideraufkommen

Es wird davon ausgegangen, dass der Bestand an Kleidung konstant ist. Daher werden alle Altkleider durch neue Kleidung ersetzt. Ein Drittel der Altkleider kommt zu karitativen oder kommerziellen Organisationen, nur ein kleiner Teil landet im heimischen Second Hand Shop oder wird an Bekannte und Kinder weitergegeben. Alle deklarierten Altkleider, die im Umlauf bleiben, reduzieren laut obiger Annahme die Menge an Neuware. Da dieser Anteil aber nur gering ist, wird er hier vernachlässigt.

Der Verbrauch von Textilien wird auf zwei Arten berechnet.

Die erste Art stützt sich auf eine Studie „Vordenken – Nachdenken: Konsumenten lernen nachhaltiger konsumieren – Modul 4“ (Mackert et al 2003), der zufolge in Deutschland 880 000 t Altkleider pro Jahr anfallen. Dieser Wert wird durch Extrapolation über die Bevölkerung an österreichische Verhältnisse angepasst.

Die zweite Art der Verbrauchsberechnung erfolgt über den Bundes-Abfallwirtschaftsplan des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006). 6 % des Restmülls enthalten dieser Studie zufolge im Jahr 2004 Textilien. Bei einem Gesamtaufkommen von etwa 1,4 Mio. t sind das fast 83 000 t. Außerdem wurden 23100 t Textilien getrennt gesammelt.

In Tabelle 10.33 werden die beiden Methoden einander gegenüber gestellt. Die Differenz beträgt immerhin 19404 t, wobei der Wert aus der Analyse des Abfallwirtschaftsplans höher ist.

	Deutschland	Österreich
Einwohner	82438000	8119800
Altkleideraufkommen *t*	880000	**86676**
Restmüll *t*		82980
gesammelte Textilien *t*		23100
Summe *t*		**106080**
Differenz *t*		**19404**

Tabelle 10.33: Berechnung des Altkleideraufkommens über Extrapolation und den Bundes-Abfallwirtschaftsplan (Mackert et al 2003; Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2006)

Die graue Energie von Kleidungsstücken wird mit Hilfe von GEMIS berechnet, das einen Wert von 360 MJ/kg T-Shirt angibt. In der Dokumentation ist dieser Wert aufgeschlüsselt in Baumwollproduktion und Weiterverarbeitung. So kann der Energieaufwand für die Produktion der Baumwolle abgezogen werden und stattdessen derjenige für die Herstellung von Kunstfasern addiert werden. Da es eine Vielzahl unterschiedlicher Kunstfasern gibt, wird der durchschnittliche Wert von 32 MJ/kg verwendet.

Baumwollkleidung hat laut der Online-Zeitschrift „Biothemen“ (2007) einen Anteil von 40 % am Gesamtbestand.

In Tabelle 10.34 sind die Ergebnisse der Berechnung dargestellt. Aus den Berechnungen ergibt sich ein beachtlicher grauer Energieverbrauch von 32,39 bzw. 39,64 PJ.

	Baumwolle	Kunstfaser	Quelle
graue Energie Material *MJ/kg*	59	82	Baumwolle-CN\Entkörnen-CN, Mittelwert Kunststoffe
graue Energie (T-Shirt) *MJ/kg*	360	383	Baumwoll-Äquivalent (T-Shirt)-DE-mix; Baumwollanteil durch Kunststoff ersetzt
Anteil *%*	40	60	BIOTHEMEN 2007
Gesamt Extrapolation *PJ*	**32,39**		
Gesamt Abfallwirtschaftsplan *PJ*	**39,64**		

Tabelle 10.34: grauer Energieverbrauch von Kleidung und Textilien

10.6.2 Energieintensität (MJ/€)

In Tabelle 10.35 sind die verwendeten Energieintensitätskennzahlen angegeben.

Der Wert von 2,9 MJ/€ stammt aus der Umweltökonomischen Gesamtrechnung Deutschlands (Schoer et al 2007), die auf einer IO-Analyse basiert. Eine Voraussetzung für die Verwendung dieses Wertes ist, dass gleiche Preise für Deutschland und Österreich unterstellt werden. Außerdem wird die Inflation von 2003 bis 2005 vernachlässigt.

Vringer und Blok kommen auf einen deutlich höheren Wert von umgerechnet etwa 4,8 MJ/€. Die Berechnung der Inflation und Umrechnung in die europäische Währung erfolgt analog zu jener im Kapitel Einrichtung und Möblierung.

Die beiden Energieintensitäten werden mit den Haushaltsausgaben der Haushalte multipliziert. Das Ergebnis fällt gegenüber der Berechnung über das Altkleideraufkommen mit 17 bzw. 28 PJ geringer aus, bei Ersterem ist es rund halb so hoch.

Wie kommt es zu diesem großen Unterschied? GEMIS gibt einen Wert von 360 MJ/kg T-Shirt an, der vergleichsweise hoch ist. In der Umweltökonomischen Gesamtrechnung wird vereinfachend angenommen, dass die Produktion von Importprodukten zu inländischen Konditionen durchgeführt wird. GEMIS geht davon aus, dass das T-Shirt in China produziert wird, weil der Handel einen Großteil seiner Waren aus China und anderen asiatischen Ländern bezieht, die ähnliche Produktionsbedingungen aufweisen. Die Produktion ist weniger effizient als die europäische. Außerdem verbraucht der Transport aufgrund der größeren Distanz mehr Energie.

Die Berechnung des Energieverbrauchs mit Hilfe der Haushaltsausgaben führt auch beim PKW-Verkehr und der Einrichtung zu niedrigeren Ergebnissen. Dies könnte darauf hinweisen, dass es zu einer methodenbedingten Unterschätzung des grauen Energieverbrauchs kommt.

	Umweltökonomische Gesamtrechnung 2007	nach Vringer et al 1995
Energieintensität Bekleidung *MJ/€*	2,9	4,8
Haushaltsausgaben *€/Monat* (Statistik Austria 2006b)	141,3	
Gesamt *PJ*	**17,06**	**28,13**

Tabelle 10.35: Vergleich der Energieintensitäten der Textilbranche

10.7 Papier

Papier und Kartonverpackungen werden gemeinsam bilanziert. Das gilt auch für die Verpackung von Haushaltsgeräten und anderen elektronischen Produkten, die schon bilanziert wurden. Streng genommen wäre also ein Teil des Energieverbrauchs den jeweiligen Bereichen zuzuordnen. Dies wird hier nicht getan, da der Anteil sehr klein ist und keine Daten über das Gewicht der Verpackung verfügbar sind, so dass es nur grob abgeschätzt werden kann. Als Datenquelle für den Verbrauch dient wieder der Abfallwirtschaftsplan. Es wird wie bei den weiter unten behandelten Glasverpackungen angenommen, dass derjenige Teil, der im Restmüll landet, aus der Primärproduktion stammt. Hingegen stammt das getrennt gesammelte Papier aus der Wiederverwertung. Zum Vergleich ist in Tabelle 10.36 die Rücklaufquote von Papier in Deutschland angegeben.

im Restmüll *t*	152130	
Papier, Kartonagen *t*	601100	Abfallwirtschaftsplan 2006
	79	Spektrum der Wissenschaft 2007
Rücklaufquote Papier *%*	75	eigene Berechnung

Tabelle 10.36: Altpapieraufkommen

Für die Ermittlung des Energieaufwands werden zwei Quellen zu Rate gezogen. Am Institut für Energie- und Umweltforschung wurde eine Studie über den Energieverbrauch der primären und sekundären Papiererzeugung erstellt (ifeu 2006). Das Holz stammt aus Nord- bzw. Süddeutschland und wird im Land verarbeitet. Für die Primärerzeugung kommt die Studie daher auf zwei verschiedene Werte, die die regionalen Unterschiede berücksichtigen. Der Energieaufwand zur Erzeugung von Sekundärpapier kommt auf 15 MJ/kg.

