

Technische Universität München



**Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen  
in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen – unter  
besonderer Berücksichtigung der Ernährung**

Bachelor-Arbeit

Peter Rose

September 2007

Referent: Dr. oec. troph. Karl von Koerber

Koreferent: Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber

## **Persönliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Peter Rose, dass ich die vorliegende Bachelor-Arbeit „Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen – unter besonderer Berücksichtigung der Ernährung“ selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln erarbeitet habe.

Freising, den 15. September 2007

---

Peter Rose

## **Danksagung**

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Karl von Koerber, der mir die Bearbeitung eines Themas im Bereich Ernährungsökologie ermöglicht hat. Ich danke ihm für die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit.

Ebenso danke ich Prof. Dr. Dr. h.c. Alois Heißenhuber für die Übernahme des Koreferates.

Mein weiterer Dank geht an Jürgen Kretschmer, der maßgeblich an der Ideenfindung mitgewirkt und Informationsmaterial zur Verfügung gestellt hat.

## Kurzfassung

Gegenstand der hier vorgestellten Arbeit ist die Darstellung des Primärenergieverbrauches und der Treibhausgas-Emissionen in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen. Besondere Berücksichtigung findet dabei der Bereich Ernährung, dessen Teilbereiche gesondert untersucht werden. Es werden verschiedene Studien hinsichtlich des Anteils des Ernährungsbereichs am gesamten Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen untersucht.

Die Analyse zeigt, dass der Anteil der Ernährung am Primärenergieverbrauch in Deutschland etwa 10% beträgt. Werden die Systemgrenzen ausgedehnt und der Bereich Ernährung um sämtliche auf die Ernährung bezogenen Aktivitäten (einschließlich diverser Staatsverbräuche) erweitert, so erhöht sich dieser Anteil auf 20%.

Mit Blick auf die Treibhausgas-Emissionen ergibt sich ein ähnliches Bild. Werden auch hier all diejenigen ernährungsbezogenen Aktivitäten, die in einigen Studien unberücksichtigt bleiben, einbezogen, so trägt der Bereich Ernährung mit einem Anteil von rund 20% (je nach Studie 16,3% - 21,8%) zum Gesamtausstoß von Treibhausgasen bei.

Die detaillierte Untersuchung der Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung zeigt, dass die Landwirtschaft den Hauptanteil der Primärenergie im Ernährungssystem verbraucht. Es folgt die Haushaltsphase mit den Verbräuchen der Haushaltsgeräte und des Lebensmitteleinkaufs. Der Transport, die Verpackung sowie die industrielle Verarbeitung von Lebensmitteln tragen in verhältnismäßig geringem Umfang zum gesamten Primärenergieverbrauch bei.

Ein ähnliches Bild ergibt sich hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen. Auch hier wird für die Landwirtschaft der weitaus höchste Beitrag an den Gesamtemissionen in der Wertschöpfungskette Ernährung ausgewiesen. Die Verbraucheraktivitäten (einschließlich der Haushaltsphase) folgen an zweiter Stelle. Der Handel (einschließlich Transport und Verpackung) sowie die industrielle Verarbeitung sind in relativ geringem Maße an den gesamten treibhauswirksamen Emissionen beteiligt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>IV</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung und Fragestellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Der Klimawandel .....</b>	<b>3</b>
2.1 Aktuelle Auswirkungen des globalen Klimawandels .....	3
2.2 Zukünftige Auswirkungen des globalen Klimawandels .....	4
2.3 Strategien zur Minderung des Klimawandels.....	5
<b>3 Grundlagen.....</b>	<b>7</b>
3.1 Bewertung des Energieverbrauchs .....	7
3.2 Bewertung der Treibhausgas-Emissionen .....	8
3.3 Analyseinstrumente zur Beurteilung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen .....	9
3.3.1 Ökobilanz .....	9
3.3.2 Stoffstromanalyse .....	10
3.3.3 Input-Output-(Energie-)Analyse .....	10
3.3.4 Prozesskettenanalyse .....	11
3.3.5 Hybrid-Analyse.....	11
<b>4 Struktur und Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland.....</b>	<b>13</b>
4.1 Struktur und Entwicklung des Primärenergieverbrauchs nach Wirtschaftssektoren .....	13
4.2 Struktur und Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen nach Quellkategorien .....	14
<b>5 Betrachtung verschiedener gesellschaftlicher Bereiche hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen .....</b>	<b>16</b>
5.1 Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen durch Konsum .....	16
5.2 Darstellung der Studien – nationale Studien.....	18

5.2.1	Studie: Zukunftsfähiges Deutschland – Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung (Loske et al. (1997), Wuppertal-Institut).....	18
5.2.2	Studie: Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien (Wiegmann et al. (2005), Öko-Institut) .....	20
5.2.3	Studie: Veränderungstendenzen im Ernährungssystem und ihre klimatische Relevanz (Kramer et al. (1994), Enquete-Kommission) .....	21
5.2.4	Studie: Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand ausgewählter Indikatoren (Taylor (2000), Universität Gießen).....	21
5.2.5	Studie: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen (Quack & Rüdener (2004), Öko-Institut) .....	22
5.3	Internationale Betrachtung des Primärenergieverbrauchs im Bereich Ernährung.....	24
5.4	Überblick über die Ergebnisse.....	26
<b>6</b>	<b>Anteile der Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung am Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen .....</b>	<b>27</b>
6.1	Darstellung der Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung ...	27
6.2	Anteile der Teilbereiche des Ernährungssystems am Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen.....	30
6.2.1	Studie: Veränderungstendenzen im Ernährungssystem und ihre klimatische Relevanz (Kramer et al. (1994), Enquete-Kommission) .....	30
6.2.2	Studie: Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand ausgewählter Indikatoren (Taylor (2000), Universität Gießen).....	32
6.2.3	Studie: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen (Quack & Rüdener (2004), Öko-Institut) .....	36
<b>7</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>49</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Anteile der Quellkategorien an den Treibhausgas-Emissionen 2005 in Deutschland .....	15
<b>Abb. 2:</b> Struktur des Umweltverbrauchs .....	17
<b>Abb. 3:</b> Lebensweg eines Nahrungsmittels am Beispiel Nudeln.....	28

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b> Treibhausgase als Ursache des anthropogenen Treibhauseffekts.....	8
<b>Tab. 2:</b> Struktur des Primär- und Endenergieverbrauchs in Deutschland von 1990 bis 2005 in %.....	14
<b>Tab. 3:</b> Anteil der gesellschaftlichen Bereiche am Primärenergieverbrauch....	19
<b>Tab. 4:</b> Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen einzelner Produktfelder .....	23
<b>Tab. 5:</b> Anteil der Ernährung am Primärenergieverbrauch und den Treibhausgas-Emissionen in Deutschland .....	26
<b>Tab. 6:</b> Anteil der Lebensmittel am gesamten Primärenergieverbrauch der Haushalte .....	26
<b>Tab. 7:</b> Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung nach Kramer et al.....	31
<b>Tab. 8:</b> Primärenergieverbrauch der Wertschöpfungskette Ernährung nach Taylor .....	34
<b>Tab. 9:</b> Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung nach Taylor .....	35
<b>Tab.: 10:</b> Primärenergieverbrauch der Wertschöpfungskette Ernährung nach Quack und Rüdener .....	37
<b>Tab.: 11:</b> Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung nach Quack und Rüdener .....	38



## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Ernährung
CO <sub>2</sub> -Äq	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EAP	Energie-Analyse-Programm
et al.	et alii – und andere Autoren
EU	Europäische Union
EVS	Einkommens- und Verbrauchsstichprobe
GWP	Global Warming Potential (Treibhausgas-Emissionen)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)
k.A.	keine Angabe
Kap.	Kapitel
KEA	Kumulierter Energieaufwand
LCA	Life Cycle Assessment
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
NVS	Nationale Verzehrsstudie
PF	Produktfelder
Tab.	Tabelle
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VWS	Gießener Vollwert-Ernährungs-Studie

## Einheiten und Maße

°C	Grad Celsius	MJ	Mega Joule
cm	Zentimeter	Mrd.	Milliarden
GJ	Giga Joule	PJ	Peta Joule
kg	Kilogramm	t	Tonnen
Mio.	Millionen		

## 1 Einleitung und Fragestellung

Seit jeher benötigt der Mensch Energie, um seine Grundbedürfnisse zu befriedigen und sein Überleben zu sichern. So benötigt er sie zur Beschaffung von Nahrung und Wasser, zum Bau einer Unterkunft und zum Schutz vor Parasiten und Raubtieren. Über die Jahrhunderte bezog er seine Energie aus verschiedenen Quellen. Während er anfangs abhängig von seiner Körperenergie und der Energie der Sonne war, bezog er sie später von Nutztieren, vom Feuer, vom Wasser und vom Wind. Gegenwärtig deckt der Mensch den Großteil seines Energiebedarfs durch fossile Energieträger wie Erdöl, Erdgas und Kohle und durch die Kernenergie. Das Auffinden, die Kontrolle und die Nutzung der Energie ermöglichten dem Menschen die Entwicklung von einem primitiven zu einem (nach allgemeinem Verständnis) fortgeschrittenen Lebensstil (Pimentel und Pimentel, 1996).

Heute gibt die exzessive Nutzung fossiler Energiequellen dem Menschen die Möglichkeit zur Kontrolle von Natur und Umwelt. Die Weltbevölkerung wächst kontinuierlich und mit ihr der Konsum an Nahrung und Gütern. Dies hat fortschreitende Eingriffe und Beeinträchtigungen in der Umwelt zur Folge. So sind die schwerwiegendsten Umweltschädigungen die globale Erwärmung, die Zerstörung der Ozonschicht, eine starke Bodenerosion, die Abholzung der Wälder, ein Schwund der Artenvielfalt und eine Schadstoffbelastung durch chemische und radioaktive Substanzen. Diese Umweltfolgen stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit einem massiven Verbrauch fossiler Brennstoffe (Pimentel und Pimentel, 1996).

Eines der dringendsten und derzeit am häufigsten diskutierten Umweltprobleme ist der Klimawandel. Diese Arbeit stellt einen aktuellen Bezug zu diesem Thema her, indem sie sowohl den Primärenergieverbrauch als auch die daran unmittelbar gekoppelten Treibhausgas-Emissionen betrachtet.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, diese Betrachtung nach gesellschaftlichen Bereichen<sup>1</sup> vorzunehmen. Dem Bereich Ernährung wird dabei ein besonderes Augenmerk geschenkt.

---

<sup>1</sup> Einteilung nach Wuppertal-Institut in folgende Bereiche: Wohnen, Ernährung, Bekleidung, Gesundheit, Bildung, Freizeit, gesellschaftliches Zusammenleben und Sonstiges.

Ein weiteres Ziel ist eine eingehende Untersuchung des Ernährungsbereichs. Hier soll herausgestellt werden, wie groß die Anteile der einzelnen Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung am Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen sind. Die Untersuchung soll dabei die Teilbereiche Landwirtschaft, Verarbeitung, Vermarktung, Zubereitung, Konsum sowie die Abfallentsorgung umfassen.

Für eine Auswertung werden die Ergebnisse verschiedener Studien zusammenfassend dargestellt.

Um ein generelles Verständnis zu erhalten, welche Auswirkungen ein exzessiver Verbrauch an Primärenergie und ein daraus resultierender Ausstoß an Treibhausgasen auf die Umwelt haben, wird einleitend eine Darstellung des Klimawandels gegeben (Kap. 2).

Im weiteren Verlauf werden die für die Analyse wichtigen theoretischen Grundlagen gelegt. Zu diesen zählen zum einen das Verständnis der untersuchten Größen „Primärenergieverbrauch“ und „Treibhausgas-Emissionen“ und zum anderen die Kenntnis der in den Studien angewandten Analysemethoden. Daher werden diese Größen im Kapitel „Grundlagen“ definiert und anschließend die Analyseinstrumente, die in den betrachteten Studien Verwendung finden, vorgestellt (Kap. 3).

Nach Erarbeitung der Grundlagen folgt ein kurzer Gesamtüberblick über die Struktur und die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland (Kap. 4).

Schließlich werden die in den Studien betrachteten gesellschaftlichen Bereiche auf ihren Primärenergieverbrauch und ihre Treibhausgas-Emissionen untersucht (Kap. 5), um anschließend dieselbe Untersuchung für die einzelnen Teilbereiche der Ernährung vorzunehmen (Kap. 6). Abschließend werden die Ergebnisse im Hinblick auf Optimierungsmöglichkeiten diskutiert, zusammengefasst und eine Handlungsempfehlung für die Zukunft gegeben (Kap.7).

## 2 Der Klimawandel

### 2.1 Aktuelle Auswirkungen des globalen Klimawandels

Ein Anstieg der mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen, das ausgedehnte Abschmelzen von Schnee und Eis und ein Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels lassen keinen Zweifel, dass sich das Klima ändert. Die mittlere globale Erdoberflächentemperatur<sup>2</sup> ist in den vergangenen 100 Jahren (1906 - 2005) um 0,74 [0,56 - 0,92]<sup>3</sup>°C angestiegen, wobei elf der letzten zwölf Jahre (1995 - 2006) zu den wärmsten Jahren seit Beginn der weltweiten Temperaturaufzeichnungen (seit 1850) zählen (IPCC, 2007a).

Seit dem vierten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gilt es als sehr wahrscheinlich<sup>4</sup>, dass der größte Teil des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts auf den durch den Menschen verursachten Anstieg der Treibhausgas-Emissionen zurückzuführen ist.

Diese Treibhausgas-Emissionen sind für den anthropogenen Treibhauseffekt und damit für die zusätzliche globale Erwärmung verantwortlich (IPCC, 2007a). Bereits heute sind die beobachteten Klimaänderungen vielfältig. Neben den eingangs erwähnten Temperaturerhöhungen von knapp 0,8°C seit Beginn des 20. Jahrhunderts stieg in den vergangenen 100 Jahren der Meeresspiegel beschleunigt um 15 - 20 cm an (Rahmstorf, 2006). Zudem ließen sich im späten 20. Jahrhundert verschiedene Trends beobachten. Zu diesen zählen eine Zunahme der Anzahl heißer Tage und Nächte, ein vermehrtes Auftreten von Hitzewellen und Wärmeperioden, eine Häufung von Starkniederschlagsereignissen, ein Zuwachs von Flächen, die von Dürren betroffen sind, und das verstärkte Auftreten tropischer Wirbelstürme (IPCC, 2007a).

Auch natürliche Systeme haben auf regionale Klimaänderungen reagiert. Im Falle der physikalischen Systeme steigt beispielsweise als Folge der weltweiten

---

<sup>2</sup> Die Durchschnittstemperatur der bodennahen Luft über dem Land und der Meeresoberfläche.

<sup>3</sup> Die Unsicherheitsbereiche von Ergebnissen werden als 90%-Unsicherheits-Intervalle angegeben. Das heißt, es gibt eine 5-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass der Wert oberhalb des in eckigen Klammern genannten Bereichs liegen könnte und eine 5-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass der Wert unterhalb dieses Bereichs liegen könnte. Ein bester Schätzwert ist aufgeführt (hier: 0,74°C).

<sup>4</sup> Der Ausdruck *sehr wahrscheinlich* wird auf der Basis von Expertenbeurteilungen verwendet und gibt die Wahrscheinlichkeit von Ergebnissen bzw. Resultaten wieder. *Sehr wahrscheinlich* bedeutet, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit bei mehr als 90% liegt.

Eisschmelze und des Auftauens von Permafrostböden das Risiko von Gletscherwasserausbrüchen bzw. Felsstürzen im Gebirge.