Die Daten für die Produktion von Wellpappe stammen aus Europa. Sie spiegeln 32 % der europäischen Produktion von 1994 wider. Der Unterschied zum Wert aus der Studie vom ifeu liegt in der Qualitätsanforderung des Papiers, welche bei Büropapier deutlich höher ist als bei Wellpappe, die hauptsächlich als Verpackungsmaterial dient. Einen entscheidenden Einfluss hat auch die Abwärmenutzung. Wenn die Abwärme zur Nahwärmeversorgung genutzt werden kann, wird sie als Gutschrift vom Energieaufwand abgezogen. Die Studie vom ifeu nimmt an, dass die Werke in siedlungsfernen Gebieten liegen und die Abwärme daher nicht genutzt werden kann. GEMIS schreibt die Abwärme dem Prozess gut.

Die Mittelwerte von Primär- und Sekundärpapier werden mit dem Papierverbrauch multipliziert, was in einem Energieaufwand von etwa 14,02 PJ resultiert (Tabelle 10.37).

	graue Energie *kJ/kg*	**Mittelwert**	**Quelle**
(Büro-)Papier primär Nord	38609		
(Büro-)Papier primär Süd	40802	39706	ifeu 2006
Wellpappe (Testliner)	11399		*Papier-Pappe\Testliner-DE*
(Büro-)Papier sekundär	15136	13268	ifeu 2006
Gesamtverbrauch *PJ*		**14,02**	

Tabelle 10.37: Graue Energie von Primär- und Sekundärproduktion

10.8 Verpackung

10.8.1 Glasverpackung

Zunächst wird der Energieverbrauch zur Herstellung von Glasverpackungen, hauptsächlich Glasflaschen, untersucht. Es wird angenommen, dass die Menge an Verpackungsglas, die in einem Jahr produziert wird, schließlich in genau dem Zeitraum auch wieder im Müll landet. Eine weitere Annahme ist, dass dieselbe Verpackungsmenge, die getrennt gesammelt wird, auch als wiederverwertetes Glas in den Umlauf kommt, während Glas im Restmüll nicht von wiederaufgeschmolzenem Glas stammt. Daraus ergibt sich eine Recycling-Quote von etwa 85 %. Laut Vetro-Recycling AG (2007) hängt die Energieeinsparung linear mit dem Anteil von Recycling-Glas zusammen. Bei reinem Recycling-Glas beträgt sie 25 %, in unserem Fall 21,3 %. Daraus resultiert ein Energieaufwand von 2,3 PJ.

Recyclingglas *t*	190700	
im Restmüll als Verpackung *t*	33192	Abfallwirtschaftsplan 2006
Summe	223892	
graue Energie *kJ/kg*	13027	*Steine-Erden\Glas-flach-A*
Recycling-Quote *%*	85	
Einsparung *%*	21	Vetro-Recycling AG 2007
Gesamt *PJ*	**2,30**	

Tabelle 10.38: grauer Energieverbrauch von Glasverpackungen

10.8.2 Aluminiumverpackung

Bezüglich der Aluminiumproduktion wird nur jener Teil untersucht, der für Verpackungszwecke (zum Beispiel Aluminiumdosen) verwendet wird. Der andere Teil wird als Werkstoff weiterverarbeitet und ist schließlich Bestandteil unterschiedlicher Produkte, die in anderen Kapiteln bilanziert werden. Beispielsweise wird ein Teil zur Produktion von Fahrrädern verwendet. Auch in Haushaltsgeräten wird Aluminium appliziert. Würde hier die gesamte Aluminiumproduktion bilanziert, käme es zu einer doppelten Verbuchung.

Aufkommen *t*	15000	Pilz et al 2003
Recyclingquote *%*	75	Abfallwirtschaftsplan 2006

Tabelle 10.39: Aluminium in Verpackungen und Recyclingquote

Tabelle 10.39 zeigt den Aluminiumverbrauch und die Recyclingquote. Das Aluminiumaufkommen wird von einer Studie über den Aluminiumhaushalt auf 15 000 t geschätzt (Pilz et al 2003). Dieser Wert ist eine Trendfortschreibung aus einer früheren Studie, die sich auf das Jahr 1998 bezieht. Im Bundes-Abfallwirtschaftsplan wird eine Recycling-Quote von 75 % für Aluminium angegeben.

	graue Energie *kJ/kg*	**Quelle**
Aluminium sekundär	27414	Metall\Aluminium-DE-sekundär
Aluminium primär	188880	Metall\Aluminium-Import-mix-DE
Gesamt PJ	**1,02**	

Tabelle 10.40: grauer Energieverbrauch von Aluminium

Österreich hat keine eigene primäre Aluminiumproduktion, weshalb das Aluminium importiert oder wiederverwertet werden muss. Für die Primärproduktion wird der Import-Mix Deutschlands

zugrunde gelegt. Es wird also angenommen, dass Österreich und Deutschland das Aluminium aus den gleichen Ländern beziehen. Der Anteil aus der Primärproduktion ist, wie bereits oben besprochen 25 %. Daraus ergibt sich ein Gesamtverbrauch von 1,02 PJ (Tabelle 10.40).

10.8.3 Andere Metallverpackungen

Aus dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan ist ersichtlich, dass sich noch andere Metallverpackungen im Müll befinden. Da es in dieser Studie keine Aufschlüsselung nach der Art der Metalle gibt, wird hier mit dem Wert für Stahlblech gerechnet. Vom Gesamtaufkommen muss noch der Anteil des Aluminiums abgezogen werden, der vorher ermittelt wurde. Es ergibt sich ein Verbrauch von 1,1 PJ (Tabelle 10.41).

Metallverpackungen getrennt *t*	32400	
im Restmüll *t*	23511	Bundesabfallplan 2006
abzüglich Aluminium *t*	-15000	Pilz et al 2003
Summe *t*	40911	
graue Energie *kJ/t*	27899	Metall\Stahl-DE-Blech
Summe *PJ*	**1,14**	

Tabelle 10.41: grauer Energieverbrauch von Metallverpackungen im Müll (außer Aluminium)

10.8.4 Holz-Verpackungen und Holz

Etwa 1 % des Restmülls setzt sich aus der Fraktion „Holz – Leder – Gummi“ zusammen. Wenn man davon ausgeht, dass diese drei Materialien in derselben Menge vorhanden sind, ergibt dies einen Wert von jeweils 4610 t. Allerdings sind damit auch Stoffe erfasst, die nicht als Verpackung dienten. Dies ist für Holz bezüglich Doppelverbuchung unproblematisch, da es bisher nur bei Möbeln bilanziert wird und diese im Allgemeinen nicht mit dem Restmüll entsorgt werden, das heißt, hier wird ein anderer Stoffstrom bilanziert. Gummi und Leder werden an dieser Stelle nicht bilanziert, da sie teilweise schon berücksichtigt wurden (z.B.: Gummi für Fahrräder) und nach eigener Einschätzung einen vernachlässigbar kleinen Energieverbrauch verursachen.

Das Ergebnis ist unsicher, weil man die tatsächlichen Anteile der Materialien Holz, Leder und Gummi nur grob schätzen kann. Es liefert mit 0,09 PJ jedenfalls einen sehr kleinen Beitrag zum Gesamtenergieverbrauch (Tabelle 10.42).

Holz-Verpackungen getrennt *t*	1600	
im Restmüll *t*	4610	
Summe *t*	6210	Bundesabfallplan 2006
graue Energie Holz - Mittelwert *kJ/kg*	15003	
Summe *PJ*	**0,09**	

Tabelle 10.42: graue Energie von Holzverpackungen

10.8.5 Kunststoffverpackung

Kunststoffverpackungen finden sich im Restmüll und in der sogenannten Leichtfraktion. Materialverbund von Kunststoff und Karton wird vereinfacht als Kunststoff bilanziert. Der Anteil der Verpackungskunststoffe (zum Beispiel Getränkeflaschen) am Restmüll beträgt 5,8 %. In der getrennt

erfassten Leichtfraktion befinden sich nur Verpackungsabfälle, die aus den Kunststoffen HDPE, LDPE, Polystyrol, Polypropylen und PET bestehen (Bundesabfallplan 2006).