Als biologische Auswirkung ist unter anderem das verfrühte Einsetzen des Frühlings zu nennen; damit verbundene Ereignisse sind die vorzeitige Blattentfaltung und Eiablage sowie eine Verschiebung der Verbreitungsgebiete von Flora und Fauna in Richtung der Pole.

Darüber hinaus sind bewirtschaftete Systeme wie Land- und Forstwirtschaft betroffen. Wälder werden aufgrund ausgedehnter Dürreperioden anfälliger gegenüber Schädlingen und Feuer; veränderte Bewirtschaftungsmaßnahmen wie eine frühere Frühjahrssaat in hohen Breiten der Nordhemisphäre werden erforderlich sein.

Zunehmend wird auch die menschliche Gesundheit in Mitleidenschaft gezogen. Lang andauernde Hitzewellen fordern vermehrt Todesopfer in Europa und Asien. Das Vorkommen und das Infektionspotential von Krankheitserregern wie Stechmücken und Zecken ändern sich, und die allergene Pollenbelastung in hohen Breiten der nördlichen Hemisphäre nimmt zu (IPCC, 2007b).

## **2.2 Zukünftige Auswirkungen des globalen Klimawandels**

Für das 21. Jahrhundert erwarten Klimaforscher weitreichende Folgen für Mensch und Umwelt. Wie stark diese Folgen ausfallen werden, hängt direkt von der zukünftigen Temperaturerhöhung und damit indirekt von den Bemühungen ab, die unternommen werden, um diesen Anstieg zu verhindern. Durch Klimamodelle lassen sich je nach Energienutzung Szenarien erstellen, die eine weitere Temperaturerhöhung und einen Meeresspiegelanstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts voraussagen. Für die letzte Dekade des 21. Jahrhunderts ist verglichen mit dem Zeitraum 1980 - 1999 der wahrscheinlichste Wert der globalen Erwärmung für das niedrigste Szenario 1,8°C [1,1 - 2,9°C] und für das höchste Szenario 4,0°C [2,4 - 6,4°C]. Für den Meeresspiegel wird für 2090 - 2100 ein Anstieg von 18 - 38 cm für das niedrigste und 26 - 59 cm für das höchste Szenario prognostiziert (IPCC, 2007a).

Die Auswirkungen werden je nach Temperaturerhöhung unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Vor allem in Regionen mit geringer Anpassungsfähigkeit werden gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitzestress, Unterernährung,

Durchfall- und Infektionserkrankungen auftreten. Millionen von Menschen werden durch Überflutungen gefährdet sein. Die Wasserknappheit in Trockengebieten wird zunehmen. Mehr als eine Milliarde Menschen werden durch schwindende gespeicherte Wassermengen in Gletschern und Schneedecken und durch abnehmende Wasserverfügbarkeit betroffen sein.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit<sup>5</sup> wird die Widerstandsfähigkeit vieler Ökosysteme stark überschritten werden. Negative Konsequenzen für von Ökosystemen gelieferte Produkte wie Wasser und Nahrungsmittel sind die Folge. Zahlreiche Tier- und Pflanzenarten werden vom Aussterben bedroht sein. Korallen werden weiträumig absterben (IPCC, 2007b).

### 2.3 Strategien zur Minderung des Klimawandels

Diese beschriebenen negativen Auswirkungen können durch eine Minderung freigesetzter Treibhausgase hinausgezögert oder verringert werden (IPCC, 2007b).

So hat sich die Europäische Union zum Ziel gesetzt, die globale Erwärmung auf weniger als 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Möglich wird dies durch eine Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf einem Niveau unter 450 ppm (Rahmstorf, 2006).

Dazu müssten die weltweiten Treibhausgas-Emissionen bis 2050 in etwa halbiert werden (Rahmstorf, 2006). Die Europäische Union<sup>6</sup> reduzierte zwischen den Jahren 1990 und 2004 ihre Treibhausgas-Emissionen um lediglich 0,6%, Deutschland um 17,2% (UNFCCC, 2006).

Um die angestrebte weltweite Reduktion umzusetzen, müsste sich ein Wandel in der Energiegewinnung vollziehen. Diese geschieht gegenwärtig zu ungefähr 85% durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe, dem Hauptverursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen (Biesiot und Noorman, 1999). Vor allem die Entwicklungsländer lehnen es ab, Vereinbarungen zur Emissionsminderung umzusetzen, da ihnen Wirtschaftswachstum ohne gesteigerten Energieverbrauch nicht möglich erscheint (Mwandosya, 2000). Eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, verbunden

---

<sup>5</sup> Definition *hohe Wahrscheinlichkeit*: Die Aussage ist in etwa in acht von zehn Fällen richtig

<sup>6</sup> Berücksichtigt werden hier die seinerzeit 15 EU Mitgliedsstaaten. Daten der 10 neueren Mitgliedsstaaten fließen nicht in die Berechnung mit ein (UNFCCC, 2006).

mit gleichzeitigem Wirtschaftswachstum, ist daher eine der größten Herausforderungen der Umweltpolitik und -forschung (Biesiot und Noorman, 1999).

Möglichkeiten zur Einsparung der Emission von Treibhausgasen zeigen sich innerhalb aller Wirtschaftssektoren. Hier sind vor allem Energieeffizienzsteigerungen, der Wechsel zu erneuerbaren Energien und eine Verbesserung der Gebäudedämmung zu nennen (IPCC, 2007c).

Neben diesen Veränderungen, die durch eine aktive Klimaschutzpolitik erreicht werden können, kann der Verbraucher selbst Einfluss auf den Klimawandel nehmen. So kann jeder Einzelne durch die Veränderung seines Konsumverhaltens einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

### 3 Grundlagen

#### 3.1 Bewertung des Energieverbrauchs

Um ein Verständnis für den Begriff Primärenergie zu erhalten, ist zuvor eine Definition der verschiedenen Energieformen notwendig.

Nach Patyk und Reinhardt (1997) wird eine Unterteilung wie folgt vorgenommen:

- **Naturenergie:** Diese beschreibt den Energiegehalt in der Natur, d.h. der in Lagerstätten vorliegenden Energieträger. Zur Überführung in Primärenergie müssen diese gefördert bzw. abgebaut werden.
- **Primärenergie:** Das ist der Energiegehalt von Energieträgern, die noch keiner energetischen Umwandlung unterworfen, eventuell aber aufbereitet wurden. Hierzu zählt beispielsweise aufbereitetes Rohöl.
- **Sekundärenergie:** Diese steht für den Energiegehalt von Energieträgern, die aus Umwandlung von Primärenergieträgern (z.B. Ottokraftstoff oder Heizöl aus Rohöl, Uran aus Uranerz) oder aus anderen Sekundärenergieträgern (z.B. Strom aus Uran oder Heizöl) gewonnen werden.
- **Bezugsenergie:** Diese beschreibt den Energiegehalt aller Energieträger, die die Verbraucher beziehen; dabei handelt es sich im Wesentlichen um Sekundärenergie, vermindert um Transportverluste (Netzverluste bei Stromtransport, Energieeinsatz zum Transport von Kraftstoffen von der Raffinerie zur Tankstelle usw.).
- **Endenergie:** Diese beinhaltet den Energiegehalt der von den Verbrauchenden verwendeten Energieträger; im Wesentlichen die Bezugsenergie abzüglich des nicht energetischen Verbrauchs (z.B. Umfüllverluste bei Kraftstoffen).
- **Nutzenergie:** Diese umfasst die Energie, die nach der letzten energetischen Umwandlung den Verbrauchern zur Verfügung steht (z.B. Licht, Wärme, Fortbewegung).

In der nachfolgend analysierten Literatur wird der Energieeinsatz als Primärenergieeinsatz untersucht. Bilanziert werden die Primärenergieträger über den ermittelten Endenergieeinsatz. Hierzu wird die Endenergie durch den Nut-



zungsgrad<sup>7</sup> dividiert. Die Summe der primärenergetisch bewerteten Endenergieeinsätze entspricht dem kumulierten Energieaufwand (KEA) (Taylor, 2000).

### 3.2 Bewertung der Treibhausgas-Emissionen

Um das Treibhauspotential klimaaktiver Gase zu quantifizieren, werden ihnen Äquivalenzfaktoren zugeordnet. Neben dem Kohlendioxid sind weitere klimawirksame Spurengase Methan (CH<sub>4</sub>), fluorierte Verbindungen (darunter Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW)), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Ozon (O<sub>3</sub>) mit weiteren Gasen. Bei der Berechnung der Äquivalenzfaktoren werden hauptsächlich die Absorption von Wärmestrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und die Verweilzeit des jeweiligen Gases in der Atmosphäre berücksichtigt. CO<sub>2</sub> stellt die Referenzsubstanz dar und wird gleich 1 gesetzt.

Diese so ermittelten CO<sub>2</sub>-Äquivalente gelten als einfacher Indikator, um den menschlichen Einfluss auf den Treibhauseffekt darzustellen. Eine Übersicht der Äquivalenzfaktoren, der Atmosphärenverweildauer sowie eine Abschätzung der Beiträge zum anthropogenen Treibhauseffekt erfolgt in Tab. 1 (IPCC, 2007a; Münchener Rück, 2005; Taylor, 2000)

Treibhausgase	Äquivalenzfaktor <sup>a</sup>	Verweildauer in der Atmosphäre [Jahre] <sup>a</sup>	Beitrag des anthropogenen Treibhauseffektes [%] <sup>b</sup>
Kohlendioxid	1	50 - 200	61
Methan	21	12	15
Lachgas	310	114	4
Fluorierte Verbindungen	90 - 23.900	0,7 - 50.000	11 <sup>8</sup>

**Tab. 1: Treibhausgase als Ursache des anthropogenen Treibhauseffekts (<sup>a</sup>IPCC, 2007d; <sup>b</sup>Münchener Rück, 2005)**

<sup>7</sup> Definition Nutzungsgrad: Der nutzbare Energie-Output geteilt durch den Energie-Input (Energy.eu, 2007).

<sup>8</sup> Dieser Wert bezieht sich auf FCKW, die übrigen 9% verteilen sich auf Ozon und weitere Gase.

### **3.3 Analyseinstrumente zur Beurteilung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen**

#### **3.3.1 Ökobilanz**

In einer Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) werden die Umweltwirkungen eines Produktes von der Rohstoffgewinnung bis zur endgültigen Entsorgung betrachtet („von der Wiege bis zur Bahre“). Die Ökobilanz wurde im wissenschaftlichen Rahmen international entwickelt und ist national und international genormt (DIN EN ISO 14040 ff). Sie besteht aus folgenden vier Schritten:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens: Das Ziel einer Ökobilanz muss die beabsichtigte Anwendung festlegen, die Gründe für die Durchführung der Studie nennen und die angesprochenen Zielgruppen auführen. Außerdem muss eine funktionale Einheit festgelegt werden. Sie schafft einen Bezug auf die Input- und Outputflüsse und dient damit als Maß für den Nutzen des Produktionssystems.
2. Sachbilanz: Sie umfasst die Datensammlung und die Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Input-Output-Flüsse entlang des Lebensweges der betrachteten Produkte bzw. Dienstleistungen.
3. Wirkungsabschätzung: Sie beurteilt auf Grundlage der Sachbilanzen mögliche Umweltwirkungen in verschiedenen Schadenskategorien. Welche Methoden angewendet und welche Wirkungen bewertet werden, hängt vom Ziel und Untersuchungsrahmen der jeweiligen Studie ab.
4. Auswertung: Sie dient der Zusammenfassung der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung unter Berücksichtigung der Zieldefinition (Jungbluth, 2000; Taylor, 2000).

Die Ökobilanz ist das Standardinstrument zur ökologischen Beurteilung eines Produktes. Sie kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn einzelne Produkte bilanziert werden sollen (Jungbluth, 2000).

### 3.3.2 Stoffstromanalyse

Stoffstromanalysen wurden parallel zur Ökobilanz entwickelt.

Ziel der Stoffstromanalyse ist es, den Austausch von Gütern und Dienstleistungen der einzelnen Länder untereinander und innerhalb der Länder sowie die damit verbundenen Umweltwirkungen zu erfassen. Aufgrund der Tatsache, dass in nationalen Marktwirtschaften die Nachfrage nach Gütern das Angebot bestimmt, wird die Annahme getroffen, dass die Ursache globaler Stoffströme hauptsächlich auf den privaten Konsum zurückzuführen ist. Damit beeinflusst das individuelle Verbraucherverhalten die globalen Stoffströme und damit die Umweltauswirkungen (Taylor, 2000).<sup>9</sup>

Stoffstromanalysen umfassen analog zur Ökobilanz die Schritte Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsbilanz und Auswertung. Es existiert jedoch keine Norm, die das Vorgehen einer Stoffstromanalyse vorschreibt. Der maßgebliche Unterschied zu einer Ökobilanz besteht darin, dass keine einzelnen Produkte, sondern ganze Produkt- und Materialgruppen bilanziert werden. Dadurch können gesellschaftliche Bereiche, wie beispielsweise Wohnen, Mobilität und Information analysiert werden (Taylor, 2000; Wiegmann et al., 2005).

### 3.3.3 Input-Output-(Energie-)Analyse

Die Input-Output-Energie-Analyse (oder energetische Input-Output-Analyse) hat ihren Ursprung in der volkswirtschaftlichen Input-Output-Analyse. Die Input-Output-Analyse beschreibt die Verflechtung von Sektoren der Volkswirtschaft untereinander im Verhältnis zum Endkonsum und im Verhältnis zur ausländischen Wirtschaft. In den Input-Output-Tabellen wird der Bezug von Waren und Dienstleistungen aller Sektoren untereinander in Geldeinheiten erhoben.

Diese Tabellen werden heute zur Bestimmung des durchschnittlich kumulierten Energieaufwandes in den Wirtschaftssektoren genutzt. Der Kauf von Energie wird in eine physikalische Einheit umgerechnet. Diese wird zur Berechnung der Energieintensität herangezogen, welche den durchschnittlichen kumulierten Energieaufwand im Verhältnis zur Wertschöpfung wiedergibt. Die kumulierten Endenergien verschiedener Primärenergieträger werden zusammengefasst.

---

<sup>9</sup> Vergleiche dazu Punkt 5.4.

Ermittelt wird die kumulierte Endenergie über Umrechnungsfaktoren, die vom Nutzungsgrad des Endenergieträgers abhängig sind (Jungbluth, 2000).

Die Bestimmung der Treibhausgas-Emissionen erfolgt nach selbigem Prinzip (Kramer et al., 1998).

### **3.3.4 Prozesskettenanalyse**

Der kumulierte Energieaufwand in der Prozesskettenanalyse wird ähnlich dem Vorgehen in der Ökobilanz bestimmt. Verschiedene Abschnitte des Lebenszyklus werden analysiert und der jeweilige Energieaufwand wird bestimmt. Abschließend folgen die Addition der Energieflüsse über den Lebensweg sowie der Bezug auf ein Produkt oder eine Dienstleistung (Jungbluth, 2000). Die Prozesskettenanalyse ist gegenüber der Input-Output-Energie-Analyse zwar detaillierter, jedoch mit einem größeren Arbeitsaufwand verbunden (Kramer et al., 1998).

Auch die Prozesskettenanalyse kann analog für Treibhausgas-Emissionen durchgeführt werden (Kramer et al., 1998).