1,5 % Materialverbund im Restmüll *t*	20745
5,8 % Kunststoffe im Restmüll *t*	80214
Leichtfraktion Verpackung *t*	127000
Gesamt *t*	**227959**

Tabelle 10.43: Aufkommen von Kunststoffverpackungen

Zur Ermittlung der grauen Energie wird der Mittelwert aus den in Frage kommenden Kunststoffen gebildet. Er beträgt 94,96 MJ/kg. Der gesamte graue Energieverbrauch von Kunststoffverpackungen beträgt 21,65 PJ.

	graue Energie *MJ/kg*
Kunststoff/HDPE-Behälter-APME-99	93,0
Kunststoff/LDPE-Folie-APME-99	92,4
Kunststoff/PP-Folie(OPP)-APME-99	110,1
Kunststoff/EPS-A	100,3
Chem-Org/PET-APME-97	78,0
Mittelwert Verpackung	95,0
Gesamt *PJ*	**21,65**

Tabelle 10.44: Graue Energie von Kunststoffverpackungen

10.8.6 Zusammenfassung Verpackung

Abbildung 10.7 zeigt die Anteile der einzelnen Verpackungsfraktionen am grauen Energieverbrauch. Verpackungen aus Karton und Papier fehlen, weil sie bereits im Kapitel Papier bilanziert werden. Kunststoff hat den größten Anteil mit 91 %, was an der energieintensiven Produktion des Kunststoffs und dem hohen Gewichtsanteil liegt.

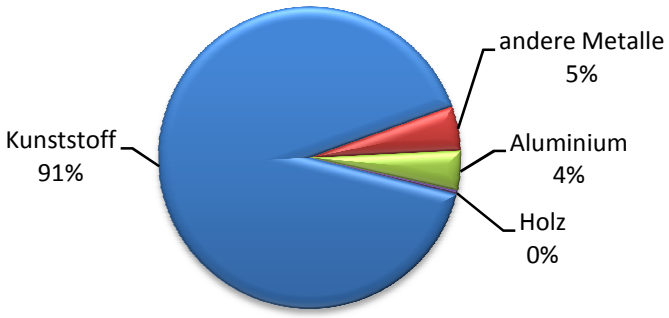

Abbildung 10.7: Anteil der Verpackungsfraktionen am grauen Energieverbrauch

11 Ergebnis & Schlussfolgerung

Tabelle 11.1 zeigt den grauen Energieverbrauch der Haushalte in absoluten Zahlen und die Anteile der Konsumsektoren am Gesamtverbrauch in Prozent. Abbildung 11.1 zeigt nur die Anteile.

Beim Verkehr wird ausschließlich der indirekte Energieverbrauch betrachtet. Man sieht, dass die Lebensmittelproduktion mit 38 % den größten Anteil hat. Danach folgen Textilien mit 15 %, die Verpackung kommt immerhin auf 13 %. Hauptverantwortlich dafür ist der Kunststoff, der relativ energieintensiv ist und in großen Mengen anfällt. Der gesamte graue Energieverbrauch beträgt rund 197 PJ.

Die Lebensmittelproduktion ist mit einem Anteil von 38 % der größte graue Energieverbraucher. Vringer und Blok (1995) geben in ihrer Studie über den Energieverbrauch der niederländischen Haushalte einen Anteil von 31 % an. Die Energieintensität der Bereitstellung von Lebensmitteln hängt stark von den Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung ab. Wie bereits erwähnt hat die Produktion von tierischen Nahrungsmitteln einen niedrigen Wirkungsgrad, die Nachfrage nach Fleisch und Milchprodukten ist aber sehr hoch.

Der Verbrauch von Textilien ist für 15 % des grauen Energieverbrauchs verantwortlich. Dieser Wert ist relativ hoch, wie ein Vergleich mit der Studie von Vringer und Blok (1995) zeigt. Die Autoren geben einen Anteil von nur 7 % am indirekten Energieverbrauch an. Der Grund für das Resultat der eigenen Berechnungen könnte in der uneinheitlichen Methodik liegen, die den Energieverbrauch einzelner Konsumsektoren unter- bzw. überschätzt.

	graue Energie *PJ*	**Anteil *%***
Lebensmittel	75,0270	38,07
Textilien	29,3048	14,87
Verpackung ohne Papier	26,1947	13,29
Einrichtung, Reinigung	21,4010	10,86
Individualverkehr	19,6881	9,99
Papier	14,0155	7,11
Unterhaltungselektronik, PC, Mobiltelefon	7,4121	3,76
Haushaltsgeräte	3,7657	1,91
Flug-, Bahn-, Busverkehr	0,2809	0,14
Gesamt	**197,1497**	**100,00**

Tabelle 11.1: Grauer Energieverbrauch der Konsumsektoren und Anteile am Gesamtverbrauch

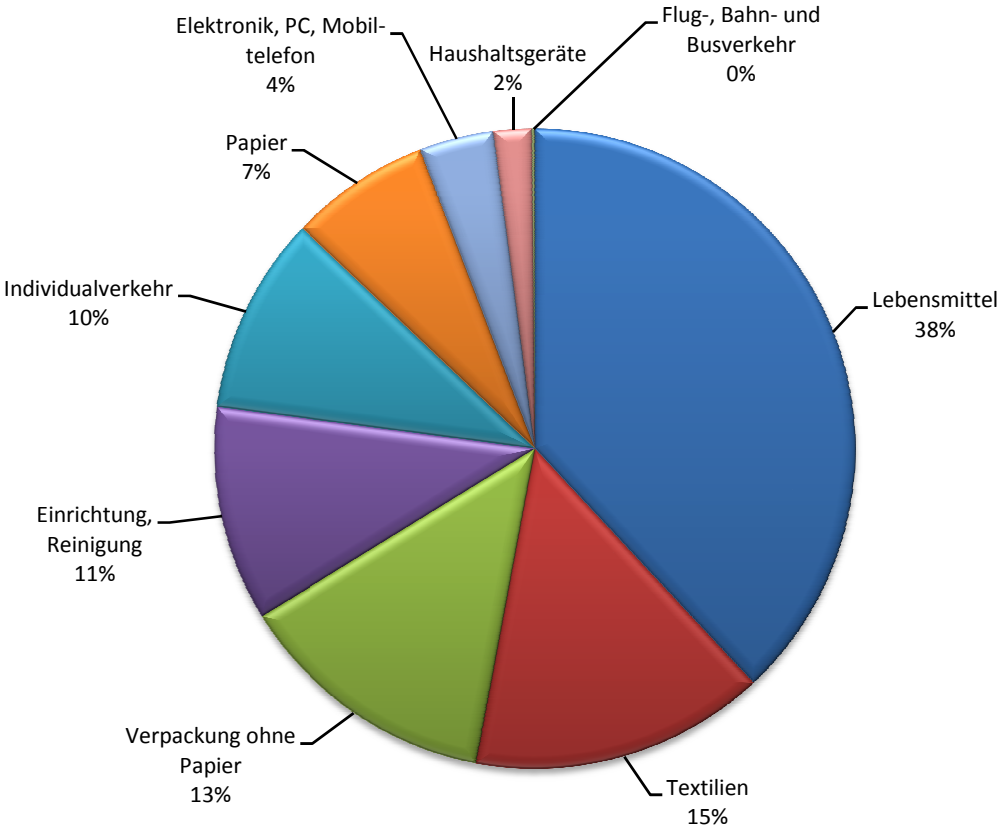

Abbildung 11.1: Anteil der Konsumgüter und Dienstleistungen am grauen Gesamtenergieverbrauch

	Gr. Energie pro Haushalt *GJ*
Niederlande (Vringer et al 1995)	130
Stoffstromanalyse (Quack et al 2004)	49
IO-Analyse Australien (Lenzen 1998)	413
Eigene Berechnung	**57**

Tabelle 11.2: Vergleich des grauen Energieverbrauchs von Haushalten

Tabelle 11.2 zeigt den grauen Energieverbrauch pro Haushalt. Die Werte stammen aus der eigenen Berechnung und drei anderen Studien. Aus der eigenen Berechnung ergibt sich ein Wert von rund 57 GJ.