### **3.3.5 Hybrid-Analyse**

Die Hybrid-Analyse ist eine niederländische Methode zur Bestimmung des kumulierten Energieaufwandes und der damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen<sup>10</sup> bezogen auf ein Produkt bzw. auf dessen Geldwert. Mittels eines speziell für diesen Zweck entwickelten Programms, dem Energie-Analyse-Programm (EAP), werden Informationen der Prozesskettenanalyse und der Input-Output-Energie-Analyse miteinander verknüpft. Informationen, die in einer der beiden Bilanzen fehlen, werden aus der jeweils anderen Bilanz erschlossen. Die Untersuchung wird in mehreren Schritten durchgeführt. Als erster Schritt dieser Analysemethode erfolgt die Prozesskettenanalyse von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung. Berücksichtigt werden hier diejenigen Aktivitäten, die einen relativen Beitrag zur Berechnung des kumulierten Energieaufwandes bzw. der Treibhausgas-Emissionen liefern. Hierbei erfolgt die Unterteilung in:

- Basisgüter: stellen die Grundstoffe eines Produktes dar
- Verpackungsmaterialien: dienen dem Schutz und der Verpackung des Produktes

---

<sup>10</sup> Berücksichtigt werden hier die wichtigsten Treibhausgase: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O (Kramer et al., 1998)

- Kapitalgüter: z.B. Maschinen und Gebäude
- Restgüter: Güter, die während der Herstellung Verwendung finden, deren Material und Menge aber noch nicht hinreichend bekannt sind
- Direkte Energie und Treibhausgas-Emissionen: bei der Herstellung verbrauchte Energie bzw. entstandene Treibhausgas-Emissionen
- Transport: Energieaufwand respektive Treibhausgas-Emissionen für den Transport und die Abfallbehandlung

Gutschriften werden eingerechnet, wenn Basisgüter oder Verpackungsmaterial verwertet werden.

Im zweiten Schritt wird zur Kontrolle der Prozesskettenbilanz eine Massenbilanz aufgestellt. Diese wird anhand der Masse der verwendeten Güter, der Verpackungsmaterialien und der transportierten Gesamtmasse aufgestellt.

Darauf erfolgt eine Geldbilanz. In dieser wird, vom Endpreis des Produktes ausgehend, jeder Station der Lebenskette ein Geldbetrag zugeordnet. Durch Subtraktion aller bekannten Preise vom Endpreis ist es möglich, die Gesamtkosten der Restgüter zu bestimmen.

Abschließend werden die Energieintensitäten und/oder die Treibhausgasintensitäten, die zuvor durch eine Input-Output-Analyse für sämtliche Wirtschaftssektoren ermittelt wurden, mit den Gesamtkosten multipliziert. Als Ergebnis erhält man den gesamten Energieaufwand in Megajoule pro Kilogramm Produkt (MJ/kg) bzw. die gesamten Treibhausgas-Emissionen in Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Kilogramm Produkt (kg CO<sub>2</sub>-Äq/kg). Neben dem Bezug auf das Produkt an sich ist ein gesonderter Bezug auf die Herstellungsenergie, die Kapitalgüter, den Transport und die Abfallbehandlung möglich (Jungbluth, 2000; Taylor, 2000).

## **4 Struktur und Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland**

Nachdem eine Bewertung der Begriffe Primärenergie und Treibhausgas-Emissionen vorgenommen und die in der Praxis angewandten Methoden zur Umweltbilanzierung vorgestellt wurden, soll die Verursacherstruktur des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen erörtert werden. Dazu werden eingangs die Beiträge einzelner Wirtschaftssektoren bzw. Quellkategorien erfasst, um im folgenden Kapitel der Frage nachzugehen, welche Bedeutung die einzelnen gesellschaftlichen Bereiche haben.

### **4.1 Struktur und Entwicklung des Primärenergieverbrauchs nach Wirtschaftssektoren**

Der gesamte Primärenergieverbrauch in Deutschland betrug im Jahr 2005 14.236 PJ<sup>11</sup>. Die Energieproduktivität hat sich zwischen 1990 und 2005 um etwa 30% erhöht. Diese Effizienzsteigerung wurde jedoch durch das Wirtschaftswachstum weitgehend aufgezehrt, so dass der Primärenergieverbrauch in Deutschland seit vielen Jahren weitgehend stabil ist. Er lag im Jahr 2005 ca. 4,5% unter dem Wert von 1990.

Rund zwei Drittel der Primärenergie gelangen in die vier Endenergiesektoren Industrie, Verkehr, Haushalt sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. 28% gehen im Umwandlungssektor, d.h. bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung, in den Raffinerien und bei der Erdgasbereitstellung, verloren (etwa 2%-Punkte weniger als 1990). Der Verlust erfolgt dabei fast ausschließlich in Form ungenutzter Abwärme. Der Anteil des nichtenergetischen Verbrauchs, z.B. für die Herstellung von Straßenbelägen und Schmiermitteln, betrug 7,7% der Primärenergie. Während die Industrie (einschließlich des Bergbaus und des verarbeitenden Gewerbes) 1990 der größte Verbraucher war (31,4%), ist ihre Bedeutung bis zum Jahr 2005 zurückgegangen (26,8%). Deutlich zugenommen hat dagegen der anteilige Verbrauch der privaten Haushalte und des Verkehrssektors. Hier stieg im Zeitraum von 1990 bis 2005 der Verbrauch von 25,1% auf

---

<sup>11</sup> 1 PJ = 10<sup>6</sup> GJ = 10<sup>9</sup> MJ = 10<sup>15</sup> J

28,8% bzw. von 25,1% auf 28,7% (Details siehe Tab. 2) (Umweltbundesamt, 2007a; Loske et al., 1997).

	1990	1995	2000	2005*
	Anteil am Primärenergieverbrauch in %			
Verbrauch und Verluste im Energiesektor	30,0	27,9	28,5	27,9
Nichtenergetischer Verbrauch	6,4	6,8	7,4	7,7
Endenergieverbrauch	63,6	65,3	64,1	64,4
	Anteil am Endenergieverbrauch in %			
Industrie	31,4	26,5	26,2	26,8
Verkehr	25,1	28,1	29,3	28,7
Haushalte	25,1	28,5	28,5	28,8
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	18,4	16,9	16,0	15,7
*vorläufige Angaben				

**Tab. 2: Struktur des Primär- und Endenergieverbrauchs in Deutschland von 1990 bis 2005 in % (nach AGEb, 2006)**

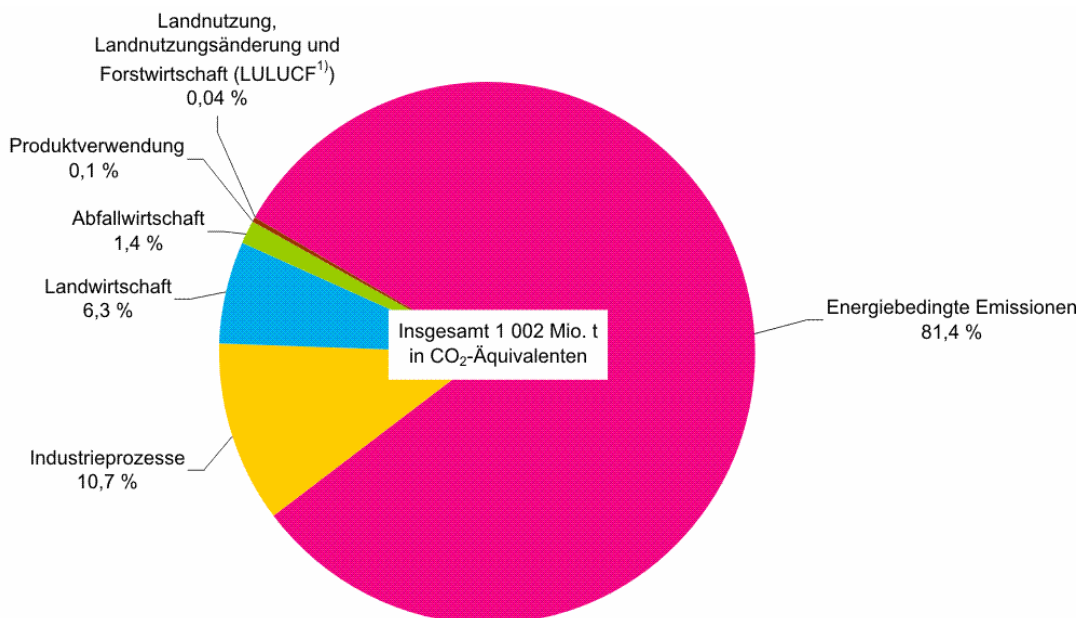
#### 4.2 Struktur und Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen nach Quellkategorien

Die Freisetzung von Treibhausgasen in Deutschland belief sich im Jahr 2005 auf 1.002 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Diese setzten sich zusammen aus Kohlendioxid (87,1%), Lachgas (6,6%), Methan (4,8%) und fluorierten Verbindungen (1,4%). Insgesamt konnte der Ausstoß seit 1990 deutlich vermindert werden. So sanken die Gesamtemissionen in diesem Zeitraum um 230 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq; das entspricht einer Reduktion um 18,7%.

Die Treibhausgas-Emissionen werden in dieser Darstellung nach den Quellkategorien *Energiebedingte Emissionen, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft, Lösemittel- und Produktverwendung sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)* aufgeteilt.

Der Verbrauch fossiler Energie (*Energiebedingte Emissionen*) stellt mit über 80% die bei weitem bedeutendste Ursache von Treibhausgas-Emissionen dar. Durch Brennstoffumstellung sowie Erhöhung der Energieeffizienz und der technischen Wirkungsgrade ist der Ausstoß gegenüber 1994 um 17,4% gesunken. Den zweitgrößten Anteil mit knapp 11% machen die *Industrieprozesse* aus. In diesem Bereich gingen die Emissionen seit 1990 um 10,5% zurück. Es folgt die *Landwirtschaft* mit relativ gleich bleibenden 6%. An diesem Anteil ist insbesondere die Tierhaltung mit ca. 50% der gesamten Lachgas- und Methanemissionen beteiligt. Eine Abnahme der Tierbestände und rückläufige Einsatzmengen von mineralischen Düngern bewirkten gegenüber 1990 einen Rückgang von 18 %.

Die geringsten Treibhausgas-Emissionen entstehen in der *Abfallwirtschaft* und in der *Lösemittel- und Produktverwendung*. Ihre Anteile betragen zusammen genommen 1,5%. Ein deutlicher Rückgang von 66% der Treibhausgas-Emissionen in der Abfallwirtschaft geht auf die Tatsache zurück, dass nur noch sehr geringe Mengen Abfall deponiert werden (Umweltbundesamt, 2007a).



<sup>1</sup>) LULUCF aus N<sub>2</sub>O, ohne LULUCF aus CO<sub>2</sub>

**Abb. 1: Anteile der Quellkategorien an den Treibhausgas-Emissionen 2005 in Deutschland (Umweltbundesamt, 2007b)**



## **5 Betrachtung verschiedener gesellschaftlicher Bereiche hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen**

### **5.1 Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen durch Konsum**

Wie bereits in der Einleitung und unter Punkt 3.3.2 angedeutet, kann eine Erhebung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen nicht nur nach Wirtschaftssectoren bzw. Quellkategorien vorgenommen werden. Auch eine Ermittlung für einzelne Produkte, Dienstleistungen oder gar Produkt- und Materialgruppen ist mittels der im dritten Kapitel vorgestellten Analyseinstrumente möglich. Dies ermöglicht wiederum eine Betrachtung gesellschaftlicher Felder und lässt vermuten, dass gesellschaftliche Aktivitäten unmittelbar mit möglichen Umweltwirkungen in Zusammenhang stehen.

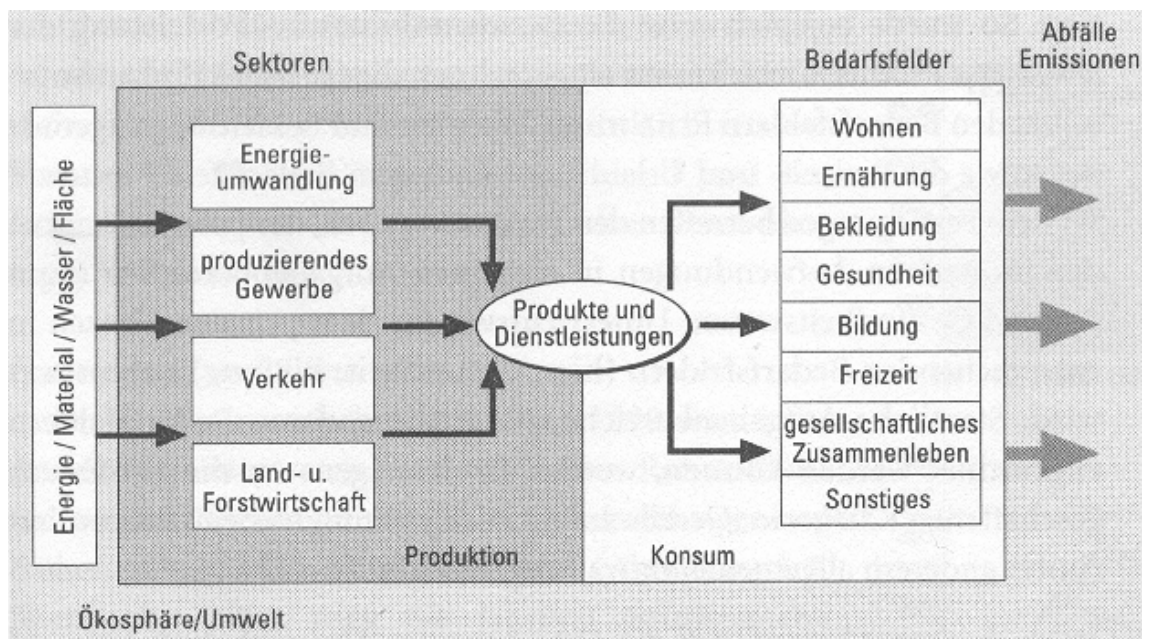
So zeigen Weber und Perrels (2000), dass die benötigte Menge an Energie direkt mit dem Lebensstil einer Person verbunden ist. Sie stellen die Hypothese auf, dass der Lebensstil durch den Aufwand an Zeit und Geld beschrieben werden kann. Dieser Aufwand wiederum bestimmt die benötigte Menge Energie.

Biesiot und Noorman (1998) schildern, dass sich der gesamte Energieverbrauch und demzufolge die gesamten Treibhausgas-Emissionen auf den Konsumentenhaushalt zurückführen lassen. Der Energiebedarf umfasst einen direkten und einen indirekten Anteil. Einerseits verbrauchen Haushalte Energie unmittelbar im Haushalt (direkte Energie), andererseits kaufen sie Güter und nehmen Dienstleistungen in Anspruch, die ihrerseits wiederum unter Aufwand von Energie bereitgestellt werden (indirekte Energie).

Baiocchi et al. (2006) richten mittels einer „Lifestyle Analyse“ ihr Augenmerk auf die Beziehung zwischen Konsumentenaktivitäten und Treibhausgas-Emissionen. Sie treffen die Aussage, dass der Großteil der Treibhausgas-Emissionen direkt oder indirekt auf den privaten Konsumenten zurückgeführt werden kann. Der Lebensstil einer Person kommt direkt in seinen Verbrauchsmustern zum Ausdruck und diese wiederum haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Treibhausgas-Emissionen und damit den Klimawandel.

Betrachtet man die gesamte Struktur des Umweltverbrauchs, wird deutlich, dass die Primärenergie (neben anderen Umweltressourcen) den einzelnen

Wirtschaftssektoren zugeführt wird. Diese erstellen Produkte und Dienstleistungen, die letztendlich allein den Haushalten und damit dem Konsum zur Verfügung stehen (siehe Abb. 2). Eine Untersuchung der gesellschaftlichen Bereiche (in Abb. 2 als Bedarfsfelder bezeichnet) auf ihren Primärenergieverbrauch und ihre Treibhausgas-Emissionen stellt daher eine Möglichkeit dar, auf die gesamten Umweltauswirkungen einzelner Aktivitäten des Menschen zu schließen. Zudem ermöglicht sie das Erkennen wichtiger Handlungsfelder, in denen ein umweltgerechterer Konsum angestrebt werden kann (Loske et al., 1997).