Vringer und Blok (1995) untersuchten den Energieverbrauch der niederländischen Haushalte und kamen auf einen Wert von 130 GJ. Ein Grund für den höheren Wert könnte im energieintensiveren Konsumverhalten der Niederländer liegen. Zweitens ist der Anteil der fossilen Energieträger am Stromerzeugungsmix höher und drittens erfordert auch die Landwirtschaft wegen des etwas raueren Klimas längere Transportwege oder den energieintensiven Anbau in Glashäusern. Nicht zuletzt hängt das höhere Ergebnis damit zusammen, dass die Hybrid-Analyse auf fast alle Konsumgüter angewendet wird. Erstens erfasst sie Energieströme, die in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt oder nicht betrachtet werden. Zweitens ist die Untersuchung breiter angelegt und umfasst auch den Bereich Freizeit, Bildung, Hygiene, medizinische Artikel etc. Abgesehen von den Freizeitaktivitäten haben diese Posten jedoch einen geringen Einfluss auf den Gesamtverbrauch.

Die Stoffstromanalyse (Quack et al 2004) kommt bezüglich der Herstellungsenergie der im Haushalt verwendeten Produkte auf 49 GJ pro Haushalt. Der Fokus dieser Studie liegt in der Ermittlung der Umweltbelastung der Stoffströme, weshalb die Berechnung der grauen Energie recht grob durchgeführt wird. Allerdings ist bei dieser Analyse auch der graue Energieverbrauch durch den Bau neuer Wohnungen und Häuser enthalten.

Schließlich gibt Manfred Lenzen (1998) einen Wert von 421,8 GJ pro Haushalt an. Seine IO-Analyse von Australien umfasst den indirekten und direkten Energieverbrauch und ist daher als Vergleichswert nicht gut geeignet.

Wenn man darum bemüht ist, den grauen Energiebedarf zu senken, genügt es nicht, nur den Konsum von Gütern zu beschränken, die insgesamt einen hohen grauen Energieverbrauch verursachen. Man muss sich zuerst überlegen, welche Produkte stattdessen gekauft werden. Der Energieverbrauch kann nur dann gesenkt werden, wenn Konsumenten auf weniger energieintensive Produkte umsteigen. Das sind vor allem Dienstleistungen. Alfredsson zeigt in einer Studie, dass eine teilweise Annahme einer „grünen“ Verhaltensweise zu einer Zunahme des Energieverbrauchs und der CO2-Emissionen führt, wenn die Haushaltsausgaben konstant bleiben (Alfredsson 2004). Unter einer „grünen“ Verhaltensweise wird generell eine Bevorzugung von weniger CO_2- bzw. energieintensiven Produkten bezogen auf Geldwerte verstanden. Konkret sei hier eine grüne Ernährungsweise genannt, die zwar 5 % Energie spart, aber auch 15 % weniger Geld kostet. Wird das Geld dann für Reisen ausgegeben, verschlechtert sich die Energiebilanz insgesamt.

Eine andere Vorgehensweise besteht in der höheren Besteuerung energieintensiver Güter. Das käme einer Energiesteuer gleich, die aber gezielter eingesetzt werden kann. Diese Maßnahme senkt zwar die Energieintensität, führt aber zu weniger Konsum und könnte daher den Lebensstandard senken. Obwohl im Dienstleistungssektor mehr als die Hälfte der Wertschöpfung generiert wird und die Bedeutung in den industrialisierten Ländern immer noch zunimmt, bedeutet das keineswegs, dass sich die Wirtschaft auf dem Weg der Dematerialisierung befindet. Vringer und Blok (2000) zeigen, dass innerhalb der niederländischen Wirtschaft keine Dematerialisierung stattfindet. Wegen der ähnlichen Struktur der Wirtschaft gilt dies vermutlich auch für Österreich. Die Produktivitätszuwächse sind im Produktionsbereich höher als im Dienstleistungsbereich (Alfredsson 2004). Kunde und Dienstleistungsanbieter müssen oft zur selben Zeit am selben Ort sein (z.B. Frisör). Daher bleiben Dienstleistungen vergleichsweise teuer, was darauf hin deutet, dass der Geldwert der Güter zwar abnimmt, die Menge jedoch konstant bleibt oder sogar zunimmt.

12 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, eine Abschätzung über den indirekten Energieverbrauch österreichischer Privathaushalte zu machen. Es wäre wünschenswert, die Genauigkeit der Ergebnisse durch weitere Forschung zu verbessern und außerdem zusätzliche Erkenntnisse aus der Entwicklung des Energieverbrauchs über der Zeit zu ziehen.

- Datenqualität: Ein zentraler Punkt ist die Genauigkeit der Daten über den spezifischen grauen Energieverbrauch. Hybrid-Analysen für Produkte, die in Österreich hergestellt und konsumiert werden, könnten die Genauigkeit verbessern, sind aber sehr aufwändig.

- Nahrungsmittelindustrie: Für Österreich existiert keine Statistik über die Verarbeitung von Nahrungsmitteln. Die Herstellung von Fertiggerichten verschlingt aber große Mengen an Energie.

- Zeitreihe: Die Darstellung des Energieverbrauchs über der Zeit kann hilfreich sein bei der Entwicklung von Einsparpotenzialen. Folgende Fragen könnten untersucht werden: Welche Faktoren beeinflussen den grauen Energieverbrauch? Wie wirken sich Maßnahmen aus?

- Input-Output-Analyse: Der graue Energieverbrauch Österreichs kann mit einer Input-Output-Analyse berechnet werden. Die Daten hierfür werden von der Statistik Austria bereit gestellt. Die Berechnung sollte zu genaueren Ergebnissen führen, allerdings auf Kosten des Detailreichtums.

13 Anhang

13.1 Bananenproduktion

Da es in PROBAS und in der Studie von Taylor (2000) keine Angaben über den Energieverbrauch der Bananenproduktion gibt, wird die Studie von Carlsson-Kanyama und Faist (2000) zu Rate gezogen. Im Anhang dieser Studie über den Energieverbrauch zur Herstellung eines Hamburgers finden sich wertvolle landwirtschaftliche Daten, wobei sich die Produktionsdaten auf Zentraltaiwan beziehen und der Mittelwert aus zwei unterschiedlichen Produktionsstätten ermittelt wird.

Tabelle 13.1 fasst die Berechnung des Energieverbrauchs zusammen. Carlsson-Kanyama gibt neben dem Düngemittelverbrauch auch den Energieaufwand zur Herstellung der Düngemittel an. Aus dem Text geht nicht hervor, worauf sich der Ausdruck „Machinery“ bezieht, aber die Vermutung liegt nahe, dass es sich um die Abnutzung der landwirtschaftlichen Fahrzeuge handelt und der Wert von 99 kg wird deswegen mit Hilfe von GEMIS vereinfacht als „Stahlblech“ bilanziert. Eine weitere Unsicherheit betrifft den Stromverbrauch, weil unklar ist, ob es sich um Primär- oder Sekundärenergieverbrauch handelt. Aufgrund des relativ geringen Einflusses dieser Größe wird hier nicht weiter darauf eingegangen, sondern angenommen, dass es sich um Primärenergie handelt. Die Berechnung ergibt einen Energieverbrauch von 1,8 MJ/kg.

	Verbrauch pro ha		Mittelwert	KEA *MJ/kg*	KEA *MJ/ha*
Diesel *l*	100	120	110	42,7	5592
Gasoline (Benzin) *l*	30	40	35	43	1980
Electricity *MJ*	173	187	180		180
N-applied (Nitratdünger) *kg*	352	495	423,5	45	19058
P-applied (Phosphatdünger) *kg*	77	121	99	30	2970
K-applied (Kalidünger) *kg*	584	747	665,5	12	7986
Pestizide *kg*	38	24	31	204,75	6347
Machinery *kg*	99	99	99	27,899	2762
Ertrag *kg/ha*	19000	33000	26000		
Summe *MJ/ha*					46875
Energie *MJ/kg*					**1,803**

Tabelle 13.1: Energieverbrauch bei der Bananenproduktion

13.2 Trockenfrüchte

Die Maroni-Trocknung wird in einer Studie von Koyuncu, Serdar und Tosun (Koyuncu et al 2004) untersucht. Durch Variation der Luftgeschwindigkeit und Temperatur resultieren unterschiedliche Ergebnisse. Die Restfeuchtigkeit von 8 % nach der Behandlung wird nicht variiert. Ein Mittelwert von 57 096 kJ/kg aus minimalem und maximalem Energieaufwand wird gebildet, der für die Produktion von Trockenfrüchten herangezogen wird. Zu diesem Wert muss noch der graue Energieaufwand zur allgemeinen Obstproduktion addiert werden (Tabelle 13.2). In Summe sind das 63,1 MJ/kg.