**Abb. 2: Struktur des Umweltverbrauchs (Loske et al., 1997)**

## **5.2 Darstellung der Studien – nationale Studien**

Verschiedene nationale Studien haben bereits die Umweltauswirkungen einzelner bzw. mehrerer gesellschaftlicher Bereiche untersucht.

Unterschiedliche Autoren bzw. Institute führten Untersuchungen zu diesem Thema durch, die auf deutschen Daten beruhen.

Im Folgenden werden die Studien, in deren Rahmen Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt wurden, der Reihe nach betrachtet. Das Vorgehen wird geschildert, und die Ergebnisse werden zusammengestellt.

### **5.2.1 Studie: Zukunftsfähiges Deutschland – Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung (Loske et al. (1997), Wuppertal-Institut)**

Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie untersucht in der Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ die Materialentnahme, den Primärenergieverbrauch und einzelne Treibhausgas-Emissionen gesellschaftlicher Bereiche.

Aufgeteilt werden diese Bereiche in die materiellen Felder *Ernährung*, *Bekleidung* und *Wohnen* sowie in die immateriellen Felder *Gesundheit*, *Bildung*, *Freizeit*, *gesellschaftliches Zusammenleben* (und *Sonstiges*). Der Beitrag eines einzelnen gesellschaftlichen Bereichs zu einer bestimmten Umweltbelastung ergibt sich aus der Art und Menge der Güter, die zur Deckung des Bedarfs in diesem Bereich gekauft werden. Die Berechnung der kumulierten Umweltbelastungen erfolgt mittels einer energetischen Input-Output-Analyse. Als Datengrundlage dienen Tabellen des Statistischen Bundesamtes. Das Bezugsjahr ist 1988, die Erhebung erfolgt demnach nur für die alten Bundesländer. Nach Berechnung der kumulierten Umweltbelastungen wird ein Zuordnungsschema festgelegt. Dieses dient der Zuordnung privater oder staatlicher Güterkäufe nach dem entsprechenden Bedarf eines gesellschaftlichen Bereichs. So wird im Rahmen dieser Studie z.B. Mobilität nicht als eigenständiger Bereich definiert, sondern anderen Feldern zugeordnet. Die private Einkaufsmobilität wird beispielsweise den Bereichen *Ernährung*, *Wohnen* und *Bekleidung* zugeteilt, die Freizeit- und Urlaubsmobilität dem Bereich *Freizeit* und die Berufsmobilität den jeweiligen Produktionssektoren. Eine weitere Festlegung betrifft den Staatsverbrauch, der proportional zu der Höhe der finanziellen Aufwendungen in einzelnen Aufgabenbereichen dem privaten Nutzen in dem entsprechenden gesellschaftlichen

Bereich zugeordnet wird. So werden z.B. Aufwendungen im Gesundheitswesen dem Bereich *Gesundheit*, Aufwendungen im Unterrichtswesen dem Bereich *Bildung* usw. zugeordnet. Können staatliche Aufgabenbereiche nicht eindeutig zugeordnet werden, werden sie in der eigens für diesen Zweck geschaffenen Kategorie *Gesellschaftliches Zusammenleben* zusammengefasst.

Bei der Auswertung haben die einzelnen gesellschaftlichen Bereiche folgenden Anteil am Primärenergieverbrauch:

Wohnen	32%	Kleidung	6%
Ernährung	20%	Bildung	4%
Freizeit	17%	Gesellschaftliches Zusammenleben	5%
Gesundheit	12%	Sonstiges	4%

**Tab. 3: Anteil der gesellschaftlichen Bereiche am Primärenergieverbrauch (Loske et al., 1997)**

Es fällt auf, dass die gesellschaftlichen Felder *Wohnen*, *Ernährung* und *Freizeit* annähernd 70% des gesamten Primärenergieverbrauchs ausmachen. Die Betrachtung beschränkt sich daher im Weiteren auf diese drei Felder.

Der Primärenergieverbrauch im Bereich *Wohnen* ist mit 32% am höchsten. Hier gehen nahezu 70% des Anteils auf den direkten Einsatz von Energieträgern im Haushalt zurück. Knapp 20% entfallen auf den Energieaufwand zur Gebäudeerstellung und Instandhaltung.

An zweiter Stelle folgt die *Ernährung* mit einem Anteil von 20%. Der direkte Energieaufwand für die Zubereitung von Nahrungsmitteln nimmt dabei ungefähr ein Viertel, der kumulierte Energieaufwand zur Nahrungsmittelherstellung etwa vier Fünftel ein.

Der Bereich *Freizeit* macht 17% des Gesamtenergieverbrauchs aus, wobei mehr als die Hälfte auf den Freizeit-Verkehr zurückgeht. Der Rest verteilt sich entsprechend der Fülle der Freizeitaktivitäten auf vielfältige Gütergruppen und Aktivitäten (Loske et al., 1997).

### **5.2.2 Studie: Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien (Wiegmann et al. (2005), Öko-Institut)**

Wiegmann et al. (2005) analysieren die Umweltauswirkungen des Bereichs *Ernährung* in Deutschland aus der Perspektive des Konsumenten. Die Untersuchung erfolgt mit Hilfe einer Stoffstromanalyse. Als funktionelle Einheit wird der jährliche Lebensmittelverbrauch eines Haushalts zu Hause und außer Haus gewählt. Berücksichtigt werden hier die einzelnen Schritte zur Bereitstellung von Lebensmitteln wie die landwirtschaftliche Produktion, die industrielle Weiterverarbeitung, der Handel mit Lagerung und die Transporte. Ebenso werden weitere Aufwendungen seitens der Haushalte wie Einkaufsfahrten, Lagerung, Zubereitung, Verzehr und Abwasch mit in die Bewertung einbezogen. Die Abschätzung des Lebensmittelkonsums der Haushalte erfolgt auf Grundlage der Einkommens- und Verbrauchsstatistik (EVS) und der Nationalen Verzehrsstudie (NVS). Der Gesamtverbrauch von Lebensmitteln pro Person wird dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMVEL, versch. Jahrgänge) entnommen. Sowohl Abfallentsorgung und Abwasserbehandlung als auch die Eigenproduktion von Obst und Gemüse werden vernachlässigt, da diese Faktoren das Gesamtergebnis auf Grund marginaler Anteile nicht entscheidend beeinflussen. Bezugsjahr ist das Jahr 2000.

Die Auswertung zeigt, dass die ernährungsbedingten Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2000 bei 4.360 kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Durchschnittshaushalt liegen. Anhand der Daten des Statistischen Bundesamtes ist man in der Lage, die anteiligen Treibhausgas-Emissionen des Bereichs *Ernährung*, gemessen an den Gesamtreibhausgas-Emissionen, zu berechnen. Bei einer Anzahl von 38.124.000 Haushalten und einem deutschlandweiten Treibhausgasausstoß von 1.017 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 2000 (Statistisches Bundesamt, 2005; Statistisches Bundesamt, 2006) beträgt dieser Anteil 16,3%. Eine Bewertung des Primärenergieverbrauchs wird im Rahmen der Studie nicht vorgenommen.

### **5.2.3 Studie: Veränderungstendenzen im Ernährungssystem und ihre klimatische Relevanz (Kramer et al. (1994), Enquete-Kommission)**

Kramer et al. (1994) führen im Auftrag der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ eine Analyse des gesellschaftlichen Bereichs *Ernährung* durch. Sie schätzen den Gesamtausstoß an Treibhausgasen und den Verbrauch an Primärenergie des Ernährungssektors im Jahr 1991 ab. Als Analyseinstrument wird die Prozesskettenanalyse gewählt. Als Basis dienen Daten des Statistischen Bundesamtes. Als klimarelevante Emissionen des Ernährungssystems fließen die Treibhausgas-Emissionen der Nahrungsmittelerzeugung, der Distribution bis hin zum Einzelhandel und der Verbraucheraktivitäten mit in die Betrachtung ein. Bezüglich des Primärenergieeinsatzes wird lediglich das Feld der Nahrungsmittelerzeugung berücksichtigt.

Bei der Auswertung werden die pro Person und Jahr ermittelten Treibhausgas-Emissionen auf eine gerundete Gesamtbevölkerung von 80 Mio. Bundesbürgern hochgerechnet. Für das gesamte Ernährungssystem ergibt sich damit eine Klimabelastung von 260 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr. Legt man den bundesdeutschen Gesamtausstoß von 1.191 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq (Statistisches Bundesamt, 2006) im Bezugsjahr 1991 zugrunde, trägt der Bereich Ernährung zu 21,8% zum Gesamtausstoß der Treibhausgase bei.

Der Primärenergieverbrauch für die Nahrungsmittelerzeugung beträgt 7.382 MJ pro Kopf und Jahr. Da Distribution und Verbraucheraktivitäten in der Studie keine Berücksichtigung finden, lässt sich im Rahmen dieser Arbeit der Primärenergieverbrauch des Gesamtsystems *Ernährung* nicht ermitteln.

### **5.2.4 Studie: Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand ausgewählter Indikatoren (Taylor (2000), Universität Gießen)**

Taylor (2000) nimmt eine ökologische Bewertung unterschiedlicher Ernährungsweisen vor. Zu diesem Zwecke wird im ersten Schritt eine Datenbank mit den Datensätzen Landwirtschaftliche Erzeugung, Lebensmittelverarbeitung, Lebensmittelverpackung, Lebensmitteltransport und Haushaltsphase (ohne Entsorgung) erstellt. Durch Verknüpfung dieser Datensätze mit den Verzehrdaten (entnommen aus der NVS und VWS<sup>12</sup>) von Untersuchungsgruppen un-

---

<sup>12</sup> VWS = Gießener Vollwert-Ernährungs-Studie

terschiedlicher Ernährungsweisen wird im zweiten Schritt eine Gesamtbilanz erstellt. Da es im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich ist, jedes einzelne Lebensmittel zu bilanzieren, wird auf bereits vorhandene Studien zurückgegriffen. In Fällen, in denen belastbare Daten fehlen, wird eine Bilanzierung gemäß den Anforderungen einer Ökobilanz vorgenommen. Als zeitlicher Bezug wird das Jahr 1996 gewählt. Legt man die Gesamtbilanz der Ernährungsweise „Konventionelle Mischkost“ als repräsentativ für die Gesamtbevölkerung Deutschlands zugrunde, so können die durch die Ernährung verursachten Umweltauswirkungen pro Person und Jahr abgeschätzt werden. Werden Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Äquivalente dieser Bilanz auf den Gesamtverbrauch bzw. die Gesamtemissionen bezogen, so erhält man den Anteil der *Ernährung* insgesamt.

Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen betragen 17.663 MJ bzw. 1.773 kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Person und Jahr. Bei einer Bevölkerung von 82.012.000 Menschen im Jahr 1996 (Statistisches Bundesamt, 2006) erhält man einen Gesamtprimärenergieverbrauch des Bereichs *Ernährung* von 1.448,6 PJ/a. Der Gesamtausstoß an Treibhausgasen beträgt 145,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a. Werden diese Werte auf den deutschen Primärenergieverbrauch von 14.746 PJ und den Gesamtausstoß von 1.081 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 1996 (Statistisches Bundesamt, 2004) bezogen, so macht der Anteil des Bereichs *Ernährung* 9,8% am Primärenergieverbrauch und 13,5% an den Treibhausgas-Emissionen aus.

### **5.2.5 Studie: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen (Quack & Rüdener (2004), Öko-Institut)**

Quack und Rüdener (2004) ermitteln mittels einer im Rahmen der EcoTop-Ten-Initiative durchgeführten Stoffstromanalyse die Umweltauswirkungen zehn definierter Produktfelder in folgenden Kategorien: Kumulierter Energieaufwand, Treibhauspotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und Photooxidantienbildung. Betrachtet werden die Produktgruppen: *Haus und Wohnung, Mobilität, Lebensmittel, Küche, Textilien, Bad, Kommunikationsgeräte, Unterhaltungselektronik, Grüner Strom* und *Nachhaltige Geldanlagen*. Das Produktfeld neun *Grüner Strom* wird in den Produktfeldern eins bis acht mitberück-

sichtigt und wird daher nicht mit einbezogen. Das Produktfeld zehn *Nachhaltige Geldanlagen* kann mangels geeigneter Daten zu den ökologischen Auswirkungen nicht berücksichtigt werden. Als funktionelle Einheit wird ein bundesdeutscher Durchschnittshaushalt mit den gemäß Statistik in einem Jahr erfolgten Verbräuchen und Gebräuchen in den Produktfeldern eins bis acht zugrunde gelegt. Bezugsjahr ist das Jahr 2001.

Für die einzelnen Produktfelder (PF) ergibt sich bezüglich des jährlichen kumulierten Energie-Aufwandes (KEA) und der jährlichen Treibhausgas-Emissionen (GWP) folgendes Gesamtergebnis:

PF		KEA [GJ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> -Äq]
1	Haus und Wohnung	100,0	7.065
2	Mobilität	56,5	3.959
3	Lebensmittel	20,9	3.758
4	Küche	15,6	953
5	Textilien	2,0	97
6	Bad	6,1	360
7	Kommunikationsgeräte	14,6	462
8	Unterhaltungselektronik	5,2	323
	<b>Gesamt</b>	<b>220,9</b>	<b>16.977</b>

Tab. 4: Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen einzelner Produktfelder (Quack und Rüdener, 2004)

Die Autoren machen in der Zusammenfassung den Vorschlag, die Produktfelder *Lebensmittel* und *Küche* zum Bereich Ernährung zusammenzufassen. Geht man der Empfehlung nach, so erhält man für den Bereich Ernährung einen kumulierten Energieaufwand von 36,5 GJ und ein Treibhausgaspotential von 4.711 kg CO<sub>2</sub>-Äq pro Haushalt und Jahr. Werden nun mittels der 38.456.000 deutschen Haushalte im Jahr 2001 (Statistisches Bundesamt, 2006) die Gesamtwerte ermittelt, so ergeben sich für den *Ernährungssektor* ein Primärenergieverbrauch von 1.403,6 PJ/a und Treibhausgas-Emissionen in Höhe von 181,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a. Setzt man diese Werte mit dem bundesdeutschen Pri-



märenergieverbrauch von 14.679 PJ bzw. mit den deutschlandweiten Treibhausgas-Emissionen von 1.028 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 2001 (Statistisches Bundesamt, 2006) ins Verhältnis, so lässt sich der Anteil der *Ernährung* bestimmen. Dieser beträgt für den Primärenergieverbrauch 9,6% und für die Treibhausgas-Emissionen 17,6%.

### **5.3 Internationale Betrachtung des Primärenergieverbrauchs im Bereich Ernährung**

Neben diesen nationalen Untersuchungen existieren internationale Studien, die nicht gesellschaftliche Bereiche, sondern Konsumkategorien auf ihren Energieverbrauch hin untersuchen. Unter diesen Kategorien befindet sich die Kategorie *Lebensmittel*. In dieser werden nur die Lebensmittel an sich bilanziert. Die Aktivitäten des Verbrauchers, die Bilanzierung von Gütern, die direkt für die Lebensmittelzubereitung herangezogen werden (diverse Küchengeräte etc.), sowie weitere Aspekte, die bei einer ausführlichen Analyse dem Bereich Ernährung zugeteilt werden müssten (wie z.B. der Energieaufwand zum Heizen der Küche), werden außer Acht gelassen. Ferner wird der ermittelte Primärenergieverbrauch der einzelnen Konsumkategorien nicht als Anteil des gesamten staatlichen Primärenergieverbrauchs wiedergegeben, sondern lediglich als Anteil des Primärenergieverbrauchs eines Haushalts. Da dem Bereich *Lebensmittel* im Bereich Ernährung jedoch der größte Anteil beizumessen ist, soll im Rahmen dieser Arbeit auf die Bedeutung der Kategorie *Lebensmittel* am Primärenergiebedarf eines Haushalts kurz eingegangen werden.

Vringer und Blok (1995) führen anhand der unter Punkt 3.3.5 beschriebenen Hybrid-Analyse eine Betrachtung des direkten und indirekten Energiebedarfs von Haushalten in den Niederlanden durch. Ein Ziel ihrer Studie ist es, einerseits einen Überblick über den Primärenergiebedarf eines Haushalts zu erhalten und andererseits den Primärenergiebedarf pro Konsumkategorie zu bestimmen. Zu diesem Zwecke werden die Energieintensitäten von 350 Konsumkategorien bestimmt, welche bei der abschließenden Betrachtung zu 13 Kategorien zusammengefasst werden. Die Daten wurden mittels einer repräsentativen Stichprobe von 2.767 niederländischen Haushalten gewonnen, deren Ausgaben ü-

ber einen Zeitraum von einem Jahr detailliert erfasst wurden. Betrachtet wird das Jahr 1990.

Die Auswertung ergibt, dass der durchschnittliche niederländische Haushalt im Jahr 1990 240 GJ verbrauchte, davon 46% in Form von direkter Energie (für *Raumheizung, Treibstoff* und *Elektrizität*) und 54% in Form von indirekter Energie. Der Bereich *Lebensmittel* verbraucht mit 17% nach der *Raumheizung* die meiste Energie. Er trägt mit ungefähr 40 GJ/a zum Primärenergieverbrauch eines Haushalts bei und liefert damit den größten Beitrag in den Kategorien, die durch indirekte Energie zum Gesamtverbrauch beitragen.

Reinders et al. (2003) analysieren den direkten und indirekten Energiebedarf von Haushalten der Europäischen Union. Das Vorgehen, die Art der Datenerhebung und die Zielsetzung entsprechen der von Vringer und Blok (1995) (siehe oben). Betrachtet werden folgende Staaten: Belgien, Dänemark, Griechenland, Spanien, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Portugal, Finnland, Schweden und Großbritannien. Als Bezug wird das Jahr 1994 gewählt. Lediglich die Konsumkategorien werden anders zusammengestellt.

Die Auswertung ergibt eine starke Schwankung im Primärenergiebedarf eines Haushalts. So verbraucht Portugal 180 GJ pro Haushalt und Jahr, Luxemburg dagegen 508 GJ pro Haushalt und Jahr. Auch der Anteil des direkten Energiebedarfs erstreckt sich von 34% (Portugal) bis 64% (Finnland, Schweden). Nimmt man die betrachteten Staaten zusammen, beträgt der durchschnittliche totale Energieaufwand eines Haushalts 274 GJ pro Jahr.

Auch hier trägt die Kategorie *Lebensmittel und Getränke* im ähnlichen Umfang (18%) zum Gesamtenergieverbrauch eines Haushalts bei. Damit hat diese Kategorie wiederum den größten Anteil am indirekten Energiebedarf aller Kategorien. Der Energiebedarf für *Lebensmittel und Getränke* variiert von 15 GJ pro Haushaltsmitglied und Jahr (Finnland) zu 23 GJ pro Haushaltsmitglied und Jahr (Italien). Italienische und spanische Haushalte verbrauchen jeweils große Mengen an Energie für *Lebensmittel und Getränke*. Haushalte in den Niederlanden, Belgien, Finnland und Großbritannien benötigen dagegen relativ wenig Energie. Vor allem die Länder Italien und Spanien benötigen sehr große Mengen an Energie für Lebensmittel. Die Autoren begründen das damit, dass die Einwohner dieser Länder möglicherweise mehr Lebensmittel oder Lebensmittel teurerer Kategorien kaufen.

## 5.4 Überblick über die Ergebnisse

Tab. 5 stellt die Kerndaten der nationalen Studien zum Anteil des Bereichs *Ernährung* am Primärenergieverbrauch und/oder den Treibhausgas-Emissionen in Deutschland zusammen.

Primär-energie-verbrauch	Treibhaus-gas-Emissionen	Quelle	Bezugs-jahr	Analyseinstrument
20%	k.A.	Loske et al. (1997) Wuppertal-Institut	1988	Input-Output-Energie-Analyse
k.A.	16,3%	Wiegmann et al. (2005), Öko-Institut	2000	Stoffstromanalyse
k.A.	21,8%	Kramer et al. (1994), Enquete-Kommission	1991	Prozesskettenanalyse
9,8%	13,5%	Taylor (2000), Universität Gießen	1996	Ökobilanz u.a.
9,6%	17,6%	Quack & Rüdener (2004), Öko-Institut	2001	Stoffstromanalyse

**Tab. 5: Anteil der *Ernährung* am Primärenergieverbrauch und den Treibhausgas-Emissionen in Deutschland (eigene Tabelle)**

Tab. 6 zeigt eine Übersicht über die Daten der internationalen Studien zum Anteil der Kategorie *Lebensmittel* am gesamten Primärenergieverbrauch der Haushalte.

Primär-energie-verbrauch	Bezugs-land	Quelle	Bezugs-jahr	Analyseinstrument
17%	Niederlande	Vringer & Blok (1995), Universität Utrecht	1990	Hybrid-Analyse
18% <sup>13</sup>	Verschiedene Länder der EU	Reinders et al. (2003), Universität Twente	1994	Hybrid-Analyse

**Tab. 6: Anteil der *Lebensmittel* am gesamten Primärenergieverbrauch der Haushalte (eigene Tabelle)**

<sup>13</sup> Kategorie: Lebensmittel und Getränke

## 6 Anteile der Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung am Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen

### 6.1 Darstellung der Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, bestimmen Konsumentenaktivitäten in sämtlichen gesellschaftlichen Bereichen die Höhe des Primärenergieverbrauchs und damit die Umweltbelastung. Wie gesehen, gilt dies auch für den Bereich Ernährung. In der Einkaufssituation steht der Konsument vor einem breit gefächerten Sortiment an Lebensmitteln und hat zu entscheiden, welches Lebensmittel er erwerben soll. Mit der Wahl eines jeden Lebensmittels geht stets eine gewisse Umweltbelastung einher. Diese Belastungen können in allen Teilbereichen der Wertschöpfungskette Ernährung auftreten.

Die Wertschöpfungskette Ernährung beginnt mit der *Vorleistungsproduktion* für die Landwirtschaft. Die Vorleistungsproduktion umfasst die Herstellung von Mineraldüngern und Pestiziden. Hier werden große Rohstoff- und Energiemengen benötigt. Dementsprechend werden hohe Mengen an Treibhausgasen emittiert. Es folgt die Erzeugung der Lebensmittel in der *Landwirtschaft*. Hier wird in vielfältiger Weise Primärenergie verbraucht; so z. B. bei der Herstellung und Reparatur von Maschinen, bei Transporten sowie eventuell bei der Trocknung von Lebensmitteln oder beim Heizen von Treibhäusern.

Daran schließen sich die Bereiche *Lagerung*, *Transport* und *Lebensmittelverarbeitung* in Industrie und Handwerk an. Auch hier werden Rohstoffe und Energie benötigt, was Schadstoffemissionen zur Folge hat.

Der nachfolgende Bereich ist die *Vermarktung* der Lebensmittel, der landwirtschaftlichen Vorleistungserzeugnisse und der Rohprodukte. Die erfolgreiche Vermarktung ist mit dem *Transport* von Lebensmitteln verbunden. Umweltauswirkungen entstehen hier wiederum durch Energie- und Rohstoffaufwand beim Transport selbst, bei Verpackung und Kühlung sowie durch den Flächenbedarf und die Abgase durch den Verkehr.

Anschließend erfolgt die *Zubereitung*, die je nach Lebensmittel unterschiedlich energieaufwändig sein kann, gefolgt vom eigentlichen *Verzehr* des Nahrungsmittels.

Als letzter Teilbereich ist die *Abfallentsorgung* der Verpackungen und der organischen Reste zu nennen, die Umweltbelastungen durch die Müllverbrennung oder Deponierung verursachen kann (v. Koerber et al., 2004).

Abb. 3 zeigt den typischen Lebensweg eines Nahrungsmittels am Beispiel von Nudeln.

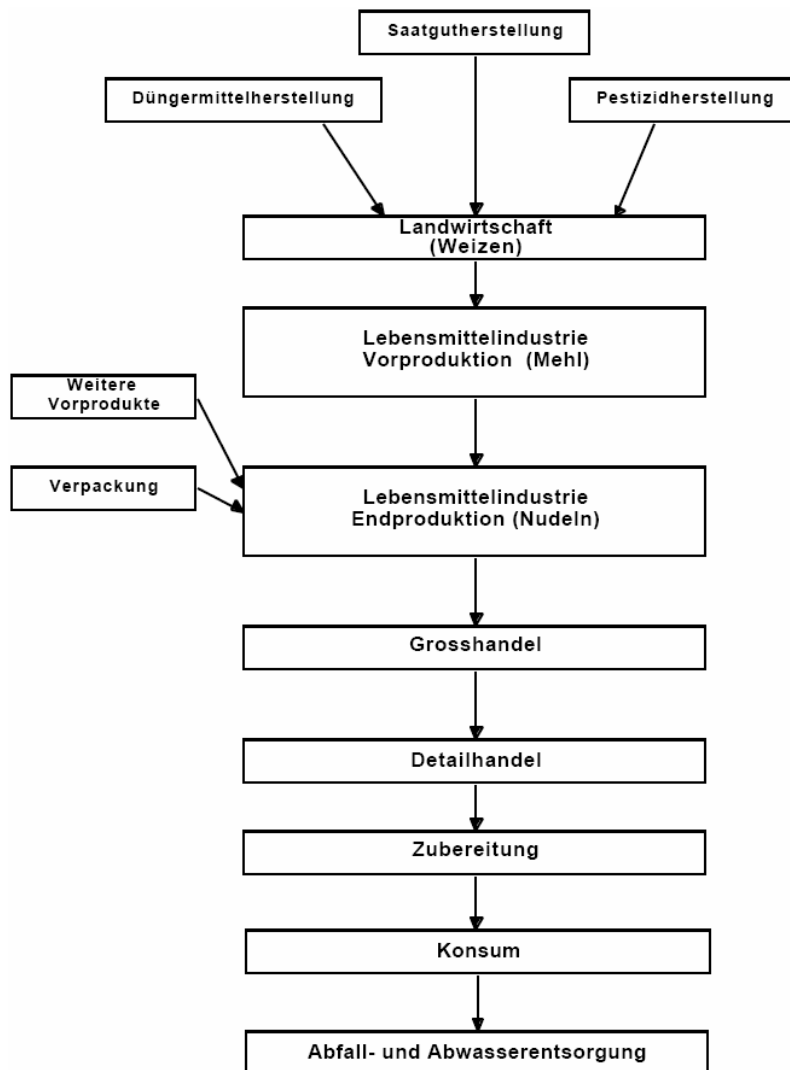


Abb. 3: Lebensweg eines Nahrungsmittels am Beispiel Nudeln (Jungbluth, 1998)

Der Weizen wird unter Einsatz von Dünger, Saatgut und Pestiziden in der Landwirtschaft hergestellt und daraufhin zu lebensmittelverarbeitenden Betrieben transportiert, in denen eine Verarbeitung über das Mehl hin zum Endprodukt Nudel vorgenommen wird. Die Nudeln werden für den Verkauf vorbereitet und verpackt und über den Groß- und Detailhandel an die Endkonsumenten

weitergegeben. Im Haushalt werden sie zubereitet und gegessen. Verbleibende Reststoffe gelangen zur Entsorgung (Jungbluth, 1998).

Es stellt sich die Frage, in welchem dieser Teilschritte in der Prozesskette eines Lebensmittels die höchsten Umweltbelastungen entstehen. Durch eine Darstellung der Anteile einzelner Teilbereiche in der Wertschöpfungskette Ernährung, können erste Tendenzen erkannt und dem Verbraucher darauf aufbauend Entscheidungshilfen gegeben werden. Nachfolgend sollen die Anteile der einzelnen Teilbereiche, gemessen am Gesamt-Primärenergieverbrauch und an den gesamten Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung, wiedergegeben werden.

## **6.2 Anteile der Teilbereiche des Ernährungssystems am Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen**

In der Literatur finden sich zahlreiche Arbeiten, die die Umweltauswirkungen der einzelnen Teilbereiche ganz bestimmter Nahrungsmittel oder Nahrungsmittelgruppen (meist mit Hilfe von Ökobilanzen) untersuchen. Ebenso haben, wie aus dem vorangehenden Kapitel ersichtlich, einige Autoren die Umweltauswirkungen des Gesamtsystems Ernährung beschrieben. Da in diesen Arbeiten meist nur die zusammengefassten Daten wiedergegeben werden, ist eine Beurteilung, inwiefern die einzelnen Teilbereiche zur Gesamtbelastung beitragen, nicht möglich. Ausnahmen bilden die Studien von Kramer et al. (1994), Taylor (2000) sowie Quack und Rüdener (2004). Diese Arbeiten werden nachfolgend eingehender betrachtet.

### **6.2.1 Studie: Veränderungstendenzen im Ernährungssystem und ihre klimatische Relevanz (Kramer et al. (1994), Enquete-Kommission)**

Wie bereits unter Punkt 5.2.3 beschrieben, errechnen Kramer et al. (1994) für den Bereich Ernährung im Jahr 1991 einen bundesdeutschen Gesamtausstoß von 260 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dies ergibt einen Anteil von 21,8%, gemessen an den gesamten Treibhausgas-Emissionen.

Werden die einzelnen Teilbereiche betrachtet, so entfallen insgesamt 135 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a auf die *Landwirtschaft*, 15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a auf die *Verarbeitung* in Nahrungsmittelgewerbe und Handwerk, 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a auf den *Handel* und 75 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a auf die Aktivitäten der *Verbraucher*.

Werden die Teilbereiche genauer betrachtet, lassen sich diese weiter aufgliedern.

In der *Landwirtschaft* wird beispielsweise berücksichtigt, welcher Anteil der Treibhausgas-Emissionen durch die Erzeugung tierischer Nahrungsmittel verursacht wird und welcher auf den Verbrauch pflanzlicher Lebensmittel zurückzuführen ist.

Im Bereich *Handel* (Groß- und Einzelhandel) entstehen Umweltbelastungen durch Verpackung, Transporte, Lagerhaltung und Unterhaltung von Gebäuden.

Auf den *Verbraucher* entfallen Aktivitäten, die mit der Beschaffung, der Lagerung, der Zubereitung und dem Verzehr von Nahrungsmitteln in Verbindung stehen. Hierzu zählen Lebensmitteleinkauf, das Kühlen und Gefrieren von Nahrungsmitteln, das Kochen sowie das abschließende Spülen des Geschirrs. Außerdem werden in diesem Bereich das Heizen der Küchen- und Speiseräume, das Gastgewerbe sowie das Essenfahren<sup>14</sup> mit aufgeführt. In der folgenden Tabelle sind die Gesamtemissionen der einzelnen Teilbereiche und deren jeweiliger Anteil am Treibhausgas-Ausstoß der Wertschöpfungskette Ernährung im Einzelnen aufgeführt.