	Maximum *kJ/kg*	Minimum *kJ/kg*
Trocknung	23292	90900
Mittelwert	57096	
Obstproduktion	6005	
Summe	**63101**	

Tabelle 13.2: Energieverbrauch der Trockenobstproduktion

13.3 Zigaretten

Im Mittel werden in Österreich pro Jahr 17,6 Milliarden Zigaretten geraucht. Es werden drei Quellen herangezogen, die sich auf unterschiedliche Jahre beziehen. Da der Zigarettenkonsum nahezu konstant ist (er ist in den letzten Jahren leicht rückgängig), sind die Daten ausreichend genau. Aus dem Durchschnittspreis und dem Konsum erhält man die Ausgaben, die mit Hilfe der Inflationsrate und der Berücksichtigung des unterschiedlichen Preisniveaus zwischen Deutschland und Österreich an Deutschland im Jahr 1996 angepasst werden. Weil sich die Energieintensität auf das Jahr 1996 bezieht, ist die Anpassung notwendig. Sie stammt aus einer Input-Output-Rechnung für Deutschland und beinhaltet nur die Tabakverarbeitung. Der Energieverbrauch inklusive Anbau, Transport und Handel dürfte also höher liegen, aber es wird nicht näher darauf eingegangen, da eine genauere Betrachtung dieses Bereichs den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

Zigarettenkonsum *Mia. Stück/Jahr*	17	Atefie 2006
	20,7	Österreichische Suchtvorbeugung 2006
	15,2	Foggensteiner 1996
Mittelwert *Mia. Stück/Jahr*	17,6	
Preis Österreich 2005 *€*	3,5	networld.at 2008
Ausgaben *Mia. €*	3,1	
Preis Deutschland 2005 *€*	3,8	Pricerunner 2005
Inflation akkumuliert *%*	14	wikipedia 2008b
Äquivalenzausgaben *€*	2,95	
Energieintensität *kJ/€*	1387	Tabak-D-IOT-1995
Gesamt *PJ*	**4,09**	

Tabelle 13.3: Graue Energie des Zigarettenkonsums

13.4 Mikrowellenherd, Elektroherd

Die Ermittlung der grauen Energie eines Elektro- bzw. Mikrowellenherds erfolgt durch eigene Berechnungen. Zunächst werden die Materialien ermittelt aus denen sich die Geräte zusammensetzen. Die Daten der Zusammensetzung stammen aus persönlichen Mitteilungen der Hersteller bzw. des Vertriebs, die graue Energie der Materialien ist bekannt. Zur Endfertigung des Geräts wird ein Energieverbrauch von 5 % der grauen Energie der Materialien angenommen. Danach erfolgt ein Transport von 300 km mit dem LKW, ein gängiger Wert, der für allgemeine Transportvorgänge in GEMIS verwendet wird. Die Verpackungsmaterialien werden hier nicht berücksichtigt, da sie in einem anderen Kapitel behandelt werden.

13.4.1 Elektroherd

Die Daten zur Materialzusammensetzung eines Einbauherds stammen aus einer persönlichen Mitteilung von Gorenje (Heberger 2007). Auf Unterschiede in der Materialzusammensetzung zwischen frei stehenden Herden und Einbauherden wird nicht eingegangen.

Die Materialzusammensetzung der „elektrischen Komponenten“ wird mangels genauerer Angaben abgeschätzt. Es wird ein Gewichtsanteil von 50 % für Kupfer und 50 % für Kunststoffe angenommen, wobei bezüglich der grauen Energie ein Durchschnittswert für Kunststoffe verwendet wird. Da die Emaillierung dem Glas stofflich ähnlich ist, wird der Energieverbrauch wie bei der Glasherstellung angesetzt. Für die Farbe und Bakelite wird der Durchschnittswert zur Kunststoffherstellung verwendet. Das ergibt einen Gesamtenergieaufwand von 1140 MJ pro Gerät (Tabelle 13.3).

	Gewicht	Energie		
	kg	*MJ/kg*	*MJ*	Quelle
Stahl	19,54	28	545	*Metall\Stahl-DE-Blech*
Elektrische Komponenten (50 % Kunststoffe, 50 % Kupfer)	5,00	68	338	Mittelw. verarb. Kunstst., *Metall\Kupfer-DE-mix*
Glas	4,70	13	61	*Steine-Erden\Glas-flach-A-neu*
Emaillierung (Glas)	1,10	13	14	*Steine-Erden\Glas-flach-A-neu*
Farbe (Mittelwert Kunststoff)	0,50	86	43	GEMIS
Kupfer	0,45	49	22	*Metall\Kupfer-DE-mix*
Bakelite (Mittelwert Kunststoff)	0,34	86	29	GEMIS
Glaswolle	0,30	28	8	*Steine-Erden\Glaswolle-A*
Polyamid (wie Polykarbonat)	0,07	107	7	*Chem-Org/PC-APME-97*
Summe	**32,00**		**1068**	
Endfertigung			53	
Transport			18	
Gesamt pro Gerät			**1140**	

Tabelle 13.4: Materialzusammensetzung und graue Energie eines Elektroherds

13.4.2 Mikrowellenherd

Die Daten über die Materialzusammensetzung des Mikrowellenherds „R-239“ wird freundlicherweise von Sharp zur Verfügung gestellt (Möllmann 2007). Die englischen Bezeichnungen entsprechen dem originalen Wortlaut der Mitteilung. In Klammer wird die deutsche Übersetzung angefügt bzw. im Fall von „Other“ der Begriff, auf den sich die graue Energie bezieht. Die „anderen“ Bauteile werden also als Kunststoff bilanziert. Die Daten der Leiterplattenfertigung beziehen sich auf einen Fernseher (Behrendt et al 1998). Auf die Leiterplatte werden aktive und passive Bauelemente gelötet. Es wird angenommen, dass sich die Verteilung der Bauelemente für einen Mikrowellenherd ähnlich und der Energieverbrauch proportional zum Gewicht verhält. Es ergibt sich ein Gesamtenergieverbrauch von 272 MJ pro Gerät.

	Gewicht	Energie		
	kg	*MJ/kg*	*MJ*	Quelle
Iron Base	4,76	28	133	*Metall\Stahl-DE-Blech*
PWBs (Leiterplatte mit Elektronik)	0,13	424	55	Behrendt et al 1998
Glass	1,14	13	13	*Steine-Erden\Glas-flach*
Olefin-based (PP-PE)	0,05	71	4	Chem-Org/PP-APME-99
Styrene-based (PS/ABS)	0,40	100	40	Kunststoff/EPS-A
Other (Kunststoff)	0,13	86	11	
Summe	**6,61**		**255**	
Endfertigung			13	
Transport			4	
Gesamt pro Gerät			**272**	

Tabelle 13.5: Materialzusammensetzung und graue Energie eines Mikrowellenherds

13.5 Digitalkamera

Die Untersuchung beschränkt sich auf Fotoapparate, da diese im Vergleich zu Videokameras einen viel größeren Absatz haben. Die graue Energie einer Digitalkamera wird durch Interpolation auf Basis des Gewichts gewonnen. Da eine Digitalkamera hauptsächlich aus elektronischen und teilweise mechanischen Komponenten besteht und meist ein LC-Display besitzt, wird die graue Energie des Mobiltelefons der Berechnung zugrunde gelegt. Die Daten über das Gewicht der Digitalkameras und Mobiltelefone stammen vom deutschen online Preisvergleich-Service idealo.de, wo Gewicht und Anzahl der Angebote angegeben sind. Das Durchschnittsgewicht wird aus dem Mittelwert der Grenzen einer Gewichtsklasse errechnet. Die 80 bzw. 500 g als Durchschnittsgewicht der untersten bzw. höchsten Gewichtsklasse der Digitalkameras sind eigene Annahmen. Analog gilt dies auch für Mobiltelefone. Da sich das Angebot fast täglich ändert, variieren auch die Zahlen zu Gewicht und Anzahl der Angebote. Dennoch dürften aufgrund der Berücksichtigung einer breiten Masse von Geräten die Schwankungen des durchschnittlichen Gewichts gering ausfallen.