Teilbereich	Treibhausgas-Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq/a]	Treibhausgas-Emissionen [%]
<b>Landwirtschaft</b>	<b>135</b>	<b>51,9</b>
- Tierproduktion	115	44,2
- Pflanzenproduktion	20	7,7
<b>Verarbeitung</b> (Nahrungsmittelgewerbe, Handwerk)	<b>15</b>	<b>5,8</b>
<b>Handel</b>	<b>35</b>	<b>13,5</b>
- Verpackung	13,4	5,2
- Gütertransporte	10,1	3,9
- Gebäudeunterhaltung, Lagerhaltung	11,5	4,4
<b>Verbraucher</b>	<b>75</b>	<b>28,8</b>
- Heizen Küchen- u. Essraum	24	9,2
- Kühlgeräte	15	5,8
- Gastgewerbe	10	3,8
- Lebensmitteleinkauf	9	3,5
- Erhitzen	8	3,1
- Spülen	8	3,1
- Essenfahren	1	0,4
<b>Gesamt</b>	<b>260</b>	<b>100</b>

Tab. 7: Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung nach Kramer et al. (1994)

Es zeigt sich, dass in der *Landwirtschaft* gut 85% der Treibhausgas-Emissionen auf die Produktion tierischer Nahrungsmittel zurückzuführen sind. In der Tierproduktion wiederum wird der Hauptanteil (ca. 70 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a) der Klimabe-

<sup>14</sup>Dieser Begriff bezeichnet nach Kramer et al. (1994) die Fahrt zum Außer-Haus-Verzehr.



lastung durch die Rinderhaltung (einschließlich Milchprodukte) verursacht. Etwa 28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a entfallen auf Schweine und sonstige Nutztiere.

Von den 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a im *Handel* werden 13,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a Treibhausgase durch Verpackung freigesetzt und 10,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a durch Gütertransporte. Weitere 11,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a werden dem Bereich Gebäudeunterhaltung und Lagerhaltung zugeordnet (vgl. Taylor, 2000).

Die ernährungsbezogenen *Verbraucheraktivitäten*, die zu einer Belastung von 75 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a beitragen, lassen sich ebenso genauer spezifizieren. Folgende Bereiche tragen hier in der Reihenfolge ihrer Bedeutung zur Klimabelastung bei: Heizen des Küchen- und Essraumes, Betrieb von Kühlgeräten, Gastgewerbe, Lebensmitteleinkauf, Kochen, Spülen sowie Essenfahren.

### **6.2.2 Studie: Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand ausgewählter Indikatoren (Taylor (2000), Universität Gießen)**

Taylor (2000) unterteilt die Wertschöpfungskette Ernährung abweichend zu Kramer et al. (1994). So bilanziert Taylor das Ernährungssystem über die Teilbereiche *Verbrauchte Lebensmittel*, *Stickstoff-Austrag*, *Verpackung*, *Transport* und *Haushaltsphase*. Der Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* schließt sowohl die landwirtschaftliche Erzeugung als auch die industrielle Verarbeitung mit ein. Der Teilbereich *Stickstoff-Austrag* ist der Landwirtschaft zuzuordnen.<sup>15</sup> Eine isolierte Betrachtung der Bereiche Landwirtschaft und industrielle Verarbeitung ist daher nicht möglich. Wird bereits wie unter Punkt 5.2.4 davon ausgegangen, dass die Ernährungsweise „Konventionelle Mischkost“ repräsentativ für die Gesamtbevölkerung Deutschlands ist, so lässt sich nicht nur der Gesamteinfluss der Ernährung, sondern auch der Anteil der unterschiedlichen Teilbereiche am Primärenergieverbrauch respektive an den Treibhausgas-Emissionen bestimmen. Taylor betrachtet die Umweltauswirkungen pro Person und Jahr. Um jedoch einen späteren Vergleich mit anderen Studien vornehmen zu können, werden die ermittelten Werte mit der Einwohnerzahl Deutschlands im Bezugsjahr 1996 multipliziert.

---

<sup>15</sup> In dieser Kategorie sind die stickstoffhaltigen Treibhausgase (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>) erfasst. Sie entstehen in erster Linie aus landwirtschaftlich genutzten Böden und bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern (vgl. Umweltbundesamt, 2007).

Betrachtet man den jährlichen Primärenergieverbrauch in den Teilbereichen, so ergeben sich 828,2 PJ/a für den Bereich *Verbrauchte Lebensmittel*, 104,9 PJ/a für die *Verpackung*, 114,7 PJ/a für den *Transport* und 400,8 PJ/a für die *Haushaltsphase*. Im Teilbereich *Stickstoff-Austrag* wird keine Primärenergie verbraucht (siehe auch Tab. 8).

Unternimmt man die gleiche Betrachtung nach Treibhausgas-Emissionen, so entstehen im Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* 94,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a, beim *Stickstoff-Austrag* 8,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a, bei der *Verpackung* 6,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a, beim *Transport* 8,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a und in der *Haushaltsphase* 27,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a (siehe auch Tab. 9).

Untersucht man den Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* genauer, so ist es möglich, eine Berechnung des Anteils aller tierischen Erzeugnisse am Gesamtanteil dieser Kategorie vorzunehmen. Dazu werden die Primärenergieverbräuche und Treibhausgas-Emissionen aller Produkte summiert, die aus tierischer Herkunft stammen. Unter den 17 hier bilanzierten Lebensmittelgruppen sind dies folgende Kategorien: „Milch- und Milchprodukte“; „Käse, Quark und Eier“, „Fleisch, Fleischwaren und Wurst“ sowie „Fische und Meeresfrüchte“. Zudem werden tierische Fette aus der Gruppe „Fette und Öle“ mit in die Berechnung einbezogen. Tierische Bestandteile in Lebensmitteln anderer Gruppen (z.B. Milch in Süßspeisen, Eier in Backwaren oder Nudeln) werden aus Mangel an Daten vernachlässigt. Ebenso wenig können Daten rein pflanzlicher Lebensmittel, wie z.B. Brottrunk (der in der Kategorie Milch- und Milchprodukte erfasst wird) oder pflanzliche Bestandteile in tierischen Lebensmitteln (z.B. Gewürze in Fleisch- und Wurstwaren) berücksichtigt werden, da es auch hier an Daten mangelt. Da es nicht Ziel dieser Arbeit ist, einen exakten Wert zu ermitteln, wird diese vereinfachende Betrachtung den Ansprüchen gerecht.

Geht man wie beschrieben vor, so beträgt der Primärenergieverbrauch für tierische Nahrungsmittel 490,7 PJ/a. Die Treibhausgas-Emissionen, die durch den Verbrauch tierischer Erzeugnisse entstehen, belaufen sich auf 62,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a.

Der Bereich der *Lebensmitteltransporte* lässt sich in den LKW-Transport, den Transport mit Schiffen (Übersee-, Binnenschiff) und den Zugtransport aufteilen.

In der *Haushaltsphase* werden die Verbräuche von Kühlschrank, Gefriergerät und Elektroherd bilanziert. Ebenso werden die Einkaufsfahrten der Konsumenten erfasst.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aller Teilbereiche bietet Tab. 8.

Teilbereich	Primärenergieverbrauch [PJ/a]	Primärenergieverbrauch [%]
<b>Verbrauchte Lebensmittel</b>	<b>828,2</b>	<b>57,2</b>
- tierische Erzeugnisse	490,7	33,9
- pflanzliche Erzeugnisse	337,5	23,3
<b>Verpackung</b>	<b>104,9</b>	<b>7,2</b>
<b>Transport</b>	<b>114,7</b>	<b>7,9</b>
- LKW	86,9	6,0
- Überseeschiff	22,0	1,5
- Binnenschiff	4,4	0,3
- Zug	1,5	0,1
<b>Haushaltsphase</b>	<b>400,8</b>	<b>27,7</b>
- Gefriergerät	125,6	8,7
- Kühlschrank	116,0	8,0
- Elektroherd	105,6	7,3
- Lebensmitteleinkauf	53,6	3,7
<b>Gesamt</b>	<b>1.448,6</b>	<b>100</b>

Tab. 8: Primärenergieverbrauch der Wertschöpfungskette Ernährung nach Taylor (2000)

Der Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* hat mit ca. 57% den höchsten Primärenergiebedarf. Ungefähr 60% des Bedarfs gehen hier auf tierische Erzeugnisse zurück.

Es folgt die *Haushaltsphase* mit knapp 28%. Hier zeigt sich, dass Kühlschrank und Gefriergerät aufgrund ihres kontinuierlichen Bedarfs mehr Energie verbrauchen als der Elektroherd, der nur zeitweise zum Einsatz kommt. Der Anteil des Energieverbrauchs beim Lebensmitteleinkauf macht einen vergleichsweise geringen Anteil aus.

Im Teilbereich *Transport* wird deutlich, dass das Gros an Energie beim Transport via LKW verbraucht wird (ca. 76%). Es folgen Transporte mit Übersee- (ca. 19%) und Binnenschiffen (ca. 4%). Der geringste Verbrauch entsteht beim Zugtransport (ca. 1%).

Die *Verpackung* von Lebensmitteln verbraucht mit gut 7% am wenigsten Primärenergie.

Teilbereich	Treibhausgas-Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq/a]	Treibhausgas-Emissionen [%]
<b>Verbrauchte Lebensmittel</b>	<b>94,9</b>	<b>65,3</b>
- tierische Erzeugnisse	62,2	42,8
- pflanzliche Erzeugnisse	32,7	22,5
<b>Stickstoff-Austrag</b>	<b>8,7</b>	<b>6,0</b>
<b>Verpackung</b>	<b>6,0</b>	<b>4,1</b>
<b>Transport</b>	<b>8,6</b>	<b>5,9</b>
- LKW	6,5	4,5
- Überseeschiff	1,7	1,2
- Binnenschiff	0,3	0,2
- Zug	0,1	<0,1
<b>Haushaltsphase</b>	<b>27,3</b>	<b>18,8</b>
- Gefriergerät	8,4	5,8
- Kühlschrank	7,7	5,3
- Elektroherd	7,0	4,8
- Lebensmitteleinkauf	4,2	2,9
<b>Gesamt</b>	<b>145,5<sup>16</sup></b>	<b>100<sup>17</sup></b>

Tab. 9: Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung nach Taylor (2000)

Bezüglich der Treibhausgas-Emissionen ergibt sich ein zum Primärenergieverbrauch vergleichbares Bild.

Ein Unterschied besteht darin, dass der Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* einen noch größeren Anteil ausmacht und dass die tierischen Erzeugnisse hier in noch höherem Maße zu den Treibhaus-Emissionen beitragen (zu ca. 65%). Dies liegt in der Tatsache begründet, dass in diesem Teilbereich die landwirtschaftliche Erzeugung mit eingeschlossen ist. Hier fallen zusätzlich zu den durch den Primärenergieverbrauch bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, Lachgas-

<sup>16</sup> Addition der Teilbereiche aufgrund von Rundungsdifferenzen größer als Gesamtemission.

<sup>17</sup> Addition der Prozentwerte aufgrund von Rundungsdifferenzen größer 100.

Emissionen und (in erster Linie durch Rinder verursachte) Methanemissionen<sup>18</sup> an, die, wie aus Tab. 1 ersichtlich, in hohem Maße zur globalen Erwärmung beitragen.

Ein weiterer Unterschied ist der, dass der Teilbereich *Stickstoff-Austrag* mit 6% ins Gewicht fällt und damit stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als die Teilbereiche *Transport* und *Verpackung*.

### **6.2.3 Studie: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen (Quack & Rüdener (2004), Öko-Institut)**

Bei Quack und Rüdener (2004) besteht, wie beschrieben, die Möglichkeit die Produktfelder „Lebensmittel“ und „Küche“ zum Bereich Ernährung zusammenzufassen. Das Produktfeld „Lebensmittel“ umfasst die Teilbereiche *Lebensmittelbereitstellung*, *Herstellung der Getränke* und *Herstellung der Verpackungen*. Im Produktfeld „Küche“ werden Herde, Geschirrspüler sowie Gefrier- und Kühlgeräte bilanziert. Der Teilbereich *Herstellung der Verpackungen* berücksichtigt neben der Herstellung ebenso die Entsorgung der Verpackungen. Unberücksichtigt bleibt aufgrund fehlender Datengrundlage die Außer-Haus-Verpflegung. Zudem können in der Kategorie *Herstellung der Getränke*, ebenfalls auf Grund fehlender Daten, folgende Getränke nicht berücksichtigt werden: Mineralwasser, Limonade, Wein und Schaumwein. Hier werden nur Bier sowie Frucht- und Gemüsesäfte bilanziert.

In dieser Betrachtung gelingt es nicht, ebenso wie bei Taylor, die klassischen Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung zu bilanzieren. Die Teilbereiche Landwirtschaft, Verarbeitung und Handel sind, mit Ausnahme der Verpackungen, in den Bereichen *Lebensmittelbereitstellung* und *Herstellung der Getränke* mit eingeschlossen. Verbraucheraktivitäten wie der Lebensmitteleinkauf werden im Produktfeld „Mobilität“ erfasst, und das Heizen von Küche und Essraum entfällt auf das Produktfeld „Haus und Wohnung“. Obwohl aus diesem Grund die Aussagekraft der Ergebnisse eingeschränkt ist, wird dennoch eine Betrachtung der im Rahmen dieser Untersuchung aufgeführten Teilbereiche vorgenommen. Der Teilbereich *Herstellung der Getränke* wird vereinfachend mit in dem Bereich *Lebensmittelbereitstellung* erfasst. Die Verkaufsverpackungen der Elektrogeräte in der Küche werden den Verpackungen zugerechnet.

---

<sup>18</sup> Die Methanemissionen sind in Deutschland zu etwa 93% auf die Rinderhaltung zurückzuführen (Umweltbundesamt, 2007a).

Aufgrund der Anschaulichkeit wird, trotz des fehlenden Bereichs des Lebensmitteleinkaufs, das Produktfeld „Küche“ (wie bei Taylor (2000)) als *Haushaltsphase* bezeichnet.

Die aus der Studie ersichtlichen Verbräuche und Emissionen werden, wie bei der Gesamtbetrachtung, auf Grundlage der Daten des Statistischen Bundesamtes (2006) auf Gesamtdeutschland hochgerechnet. Die Ergebnisse werden in Tab. 10 und 11 dargestellt.

Teilbereich	Primärenergieverbrauch [PJ/a]	Primärenergieverbrauch [%]
<b>Lebensmittelbereitstellung</b>	<b>676,4</b>	<b>48,1</b>
<b>Verpackung</b>	<b>158,5</b>	<b>11,3</b>
- Verpackungen Lebensmittel	130,8	9,3
- Verpackungen Küchengeräte	27,7	2,0
<b>Haushaltsphase</b>	<b>571,1</b>	<b>40,6</b>
- Gefriergerät	171,1	12,2
- Kühlschrank	141,5	10,1
- Herd	138,1	9,8
- Geschirrspüler	120,4	8,5
<b>Gesamt</b>	<b>1.406,0<sup>19</sup></b>	<b>100</b>

Tab. 10: Primärenergieverbrauch der Wertschöpfungskette Ernährung nach Quack und Rüdener (2004)

In Tab. 10 zeigt sich, wie zuvor bei Taylor, dass die meiste Primärenergie in dem Bereich, der die Landwirtschaft umfasst, benötigt wird. Der Teilbereich *Lebensmittelbereitstellung* beansprucht knapp die Hälfte der Primärenergie.