Gewicht *g*	Anzahl der Angebote	Durchschnittsgewicht *g*
Bis 100	38	80
100 bis 200	416	150
200 bis 400	118	300
ab 400	285	500
gewichteter Mittelwert		**283,9**

Tabelle 13.6: Gewicht einer Digitalkamera

Gewicht *g*	Anzahl der Angebote	Durchschnittsgewicht *g*
bis 100	263	80
100 bis 150	165	125
150 bis 200	43	175
gewichteter Mittelwert		**104,4**

Tabelle 13.7: Gewicht eines Mobiltelefons

Der Absatz von Digitalkameras wird auf Basis der Bevölkerung extrapoliert. Der graue Energieverbrauch von Digitalkameras beträgt 0,72 PJ.

Gewichtsverhältnis Digitalkamera/Mobiltelefon	2,72
graue Energie pro Gerät *MJ*	952
Absatz Digitalkameras Deutschland (Focus online 2008)	7430000
Extrapolation Österreich	754126
Gesamt *PJ*	**0,72**

Tabelle 13.8: Graue Energie einer Digitalkamera

13.6 CD, DVD

Bezüglich der Medien werden nur DVDs und CDs untersucht. Aufgrund der Materialzusammensetzung wird ein Wert für die graue Energie errechnet. Der Transport wird hier mit 1000 km angesetzt, da ein großer Teil der Produktion außerhalb Europas statt findet. Die Bilanzierung umfasst Compact Discs, CD-Rohlinge, Musik- und Film-DVDs und DVD-Rohlinge. Sie verursachen einen Energieverbrauch von 0,5 PJ.

Masse (inkl. Verp.) g	95,90	eigene Messung
Polykarbonat *MJ/kg*	106,63	Chem-Org/PC-APME-97
Transport *MJ*	0,18	*LKW-A-2005*
Summe pro CD/DVD *MJ*	10,41	
verkaufte CDs/DVDs	48159611	IFPI 2007
Energie gesamt *PJ*	**0,50**	

Tabelle 13.9: grauer Energieverbrauch von CDs und DVDs

14 Abbildungsverzeichnis

2.1: Energiefluss bei (in)direkten Energiedienstleistungen 6
2.2: Energieflüsse in der Schweiz, 1975 (Spreng 1995) 8
2.3: horizontale und vertikale Grenzen (nach Spreng 1995) 10
2.4.: Erweitern des Bilanzraums durch Ändern der vertikalen Grenzen (Spreng 1995) 11
5.1.: Energiefluss eines Prozesses nach GEMIS 16
6.1.: Prozesskettenanalyse (Spreng 1995) 17
6.2.: IO-Tabelle (Drake 1996) 18
7.1.: Methoden zur Ermittlung des Energieverbrauchs von Haushalten (Kok et al 2006) 22
10.1: modifizierte Prozesskette des Personentransports mit der Bahn in GEMIS 32
10.2: Gesamter Energieverbrauch des Verkehrs 34
10.3: grauer Energieverbrauch des Verkehrs 35
10.4: Anteil der Lebensmittelgruppen am gesamten grauen Energieverbrauch 41
10.5: Anteil der einzelnen Haushaltsgeräte am grauen Energieverbrauch 43
10.6: Anteile der einzelnen Elektronikprodukte am grauen Energieverbrauch 44
10.7: Anteil der Verpackungsfraktionen am grauen Energieverbrauch 55
11.1: Anteil der Konsumgüter und Dienstleistungen am grauen Gesamtenergieverbrauch 57

15 Tabellenverzeichnis

8.1: Graue Energie verschiedener Materialien ... 24
8.2: Graue Energie verschiedener Materialien, Produkte und Dienstleistungen ... 25
8.3: Kumulierter Energieaufwand (KEA) verschiedener Transportdienstleistungen ... 25
8.4: Bevölkerungsdaten für Österreich 2005 (Statistik Austria 2006a ... 25
10.1: Berechnung des grauen Energieverbrauchs von PKWs über die Zulassungsstatistik ... 27
10.2: Fahrzeugbestand, Fahrgewohnheiten und Fahrleistung ... 27
10.3: Eingangsdaten für die Berechnung in GEMIS ... 28
10.4: Daten zum Energieverbrauch des PKW-Verkehrs aufgrund der Fahrleistung ... 28
10.5: Energieverbr. des PKW-Verkehrs aufgrund der Haushaltsausgaben und Energieintensitäten ... 28
10.6: grauer Energieverbrauch von Motorrädern ... 29
10.7: Energieaufwand zur Herstellung der Materialien eines Fahrrads (nach Teufel et al 1999) ... 29
10.8: grauer Energieverbrauch aller verkauften Fahrräder ... 29
10.9: Energieverbrauch des Fahrradverkehrs aufgrund der Fahrleistung ... 30
10.10: Eingangsdaten des Flugverkehrs für die Berechnung in GEMIS ... 31
10.11: Energieverbrauch des Flugverkehrs ... 31
10.12: Energieverbrauch des Bahnverkehrs ... 32
10.13: Energieverbrauch des öffentlichen innerstädtischen Straßen- und U-Bahnverkehrs ... 33
10.14: Gegenüberstellung des gesamten Energieverbrauchs des Verkehrs aus eigenen Berechnungen mit den Angaben aus dem Energieflussbild der Österreichischen Energieagentur ... 36
10.15: grauer Energieverbrauch von Lebensmitteln (1) ... 38
10.16: grauer Energieverbrauch von Lebensmitteln (2) ... 39
10.17: grauer Energieverbrauch von Lebensmitteln (3) ... 40
10.18: menschlicher Nährwertverbrauch in Österreich ... 41
10.19: Grauer Energieverbrauch der Haushaltsgeräte ... 42
10.20: grauer Energieverbrauch von Elektronikprodukten ... 43
10.21: Gewichtsangaben für Möbelstücke (Quack et al 2004) ... 45
10.22: spezifische graue Energie der Materialien für Möbel ... 45
10.23: Bilanzierte Möbelgruppen aus der Konjunkturstatistik (Statistik Austria 2006e) ... 46
10.24: Energiesaldo auf Basis des Imports und Exports von Möbeln (Statistik Austria 2006c) ... 46
10.25: Transport und Montageenergie von Möbeln ... 46
10.26: Ermittlung der grauen Energie des Möbelverbrauchs über Energieintensitäten ... 47
10.27: Ermittlung des Exports von grauer Energie von Möbeln mit Hilfe der Energieintensität ... 48
Tabelle 10.28: Umrechnung der niederländischen Energieintensität auf die europäische Währung und das Jahr 2005 ... 48
10.29: Energieintensitätsvergleich zwischen Österreich und den Niederlanden ... 48
10.30: indirekter Energieverbrauch von Leuchtmitteln ... 49
10.31: grauer Energieverbrauch von Geschirr und Besteck ... 49
10.32: Grauer Energieverbrauch von Reinigungsmitteln ... 49
10.33: Berechnung des Altkleideraufkommens über Extrapolation und den Bundes-Abfallwirtschaftsplan (Mackert et al 2003; Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2006) ... 50
10.34: grauer Energieverbrauch von Kleidung und Textilien ... 51
10.35: Vergleich der Energieintensitäten der Textilbranche ... 51

10.36: Altpapieraufkommen 52
10.37: Graue Energie von Primär- und Sekundärproduktion 52
10.38: grauer Energieverbrauch von Glasverpackungen 53
10.39: Aluminium in Verpackungen und Recyclingquote 53
10.40: grauer Energieverbrauch von Aluminium 53
10.41: grauer Energieverbrauch von Metallverpackungen im Müll (außer Aluminium) 54
10.42: graue Energie von Holzverpackungen 54
10.43: Aufkommen von Kunststoffverpackungen 55
10.44: Graue Energie von Kunststoffverpackungen 55
11.1: Grauer Energieverbrauch der Konsumsektoren und Anteile am Gesamtverbrauch 56
11.2: Vergleich des grauen Energieverbrauchs von Haushalten 57
13.1: Energieverbrauch bei der Bananenproduktion 60
13.2: Energieverbrauch der Trockenobstproduktion 61
13.3: Graue Energie des Zigarettenkonsums 61
13.4: Materialzusammensetzung und graue Energie eines Elektroherds 62
13.5: Materialzusammensetzung und graue Energie eines Mikrowellenherds 63
13.6: Gewicht einer Digitalkamera 63
13.7: Gewicht eines Mobiltelefons 63
13.8: Graue Energie einer Digitalkamera 64
13.9: grauer Energieverbrauch von CDs und DVDs 64

16 Referenzen

Airport Linz (2005) "Jet Set" Folder, Hörsching, 20. 2. 2008, http://www.linz-airport.at/www/ex/download/documents/Jetset_Folder.pdf

Alfredsson, E., (2004) „‘Green’ consumption—no solution for climate change.“ Energy 29, S 513–524.