Es folgt die *Haushaltsphase*, die einen Anteil von gut 40% der Primärenergie verbraucht. In der Haushaltsphase sind die Gefrier- und Kühlgeräte die größten Verbraucher. Es folgen Herde (Elektro-, Gas- und Mikrowellenherde) und Geschirrspüler. Die *Verpackung* macht den mit Abstand geringsten Anteil am Primärenergieverbrauch aus.

<sup>19</sup> Addition der Teilbereiche aufgrund von Rundungsdifferenzen größer als Gesamtprimärenergieverbrauch von 1.403,6 PJ/a.

Teilbereich	Treibhausgas-Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq/a]	Treibhausgas-Emissionen [%]
<b>Lebensmittelbereitstellung</b>	<b>135,3</b>	<b>74,7</b>
<b>Verpackung</b>	<b>11,0</b>	<b>6,1</b>
- Verpackungen Lebensmittel	9,2	5,1
- Verpackungen Küchengeräte	1,8	1,0
<b>Haushaltsphase</b>	<b>34,8</b>	<b>19,2</b>
- Gefriergerät	10,5	5,8
- Kühlschrank	8,7	4,8
- Herd	8,5	4,7
- Geschirrspüler	7,1	3,9
<b>Gesamt</b>	<b>181,1<sup>20</sup></b>	<b>100</b>

Tab. 11: Treibhausgas-Emissionen der Wertschöpfungskette Ernährung nach Quack und Rüdener (2004)

Der Teilbereich *Lebensmittelbereitstellung* trägt mit einem Anteil von drei Vierteln zu den gesamten Treibhausgas-Emissionen im Ernährungssystem bei. Dieser im Vergleich zum Primärenergieverbrauch weitaus höhere Anteil ist wiederum auf die hohen Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen der Landwirtschaft zurückzuführen. Es folgt die *Haushaltsphase* mit einem Anteil von etwa einem Fünftel. Die wenigsten Treibhausgase emittiert der Teilbereich *Verpackung* mit einem Anteil von ca. 6%.

<sup>20</sup> Addition der Teilbereiche aufgrund von Rundungsdifferenzen kleiner als Gesamtemission von 181,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a.

## 7 Diskussion

Bevor ein Vergleich der einzelnen Studien untereinander vorgenommen wird, ist es wichtig, sich der Einschränkungen in der Vergleichbarkeit bewusst zu sein.

Die hier verwendeten Studien sind lediglich bedingt miteinander vergleichbar, da die Annahmen, die zur Berechnung des Systems getroffen wurden, teilweise erheblich voneinander abweichen.

So unterscheidet sich der zeitliche Bezug der Arbeiten. Dies hat zur Folge, dass zur Bilanzierung verwendete Daten, die in den Studien der frühen neunziger Jahre noch aktuell gewesen sind, um das Jahr 2000 bereits überholt waren. Wie bereits im vierten Kapitel erwähnt, sind die Treibhausgas-Emissionen gegenüber 1990 in erster Linie aufgrund von Brennstoffumstellung, erhöhter Energieeffizienz und gesteigerter technischer Wirkungsgrade gesunken. Der Einsatz effizienterer Maschinen und Geräte in der Produktion und der Verarbeitung von Lebensmitteln aber auch in der Haushaltsphase wirkt sich damit auf die Ergebnisse der einzelnen Bilanzen in den Studien aus. Auch die Faktoren zur Berechnung der Treibhausgas-Emissionen haben sich verändert. So verwendeten Kramer et al. (1994) ältere CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwerte als die Autoren der anderen Studien. Darüber hinaus schränken geänderte Verzehrgeohnheiten und ein andersartiger Gebrauch von Düngemitteln in der Landwirtschaft die Vergleichbarkeit der Studien ein. So sind seit 1990 sowohl die Tierbestände als auch der Verbrauch mineralischer Dünger rückläufig (vgl. Kap. 4). Dies hat abnehmende Treibhausgas-Emissionen in der Landwirtschaft und damit im Bereich Ernährung zu Folge.

Weiterhin unterscheidet sich die Art der Datenerhebung in den hier betrachteten Studien. So werden, je nach Studie, Daten anhand von Statistiken, Ernährungserhebungen oder aus der Literatur gewonnen.

Weitere Einschränkungen in der Vergleichbarkeit entstehen durch die unterschiedlichen Arten der Bilanzierung. Hier sind zum einen die Analyseinstrumente an sich zu nennen, zum anderen die Vereinfachungen, die innerhalb einer Bilanzierung vorgenommen werden. Aufgrund fehlender Daten werden bei der Bilanzierung häufig ganze Teilbereiche, wie etwa die Außer-Haus-Verpflegung,



außer Acht gelassen (vgl. Quack und Rüdener (2004)). Werden Bilanzen für Lebensmittel erstellt, so werden mangels entsprechender Daten vielfach einzelne Lebensmittel oder sogar Lebensmittelgruppen vernachlässigt. Des Weiteren werden oftmals weitergehende Vereinfachungen vorgenommen: Beispielsweise bilanziert Taylor (2000) den gesamten Bereich der Südfrüchte mit nur einer Obstart (der Orange) oder trifft die vereinfachende Annahme, dass sämtliche Gewächshausgemüse gleich dem Tomatenanbau im Gewächshaus bilanziert werden können.

Bei einer Gegenüberstellung der Studien wird die Aussagekraft der Ergebnisse durch die angesprochenen Faktoren geschmälert. Dennoch soll nachfolgend ein Vergleich vorgenommen werden.

Werden die Anteile des Bereichs Ernährung bezüglich des Primärenergieverbrauchs untereinander verglichen, so fällt auf, dass das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie dem Bereich Ernährung den weitaus größten Anteil zuspricht. Im Rahmen dieser Studie wird ausgesagt, dass der Bereich Ernährung etwa ein Fünftel der gesamten Primärenergie beansprucht. Der anhand der Studien von Taylor (2000) sowie von Quack und Rüdener (2004) ermittelte Beitrag des Ernährungsbereiches ist mit jeweils ca. 1.400 PJ/a lediglich halb so groß. In beiden Studien macht der Anteil der Ernährung am Gesamt-Primärenergieverbrauch jeweils etwa ein Zehntel aus. Diese starke Schwankungsbreite ist in erster Linie durch unterschiedlich gesetzte Systemgrenzen zu erklären. So wurde in der Studie des Wuppertal-Instituts der Staatsverbrauch dem privaten Nutzen in den entsprechenden gesellschaftlichen Bereichen zugeordnet. Außerdem wurde der Bereich Mobilität, der (unter anderem) in der Betrachtung nach Quack und Rüdener (2004) ein eigenes Kriterienfeld bildet und einen sehr hohen Teil an Primärenergie verbraucht, gänzlich auf andere gesellschaftliche Bereiche - und somit auch auf den Bereich Ernährung - umgelenkt.

Als weitere Gründe können die unterschiedliche Art der Bilanzierung (Input-Output-Energie-Analyse gegenüber Ökobilanz bzw. Stoffstromanalyse) und der unterschiedliche Bezugszeitraum angeführt werden. So betrachtet das Wupper-

tal-Institut das Jahr 1988 und berücksichtigt damit lediglich die gesellschaftlichen Aktivitäten der Personen in den alten Bundesländern.

Bezüglich der Treibhausgas-Emissionen ergibt sich ein ähnliches Bild. Auch hier weichen die anteiligen Belastungen, die durch den Bereich Ernährung entstehen, stark voneinander ab. Es fällt auf, dass Kramer et al. (1994) mit 21,8% der Ernährung den weitaus größten Anteil an den gesamten Treibhausgas-Emissionen zusprechen. Es folgen Quack und Rüdener (2004) mit 17,6%, Wiegmann et al. (2005) mit 16,3% und Taylor (2000) mit 13,5%.

Betrachtet man die Herangehensweise von Kramer et al. (1994) genauer, so wird ersichtlich, dass im Rahmen dieser Studie eine sehr detaillierte und umfassende Betrachtung der Ernährung vorgenommen wird. So erfolgt hier eine sehr ausführliche Untersuchung der ernährungsbezogenen Aktivitäten auf der Verbraucherseite. Diese Aktivitäten umfassen u. a. das Heizen des Küchen- und Essraumes und die Aktivitäten des Gastgewerbes. Diese Bereiche werden bei den Studien von Taylor (2000) sowie von Quack und Rüdener (2004) gänzlich vernachlässigt. Durch Addition der 34 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a, die durch diese beiden Aktivitäten in der Summe entstehen, und des nicht bilanzierten Lebensmitteleinkaufs (nach Kramer et al. (1994) und Quack & Rüdener (2004) 4,2 bzw. 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a) zu den 181 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a bei Quack und Rüdener (2004), erhielte man einen Anteil, der annähernd dem von Kramer et al. (1994) entspricht. Bei diesem Vorgehen würde der Bereich Ernährung mehr als 21% der gesamten Treibhausgas-Emissionen ausmachen.

Werden bei Taylor (2000) die oben erwähnten 34 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a und die dort unberücksichtigten Emissionen durch das Spülen (nach Kramer et al. (1994) und Quack & Rüdener (2004) ca. 7 - 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a) addiert, so erhöht sich der Anteil hier von 13,5% auf gut 17%.

Aus der Betrachtung von Wiegmann et al. (2005) geht nur teilweise hervor, welche Aktivitäten in die Betrachtung zur Errechnung des Gesamtanteils der Ernährung mit einfließen. Das Gastgewerbe und der Aufwand für die Raumwärme von Küche und Speisesaal werden jedoch berücksichtigt, so dass von einem gleich bleibenden Anteil von ungefähr 16% ausgegangen werden kann.

Bei den internationalen Studien ergibt sich für den Primärenergieverbrauch des Bereichs Lebensmittel ein recht einheitliches Bild. Hier liegen die Ergebnisse

verhältnismäßig eng beieinander. Sie variieren zwischen 17% und 18% der gesamten Primärenergieaufwendungen eines Haushalts. Da der kumulierte Energieaufwand der Haushalte unter dem gesamten Primärenergieverbrauch der einzelnen Staaten liegt, ist die Höhe des Primärenergieverbrauchs der Kategorie *Lebensmittel* gemessen am Gesamtenergieverbrauch eines Staates nicht zu ermitteln.

Beim Versuch, die Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung miteinander zu vergleichen, kommt zu den eingangs in der Diskussion angesprochenen Schwierigkeiten die Erschwernis hinzu, dass die Segmentierung der Teilbereiche unterschiedlich vorgenommen wurde. Bei Kramer et al. (1994) erfolgt eine Aufteilung in *Landwirtschaft, Verarbeitung, Handel* und *Verbraucher*. Bei Taylor (2000) wird der Bereich Ernährung in die Kategorien *Verbrauchte Lebensmittel, Stickstoff-Austrag, Verpackung, Transport* und *Haushaltsphase* unterteilt. Bei Quack und Rüdener (2004) lässt sich eine Gliederung in die Teilbereiche *Lebensmittelbereitstellung, Verpackung* und *Haushaltsphase* vornehmen.

Bei Taylor (2000) umfasst der Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* die Bereiche *Landwirtschaft* und *Verarbeitung*. Bei Quack und Rüdener (2004) sind im Teilbereich *Lebensmittelbereitstellung* die Teilbereiche *Landwirtschaft, Verarbeitung* und *Handel* (mit Ausnahme der *Verpackung*) mit eingeschlossen.

Bei einer Gegenüberstellung zeigt sich, dass die *Landwirtschaft* selbst bzw. die Teilbereiche, die die *Landwirtschaft* umfassen, sowohl den höchsten Bedarf an Primärenergie aufweisen als auch die meisten Treibhausgase emittieren; es folgt an zweiter Stelle die *Haushaltsphase*. Der *Handel* einschließlich *Verpackung* und *Transport* fällt bezüglich des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen stets mit weniger als 15% der Gesamtbelastung ins Gewicht.

Insbesondere bezüglich der Treibhausgas-Emissionen sticht die starke Dominanz der *Landwirtschaft* ins Auge. Bei Kramer et al. (1994) gehen mit über 135 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a ca. 52% der Gesamtemissionen auf die *Landwirtschaft* zurück. Bei Taylor (2000) sind es für *Landwirtschaft* und *Verarbeitung* zusammen ge-

nommen knapp 105 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a (*Stickstoff-Austrag* mit eingeschlossen). Nach Taylors Aufstellung des Ernährungssystems entspricht dies mehr als 70% der gesamten Treibhausgas-Emissionen.

Innerhalb dieses Bereiches entsteht der Großteil der Emissionen wiederum durch die Produktion tierischer Erzeugnisse. Bei Kramer et al. (1994) gehen 85% der Treibhausgase in der *Landwirtschaft* auf die Tierproduktion zurück; bei Taylor (2000) sind es im Teilbereich *Verbrauchte Lebensmittel* – rechnet man den Bereich *Stickstoff-Austrag* diesem Bereich hinzu – knapp 70%.<sup>21</sup>

Diese Ergebnisse bestätigen die Aussage von Koerber et al. (2004), dass durch den Verzehr tierischer Lebensmittel aufgrund von Veredelungsverlusten beträchtliche Mengen an Primärenergie verbraucht und demzufolge hohe Mengen an Treibhausgasen ausgestoßen werden. Hinzu kommt die bereits im vierten Kapitel angesprochene Problematik hoher Methan- und Lachgasemissionen, die zu ca. 50% auf die Tierhaltung zurückzuführen sind (Umweltbundesamt, 2006). Kramer et al. (1994) veranschaulichen die durch den Verzehr tierischer Nahrungsmittel entstehende Klimabelastung anhand einer Gegenüberstellung einer fleischhaltigen und einer fleischlosen Menükomponente. Sie errechneten für das Fleischgericht eine um mehr als den Faktor zehn höhere Klimabelastung. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen von Carlsson-Kanyama (1998), die vier unterschiedliche Mahlzeiten gleicher nutritiver Qualität hinsichtlich ihrer Treibhausgas-Emissionen untersucht. Sie ermittelt für die fleischhaltige Mahlzeit neunmal höhere Emissionen als für die vegetarische Variante.

Damit eröffnet sich in diesem Bereich das größte Einsparpotential. Kramer et al. (1994) beziffern das Einsparpotential durch den Übergang zu einer stärker pflanzlichen Nahrung auf rund 100 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr. Dies ist das mit Abstand größte Potential in der gesamten Wertschöpfungskette Ernährung.

Bei eingehender Untersuchung der Verbraucherseite bzw. der Haushaltsphase, zeigt sich, dass für das Heizen von Küchen- und Essraum nach Kramer et al. (1994) 24 Mio. t. CO<sub>2</sub>-Äq/a entstehen. Dies sind knapp 10% der gesamten Treibhausgas-Emissionen im Ernährungssektor. Es folgt der Bereich der Kühl-

---

<sup>21</sup> Hier wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die stickstoffhaltigen Treibhausgase aus Böden bzw. aus der Lagerhaltung von Düngemitteln stammen, die ausschließlich für die Produktion Futtermittel bestimmt waren.

geräte, der abhängig von der Studie mit etwa 240 respektive 310 PJ/a zu Buche schlägt bzw. für die Emission von 15 respektive 19 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a verantwortlich ist. Nachstehend folgen Herde und Geschirrspüler, die jeweils knapp halb so viel Primärenergie verbrauchen und Treibhausgase emittieren wie die Kühlgeräte. Für den Lebensmitteleinkauf ergibt sich kein einheitliches Bild. Werden bei Taylor (2000) etwas über 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a für den Einkauf von Lebensmitteln veranschlagt, so berechnen Kramer et al. 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a. Bei näherer Prüfung der Kalkulation beider Autoren wird der Grund der weit voneinander abweichenden Werte ersichtlich. So schätzen Kramer et al. (1994), dass 30 Mrd. km/a des Auto-Einkaufsverkehrs zulasten des Lebensmitteleinkaufs gehen. Dies ergibt bei ca. 80 Mio. Einwohnern 375 km pro Person und Jahr. Taylor (2000) veranschlagt hingegen mit einer Fahrdistanz von 184,6 km pro Person und Jahr weniger als die Hälfte dieser Strecke für den Lebensmitteleinkauf. Dies erklärt die in diesem Teilbereich deutlich geringeren Treibhausgas-Emissionen in der Studie von Taylor (2000).

In diesem Bereich besteht vor allem die Möglichkeit, durch effizientere Technik Primärenergie einzusparen und damit Treibhausgas-Emissionen zu vermindern. Kramer et al. (1994) geben, ausgehend vom Bezugsjahr 1991, auf der Verbraucherseite für einen Zeitraum von 20 - 30 Jahren folgende Einsparmöglichkeiten durch effizientere technische Verfahren an:

- Erhitzen, Spülen, Kühlgeräte, Gastgewerbe: 20%
- Raumwärme (Küchen-, Essraum): 30%
- Verbrauch PKW: 50%

Wie im vierten Kapitel angesprochen, hat die Verwendung effizienterer Technologien den Ausstoß von Treibhausgasen seit Anfang der neunziger Jahre reduziert. Inwieweit diese Einsparpotentiale bis zum heutigen Zeitpunkt im Einzelnen ausgeschöpft wurden, ist schwierig abzuschätzen. Eine weitere Preiserhöhung für Primärenergie sowie eine starke Forcierung des energiesparenden und damit klimaentlastenden Fortschritts auf allen Gebieten bieten jedoch Anknüpfungspunkte, wie die technischen Einsparmöglichkeiten voll ausgeschöpft werden können.

Der Bereich *Transport* bei Taylor (2000) als solcher gesondert erfasst, bei Kramer et al. (1994) dagegen im Teilbereich *Handel* aufgeführt. Beide Autoren er-

rechnen für diesen Bereich eine Belastung von rund 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a. Taylor (2000) schlüsselt diesen Teilbereich weiter auf und berechnet für die LKW-Transporte die bei weitem höchsten Belastungen bezüglich des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen. Dieses Ergebnis stimmt mit der von Hoffmann und Lauber (2001) gewonnenen Erkenntnis überein, dass der höchste Primärenergieverbrauch durch LKW-Lebensmitteltransporte entsteht. Der Transport mit dem Flugzeug wird von Taylor (2000) nicht berücksichtigt. Es sei darauf verwiesen, dass hier extreme Umweltbelastungen auftreten. So entstehen beim Übersee-Import pro kg Lebensmittel bis zu 170mal mehr klimarelevante Emissionen als beim Transport mit Seeschiffen (Koerber et al., 2004). In diesem Bereich kann der Verbraucher vor allem durch den Einkauf regionaler Produkte eine Minderung des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen bewirken. Neben der offensichtlichen Verkürzung der Transportwege benötigen regionale Produkte zugleich weniger Transportverpackungen und entlasten damit die Umwelt zusätzlich (Koerber et al., 2004; Koerber et al., 2007).

Für den Primärenergieverbrauch im Teilbereich *Verpackung* ermitteln Taylor (2000) ca. 105 PJ/a sowie Quack und Rüdener (2004) knapp 160 PJ/a. Im letzteren Fall fließen Verpackungen der Küchengeräte mit knapp 30 PJ/a ein. Im Hinblick auf die Treibhausgas-Emissionen schwanken die Werte etwa um den Faktor zwei (6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a bei Taylor (2000) gegenüber 13,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a bei Kramer et al. (1994)). Da die Angaben in den Studien nicht näher spezifiziert sind, kann der Unterschied im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer geklärt werden.

Möglichkeiten zur Reduktion in diesem Teilbereich liegen im Einkauf unverpackter oder möglichst gering verpackter Lebensmittel. Dies schließt die Vermeidung von Kleinstverpackungen (z.B. in der Gastronomie oder für Single-Haushalte) sowie die Berücksichtigung umweltschonend produzierter und (falls geeignet) im Mehrwegsystem verwendbarer Verpackungssysteme mit ein. Des Weiteren vermindert ein Verzicht auf stark verarbeitete Produkte, deren Zwischenprodukte beim Transport zum nächsten Verarbeitungsschritt verpackt werden müssen, die Umweltbelastung (Koerber et al., 2004; Koerber et al., 2007).

Der Teilbereich *Nahrungsmittelverarbeitung* wird lediglich bei Kramer et al. (1994) separat erfasst. Mit einer Treibhausgas-Emission von 15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq/a trägt dieser nur in geringem Maße zur Gesamtbelastung der Wertschöpfungskette Ernährung bei. Der Anteil beträgt nach Kramer et al. (1994) etwa 6%.

Verarbeitungsprozesse wie Erhitzung oder Verdampfung aber auch Trennvorgänge wie die Herstellung von isolierten Zuckern, Auszugsmehlen und Ölen, sind sehr energieaufwendig. In diesem Bereich können durch den Einkauf wenig oder gänzlich unverarbeiteter Produkte aufgrund der weitgehend hinfälligen Verarbeitungsschritte Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen deutlich gesenkt werden. Darüber hinaus trägt hier ein Verzicht auf Tiefkühlprodukte zur Umweltschonung bei (Koerber et al., 2004; Koerber et al., 2007).

## 8 Zusammenfassung

Bei der Auswertung unterschiedlicher Studien zeigt sich, dass der Bereich *Ernährung* einen bedeutenden Anteil am Primärenergieverbrauch und an den Treibhausgas-Emissionen hat. Wie hoch dieser Anteil im konkreten Fall ist, hängt in beträchtlichem Maße von den Annahmen ab, die zur Berechnung des Systems getroffen werden. Werden die Systemgrenzen entsprechend weit gezogen und sämtliche gesellschaftliche Aktivitäten, die mit dem Bereich *Ernährung* in Verbindung stehen (so auch diverse Staatsverbräuche), mit berücksichtigt, dann nimmt die *Ernährung* etwa ein Fünftel des gesamten Primärenergieverbrauchs in Deutschland ein. Betrachtet man allein die Teilbereiche landwirtschaftliche Produktion, Verarbeitung, Verpackung und Transport von Lebensmitteln sowie ihre Zubereitung und Lagerung in der Haushaltsphase, so fallen für die Ernährung etwa 10% der gesamten Primärenergie in Deutschland an. Hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen variiert der Anteil der Ernährung am bundesdeutschen Gesamtausstoß je nach Studie zwischen 13,5% und 21,8%. Werden auch die Aktivitäten mit erfasst, die in den entsprechenden Studien unberücksichtigt bleiben, so ist der Bereich *Ernährung* zu mindestens rund 16% an den klimarelevanten Gesamtemissionen beteiligt (16,3% - 21,8%).

Betrachtet man die Teilbereiche der Wertschöpfungskette Ernährung, so zeigt sich, dass in den Bereichen, die die landwirtschaftliche Produktion mit einschließen (*Verbrauchte Lebensmittel, Lebensmittelbereitstellung*), der Bedarf an Primärenergie am größten ist. Bei einer genaueren Analyse stellt sich heraus, dass hier die Tierproduktion den maßgeblichen Anteil der Primärenergie benötigt. Es folgt die *Haushaltsphase*, in der im besonderen Maße die Kühlgeräte, gefolgt von Herden und Geschirrspülern, Primärenergie verbrauchen. Die Teilbereiche *Verpackung* und *Transport* haben den geringsten Primärenergiebedarf in der Wertschöpfungskette Ernährung.

Werden die Teilbereiche des Ernährungssystems im Hinblick auf ihre Treibhausgas-Emissionen untersucht, so zeigt sich auch hier, dass der Teilbereich *Landwirtschaft* respektive die Teilbereiche, die die Landwirtschaft umfassen (*Verbrauchte Lebensmittel, Lebensmittelbereitstellung*), die bedeutendsten Emittenten von Treibhausgasen sind. Der weitaus größte Anteil ist wiederum durch die Erzeugung tierischer Produkte zu erklären. Es folgt die Seite der



*Verbraucher* (einschließlich der *Haushaltsphase*), auf der vor allem durch das Heizen von Küchen- und Essraum, aber auch durch den Betrieb von Kühlgeräten, Herden und Geschirrspülern sowie durch die Aktivitäten des Gastgewerbes und den Lebensmitteleinkauf Treibhausgase ausgestoßen werden. Aufgrund des relativ geringen Primärenergieverbrauchs in den Teilbereichen *Transport* und *Verpackung* (bei Kramer et al. (1994) im Bereich *Handel* mit aufgeführt), entstehen in diesen anteilmäßig wenig Treibhausgase. Auch die *Verarbeitung* von Lebensmitteln trägt nur in geringem Umfang zu den gesamten Treibhausgas-Emissionen des Ernährungssystems bei.

In allen Teilbereichen der Wertschöpfungskette Ernährung hat der Verbraucher die Möglichkeit, mehr oder minder effektiv Primärenergie und damit Treibhausgas-Emissionen einzusparen. Vor allem durch die Bevorzugung pflanzlicher Lebensmittel aber auch durch eine gezielte Auswahl umweltfreundlich erzeugter, verarbeiteter, verpackter, vermarkteter und zubereiteter Lebensmittel trägt er wesentlich zum Erhalt nicht erneuerbarer Energieträger und damit zur Umweltschonung bei.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> An dieser Stelle sei auf die Arbeit von Agnes Goebel verwiesen, in deren Rahmen eine detaillierte Betrachtung von Ansatzpunkten und Handlungsempfehlungen für den Klimaschutz im Bereich Ernährung vorgenommen wird.

## 9 Literaturverzeichnis

**AGEB Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen** (2006): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990-2005

**Baiocchi G, Minx J, Barretz J, Wiedmann T** (2006): The Impact of Social Factors and Consumer Behaviour on the Environment – an Input-output Approach for the UK. [http://www.iioa.at/pdf/Intermediate-006/Full%20paper\\_Baiocchi.pdf](http://www.iioa.at/pdf/Intermediate-006/Full%20paper_Baiocchi.pdf), Stand: 09/2007

**Biesiot W, Noorman KJ** (1999): Energy requirements of household consumption: a case study of The Netherlands. *Ecological Economics* 28, 367-383, 1999

**Carlsson-Kanyama A** (1998): Climate Change and dietary choices – how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23, No. 3/4, 277-293

**Energy.eu** (2007): Europe's Energy Portal – Dictionary. <http://www.energy.eu>, Stand 09/2007

**Hoffmann I, Lauber I** (2001): Gütertransporte im Zusammenhang mit dem Lebensmittelkonsum in Deutschland. Teil II: Umweltauswirkungen anhand ausgewählter Indikatoren, *Z Ernährungsökologie* 2 (3), 187-93

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** (2007a): Climate Change 2007: The physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Forth Assessment Report – Summary for Policymakers. IPCC Secreteriat, Genf

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** (2007b): Climate Change 2007: Impacts, Adaption and Vulnarability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Forth Assessment Report – Summary for Policymakers. IPCC Secreteriat, Genf

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** (2007c): Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report – Summary for Policymakers. IPCC Secretariat, Genf

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** (2007d): Climate Change 2007: The physical Science Basis. Working Group I Report – Chapter 2 Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. IPCC Secretariat, Genf

**Jungbluth N** (1998): Working Paper 18: Ökologische Beurteilung des Bedürfnisfeldes Ernährung. Arbeitsgruppen – Methoden – Stand der Forschung – Folgerungen. Departement für Umweltnaturwissenschaften Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

**Jungbluth N** (2000): Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Ökobilanz. Dissertation, Departement für Umweltnaturwissenschaften Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Verlag dissertation.de

**Koerber Kv, Kretschmer J, Schlatzer M** (2007): Ernährung und Klimaschutz – Wichtige Ansatzpunkte für verantwortungsbewusstes Handeln, aid-ernährung im fokus 7 (5), 130-137

**Koerber Kv, Männle T, Leitzmann C** (2004): Vollwert-Ernährung: Konzeption einer zeitgemäßen und nachhaltigen Ernährung. Haug Verlag, Stuttgart

**Kramer KJ, Moll HC, Nonhebel S, Wilting HC** (1998): Greenhouse gas emissions related to Dutch food consumption. Energy Policy 27, 203-216

**Kramer I, Müller-Reißmann KF, Schaffner J, Bossel H, Meier-Ploeger A, Vogtmann H** (1994): Landwirtschaft und Ernährung. Veränderungstendenzen im Ernährungssystem und ihre klimatische Relevanz. Teil B. In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Sachsenhagen

**Loske R, Bleischwitz R u.a.** (1997), Hrsg.: Bund Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) und Misereor. Zukunftsfähiges Deutschland – Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin

**Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.)** (2005): Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten? Eigenverlag, München

**Mwandosya MJ** (2000): Survival Emissions: A Perspective from the South on Global Climate Change negotiations. CEEEST, The Centre for Energy, Environment Science and Technology, Dar-Es-Salaam

**Patyk A, Reinhardt GA** (1997): Düngemittel-, Energie, und Stoffstrombilanzen. Vieweg Verlag, Braunschweig

**Pimentel D, Pimentel M** (1996): Food, Energy, and Society; Revised Edition. University Press of Colorado, Niwot, Colorado

**Quack D, Rüdener I** (2004): Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen. Energie- und Stoffströme der privaten Haushalte in Deutschland im Jahr 2001. Öko-Institut Freiburg, Freiburg

**Rahmstorf S** (2006): Fact Sheet zum Klimawandel. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

**Reinders AHME, Vringer K, Blok K** (2003): The direct and indirect energy requirement of households in the European Union. Energy Policy 31, 139-153

**Statistisches Bundesamt (Hrsg.)** (2004): Statistisches Jahrbuch 2004 für die Bundesrepublik Deutschland, Eigenverlag, Wiesbaden

**Statistisches Bundesamt (Hrsg.)** (2005): Statistisches Jahrbuch 2005 für die Bundesrepublik Deutschland, Eigenverlag, Wiesbaden

**Statistisches Bundesamt (Hrsg.)** (2006): Statistisches Jahrbuch 2006 für die Bundesrepublik Deutschland, Eigenverlag, Wiesbaden

**Taylor C** (2000): Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand ausgewählter Indikatoren. Dissertation, Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement, Justus-Liebig-Universität Gießen

**Umweltbundesamt (Hrsg.)** (2007a): Nationaler Inventarbericht zum Treibhausinventar 1990 – 2005, Dessau

**Umweltbundesamt** (2007b): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990-2005, Treibhausgase und klassische Luftschadstoffe, inkl. Erweiterte Auswertung und Äquivalentemissionen der Treibhausgase;  
<http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm>, Stand 09/2007

**UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)**

(2006): GHG Data 2006, Highlights from Greenhouse Gas (GHG) Emissions Data for 1990-2004 for Annex I Parties.

[http://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/ghg\\_booklet\\_06.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/ghg_booklet_06.pdf), Stand 09/2007

**Vringer K, Blok K** (1995): The direct and indirect energy requirements of households in the Netherlands. Energy Policy 23, No. 10, 893-910

**Weber C, Perrels A** (2000): Modelling lifestyle effects on energy demand and related emissions. Energy Policy 28, 549-566

**Wiegmann K, Eberle U, Fritsche UR, Hünecke K** (2005): Diskussionspapier Nr. 7: Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien. Öko-Institut Freiburg/BMBF-Forschungsprojekt „Ernährungswende“, Darmstadt/Hamburg