Atevie Kafe (2006) „‘Quit and Win’: Auch 2006 wieder im Einsatz für die Rauchfreiheit“, Wien, 2. 2. 2008 http://www.gesund.co.at/GESUND/Themaderwoche/2006/TdW19-Rauchen.htm

Behrendt Siegfried, Kreibich Rolf, Lundie Sven, Pfitzner Ralf, Scharp Michael (1998) „Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte“ Springer-Verlag, Berlin Heidelberg S 75, 103

BIOTHEMEN (2007) „Baumwolle – Stoff, der unter die Haut geht“ Marxzell, 29. 1. 2008 http://www.biothemen.de/Oekologie/rohstoffe/baumwolle.html

Brauner Günther (2006) „Elektrizitätsbedarf und Effizienz bis 2030 (Endenergieeffizienz-Richtlinie EU 2006/32/EG)“, Pressekonferenz 24. November 2006 „Lifestyle und Energieeffizienz“, 2006

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006) „Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006“ Druckerei Friedrich VDV Linz, Wien www.bundesabfallwirtschaftsplan.at

Carlsson-Kanyama Annika, Faist Mireille (2000) „Energy Use in the Food Sector: A data survey“ AFR report No. 291, Environmental Strategies Research Group, Schweden

CHOCOSUISSE (2008) „Dokumentation / Facts and Figures – pro-Kopf-Verbrauch“ Verband Schweizerischer Schokoladefabrikanten, Bern, 12. 3. 2008 http://www.chocosuisse.ch/page/3_1_factsandfigures-de.html

Deutscher Kraftfahrzeuggewerbe Zentralverband (2004) „Das Autojahr 2004 im Überblick“, Bonn 10. 10. 2007 http://www.kfzgewerbe.de/verband/zahlen

Drake Frank-Detlef (1996) „Kumulierte Treibhausgasemissionen zukünftiger Energiesysteme“ Springer, Heidelberg

Emmenegger Mireille Faist, Frischknecht Rolf, Jungbluth Niels (2003) „LCA des Mobilfunksystems UMTS“ ESU-Services, Uster

Eurostat (2007) „Haushalte – Verfügbarkeit von Computern 2005“ 16. 12. 2007

Flughafen Wien AG (2007) „STELLUNGNAHME ZUR UMWELTVERTRÄGLICHKEITSERLÄRUNG DER FLUGHAFEN WIEN AG - Projekt: ‚Parallelpiste 11R29L‘“, Bezirkskonferenz Mödling, Mai 2007

Focus online „Spiegelreflexkameras legen zu“ 12. 2. 2008 http://www.focus.de/digital/foto/photokina/messe-photokina_aid_116068.html

Foggensteiner Alexander (1996) „Zigarettenschmuggel: 3 Mrd. Schaden“ Wirtschaftsblatt Archiv, 2. 2. 2008 http://www.wirtschaftsblatt.at/archiv/208835/index.do

Forum Mobilkommunikation (2006) „FMK-Barmüller: Mobilfunk ist eine Siegergeschichte“, Wien, 29. 3. 2008 http://www.pressetext.at/pte.mc?pte=060517009

Fritsche Uwe, Jenseit Wolfgang, Hochfeld Christian (1999) „Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA)“ Arbeitspapier Nr 104 01 123, Darmstadt

Grazer Verkehrsbetriebe (2006) „Die Präsenz und die Zukunft der Grazer Verkehrsbetriebe (GVB)“, 24. 1. 2008 http://www.gvb.at/home/wir_ueber_uns/zahlen_und_daten.php

Haas Reinhard (2007) „Ausstattung österreichischer Haushalte mit Elektrogeräten“, TU-Wien

Handelszeitung (2007) „Heissgetränke – Cafe und Tee: Bald so teuer wie Rohöl?“, Österreichischer Wirtschaftsverlag GmbH, 7. 11. 2007, http://www.handelszeitung.at/ireds-71.html

Heberger Sandra (2007) persönliche Mitteilung vom 14. 12. 2007, gorenje, Wien

Herry Max, Sedlacek Norbert, Steinacher Irene (2007) „Verkehr in Zahlen – Österreich 2007“, Wien S 92 http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/downloads/viz07gesamt.pdf

Hofbauer Karl, Müllauer-Ohev Ami Sabine (2006) „Studie von PwC PricewaterhouseCoopers: Dieselautos europaweit auf Überholspur, Österreich gegen den Trend“, Presseaussendung

Hoffmann Cornelis (1995) „Kumulierter Energieaufwand und energieoptimierte Nutzungsdauer von Personenkraftwagen“, Dissertation an der TU München

Hörfunk Marketing (2005) „Energie verwenden statt verschwenden“, Wien

Ifeu (2006) „Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff“ Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg

IFPI (2007) „Österreichischer Musikmarkt 2006“ Verband der Österreichischen Musikwirtschaft, Wien

Kodnar Johann (2007) „Wechselkurse der Währungen zum Euro“ Geldschein.at, Wien, 15. 1. 2008, http://www.geldschein.at/euro_wechselkurse.html

Köppl Angela, Wüger Michael (2007) „Determinanten der Energienachfrage der privaten Haushalte unter Berücksichtigung von Lebensstilen“, WIFO, Wien

Koyuncu Turhan, Serdar Umit, Tosun Ilkay (2004) „Drying characteristics and energy requirement for dehydration of chestnuts (Castanea sativa Mill.)“, in Journal of Food Engineering, 62, S 165-168

Langbein Kurt, Mühlberger Manfred, Skalnik Christian (1995) „Kursbuch Lebensqualität – Entscheidungshilfen für den Alltag“ Kiepenheuer und Witsch, Wien S 133-141, 156, 161, 175

Lenzen Manfred (1998) „Primary energy and greenhouse gases embodied in Australien final consumption: an input-output analysis“ Energy Policy 26 (6) S 495-506

Leontief Wassily (1966) „Input-Output Economics“ University Press, New York

Linz AG Linien (2003) „Schnell sicher und bequem“ Linz, 10. 10. 2007 http://www.linzag.at/navigation/section,id,147,nodeid,147,_country,linien,_language,de.html

Mackert Hildegard, Kollmann Karl, Schuh Maria, Zimmermann Ulli (2003) „Vordenken – Nachdenken: Konsumenten lernen nachhaltiger konsumieren – Modul 4“ EU-Grundtvig-Projektes CEA

Massholder Frank (2008) "Lebensmittellexikon" foodlexicon.org, Oberursel, 10. 10. 2007 http://www.lebensmittellexikon.de/j0000090.php

Mauch Wolfgang (1993) „Kumulierter Energieaufwand für Güter und Dienstleistungen“ Dissertation, München

Möllmann Uwe (2007) persönliche Mitteilung vom 21. 12. 2007, Sharp, Hamburg

Mosdorf Siegmar (1998) „Schlußbericht der Enquete-Kommission Zukunft der Medien in Wirtschaft und Gesellschaft - Deutschlands Weg in die Informationsgesellschaft“ Deutscher Bundestag 13. Wahlperiode, Bonn

Networld.at (2008) „Billig-"Tschik" sind seit nun Geschichte: Mindestpreis von 3,25 Euro tritt in Kraft“ Wien 11. 2. 2008 http://www.networld.at/index.html?/articles/0619/30/144348_s2.shtml

NZZ Online (2004) „Komfort geht vor Ökologie – Trend zu starken und schweren Autos“, Neue Zürcher Zeitung, 13. 12. 2004 http://www.nzz.ch/2004/12/13/il/newzzE2OED7BG-12.html

O.Ö. Energiesparverband (2007) „Graue Energie im Alltag“ Linz, 12. 2. 2008 http://www.esv.or.at/esv/index.php?id=1

ÖAMTC (2007) „West-Österreicher sparen mit Diesel; Viele Dieselfahrer in westlichen Bundesländern“ 13. 9. 2007, http://www.oeamtc.at/netautor/pages/resshp/anwendg/1126111.html

Oestereichische Nationalbank (2005) „Geldpolitik & Wirtschaft - Quartalsheft zur Geld- und Wirtschaftspolitik“ Wien

Ortner Roman, Salchegger Stefan, Kurzweil Agnes, Lichtblau Günther (2004) „CO2-EMISSIONSWERTE NEUZUGELASSENER PKW IN ÖSTERREICH 2003“, Wien 2004

Österreichische Energieagentur (2005) „Energieflussbild Österreich 2005“, Wien

Österreichische Suchtvorbeugung (2006) „Tabak – Der Tabakgebrauch in Vergangenheit und Gegenwart“ Österreichische Arbeitsgemeinschaft Suchtvorbeugung, 12. 11. 2007 http://www.praevention.at/upload/products/Tabak.pdf?PHPSESSID=e72573cd642305559b0cd42e26eb582f

Pilz Harald, Kletzer Evelin, Neubacher Franz (2003) „Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs – Teilprojekt 4 im Gesamtprojekt: Ausrichtung der Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten – 2. Teil“ Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Umweltmanagement-Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH, Wien

Pricerunner (2005) „Schnäppchenmarkt Deutschland? pricerunner.com deckt große Preisunterschiede im europäischen Vergleich auf“ München, 10. 10. 2007 http://openpr.de/news/64051/Schnaeppchenmarkt-Deutschland-pricerunner-com-deckt-grosse-Preisunterschiede-im-europaeischen-Vergleich-auf.html

Quack Dietlinde, Rüdenauer Ina (2004) „Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen - Energie- und Stoffströme der privaten Haushalte in Deutschland im Jahr 2001“, Freiburg 2004, S 22

Rauh Wolfgang (2006) „Radfahren - Potenziale und Trends“ VCÖ, 3. Ausgabe, Wien, S 9

Riemer Thomas (2007) „Flat-TVs boomen wie nie“ HB Austria Holding GmbH, Wien, 22. 8. 2007 http://www.hbaustria.at/News/News.php?ID=22.08.2007-19563

Kok Rixt, Benders René, Moll Henri(2006) „Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input-output energy analysis: A comparison of methods and a discussion of results“ Energy Policy 34: S 2744–2761

Rüdenauer Ina, Eberle Ulrike, Grießhammer Reinhard (2006) „Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung Wäschewaschen“, Öko-Institut, Freiburg

Rüdenauer Ina, Gensch Carl-Otto (2007) „Environmental and economic evaluation of the accelerated replacement of domestic appliances - Case study refrigerators and freezers - Final report - Revised Version 2007“ Öko-Institut, Freiburg, S 30

Schlesinger Michael (2007) „Energieszenarien für den Energiegipfel 2007“ Prognos AG, Basel

Schoer Karl, Buyny Sarka, Flachmann Christine, Mayer Helmut (2007) „Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte - Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 bis 2004“ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden

Scholz Werner (2007) „EOR-Forum 2007 - Energieeffizienz bei Hausgeräten“, Fachverband Elektro-Hausgeräte im ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Socolof Maria Leet, Overly Jonathan G., Kincaid Lori E., Geibig Jack R. (2001) „Desktop Computer Displays: A Life-Cycle Assessment“ University of Tennessee, Knoxville Tennessee

Spektrum der Wissenschaft, Ausgabe März 2007, S 47

Spreng Daniel (1995) „Graue Energie“ vdf Hochschulverlag AG, Zürich

Statistik Austria (2004) „Statistische Nachrichten 3“, Verlag Österreich GmbH, Wien

Statistik Austria (2006a) „Statistische Nachrichten 2006 - Februar“, Verlag Österreich GmbH, Wien

Statistik Austria (2006b) „Verbrauchsausgaben Hauptergebnisse der Konsumerhebung“, Verlag Österreich GmbH, Wien

Statistik Austria (2006c) „Außenhandelsstatistik“, Wien

Statistik Austria (2006d) „Die Energiesituation Österreichs im Jahr 2005 mit statistischen Übersichten und Kennzahlen“, Wien

Statistik Austria (2006e) „KONJUNKTURSTATISTIK im Produzierenden Bereich Band 2 – Produktionsergebnisse nach ÖCPA 2002 und ÖPRODCOM“, Wien

Statistik Austria (2007) „Österreichische Verkehrsstatistik 2005“, Verlag Österreich GmbH, Wien, S 45

Steiner Roland, Faist Emmenegger Mireille, Frischknecht Rolf (2005) „Ökobilanz Kombi-Kühlschrank Electrolux ERB3105“ Schweizerische Agentur für Energieeffizienz, Bundesamt für Energie (BFE), Uster

Teufel Dieter, Bauer Petra, Lippold Rainer, Braunfeld Sabine, Schmitt Kurt (1999) „Öko-Bilanzen von Fahrzeugen“ Umwelt- und Prognose- Institut e.V., D-69121 Heidelberg

Umweltbundesamt (2003) „Anwendung und Kommunikation des Kumulierten Energieverbrauchs (KEV) als praktikabler umweltbezogener Bewertungs- und Entscheidungsindikator für energieintensive Produkte und Dienstleistungen“, München, 3. 1. 2008 http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2779.pdf

Umweltbundesamt (2007)„UMWELTDATEN DEUTSCHLAND Nachhaltig wirtschaften – Natürliche Ressourcen und Umwelt schonen“ Ausgabe 2007, Dessau

Umwelttechnologieforum (1994) „Ökobilanzen“ 10. Seminar, 21. Und 22. Februar 1994, Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz, Berlin

Van Engelenburg B C W, Van Rossum T F M, Blok K, Vringer K (1994) „Calculating the energy requirements of household purchases: a practical step-by-step method“ Energy Policy 21 (8) S 648-656

VCÖ (2006b) „Fokus Flugverkehr. Folgen des Wachstums“, Wien, S 10

VDI (1995) „Kumulierter Energieaufwand“ VDI-Berichte 1218, VDI-Verlag, Düsseldorf

Vetro-Recycling AG (2007) „Emissionen und Energie“ Bülach, 12. 2. 2008 http://www.vetrorecycling.ch/subdom_vr/htm/zahlen_1.htm?PHPSESSID=52bd3adc8d082121a2d0eebc2c381442

Vringer Kees, Blok Kornelis (1995) „The direct and indirect energy requirements of households in the Netherlands“ in Energy Policy Vol. 23, No. I0. pp. 893-910

Vringer Kees, Blok Kornelis (2000) “Long-term trends in direct and indirect household energy intensities: a factor of dematerialisation?” Energy policy 28: S 713-727.

Wiegmann Kirsten (2002) „Anbau und Verarbeitung von Baumwolle – Dokumentation der GEMIS-Daten“ Öko-Institut, Freiburg

Wiegmann Kirsten, Eberle Ulrike, Fritsche Uwe, Hünecke Katja (2005) „Umweltauswirkung von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien“ Öko-Institut e. V., Darmstadt/Hamburg

Wikipedia (2004) „Wiener Linien“, 24. 1. 2008 http://xover.mud.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Wiener_Linien#Weblinks

Wikipedia (2008a) „Flugzeug“ 20. 2. 2008 http://de.wikipedia.org/wiki/Flugzeug#Lebensdauer

Wikipedia (2008b) „Inflation“ 12. 2. 2008 http://de.wikipedia.org/wiki/Inflation#Quellen

Williams Eric (2004) „Energy Intensity of Computer Manufacturing: Hybrid Assessment Combining Process and Economic Input-Output Methods“ in Environ. Sci. Technol. 2004, 38, 6166-6174

ZMP (2004) „Einkaufsverhalten bei Gemüse-Verarbeitungsprodukten“ Zentrale Markt- und Preisberichtstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, Bonn