

UGR-Online-Publikation

# **Umweltökonomische Analysen im Bereich der Energie**

Anforderungen aus Sicht der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen

Helmut Mayer

Wiesbaden, August 2006

Statistisches Bundesamt  
Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR)

## 1. Vorbemerkung

In den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) wird die Nutzung von Umweltfaktoren in Zusammenhang mit den ökonomischen Aktivitäten der Haushalte und Produktionsbereiche dargestellt. Die Umweltfaktoren werden einerseits bei der Produktion von Waren und Dienstleistungen, andererseits durch Private Haushalte in Zusammenhang mit deren Konsumaktivitäten genutzt.

Die Darstellung der Nutzung der Umweltfaktoren erfolgt vorzugsweise im Rahmen von Gesamtrechnungsdaten. Zu den Gesamtrechnungsdaten zählen die Darstellungen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) einschließlich der Input-Output-Rechnung (IOR) sowie dessen Satellitensysteme Umweltökonomische (UGR) und Sozioökonomische (SGR) Gesamtrechnungen<sup>1</sup>. In den UGR wird eine systematische Verknüpfung von Basisdaten bezüglich der Nutzung von Umweltfaktoren, wie beispielsweise zur Nutzung von Energieträgern, Rohstoffen, Wasser und Fläche und zu den Emissionen wie den Luftschadstoffen und Treibhausgasen, mit den Angaben aus den VGR und SGR zu den ökonomischen Aktivitäten der Wirtschafts- bzw. Produktionsbereiche und der Privaten Haushalte durchgeführt.

Diese Verknüpfung bezweckt zum einen die Berechnung und Darstellung höher aggregierter Angaben – von Umweltindikatoren - zum Ausmaß und zur zeitlichen Entwicklung der Umweltnutzung auf gesamtwirtschaftlicher Ebene oder auf der Ebene der Darstellungseinheiten der VGR bzw. SGR. Zum anderen werden auf der Grundlage von UGR-Daten weiter führende Analysen durchgeführt, die insbesondere Aufschluss über die verursachenden wirtschaftlichen Aktivitäten der Umweltbelastung ermöglichen und Ansatzpunkte für die Formulierung und Simulation umweltpolitischer Maßnahmen bieten sollen.

Im Folgenden soll nicht näher auf die Kennziffern und Analysen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene – wie beispielsweise die Berechnung und Beobachtungen der Umweltindikatoren im Rahmen der Nachhaltigkeitspolitik der Bundesregierung – eingegangen werden<sup>2</sup>. Es wird vielmehr näher ein Teilbereich der UGR – der Umweltbereich Energie - ausgewählt und die hierzu durchgeführten Analysen der UGR vorgestellt. In Abschnitt 2 wird zunächst die grundsätzlich zu treffende Entscheidung hinsichtlich der Darstellungseinheiten bei der Analyse der Umweltnutzung in der Produktion erörtert. In Abschnitt 3 wird insbesondere auf die energetische Input-Output Analyse eingegangen, Probleme bei deren Anwendung aufgezeigt, Anforderungen in Hinblick auf die Analyseziele definiert und Möglichkeiten zu deren Verbesserung aufgezeigt.

---

<sup>1</sup>Siehe S. Seibel: Nutzung von Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen für die Berichterstattung und Analyse im Rahmen der Nachhaltigkeits-Strategie; UGR-Online-Publikation, Wiesbaden, August 2005

<sup>2</sup> Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Online Publikation, Berlin 2002

<http://www.bundesregierung.de/Politikthemen/Nachhaltige-Entwicklung-,11409/Die-Nachhaltigkeitsstrategie-d.htm>

Zur Nachhaltigkeitsberichterstattung siehe K. Schoer: Nachhaltige Entwicklung messbar machen in: Die Zukunft der Erde – Was verträgt unser Planet noch? Hrsg. Von E.-P. Fischer und K. Wiegandt, Frankfurt 2005 (Verlag S. Fischer).

## 2. Analyse der Umweltnutzung in der Produktion – institutionelle versus funktionale Abgrenzung der Akteure

Bei den Berechnungen und Darstellungen der Umweltnutzung auf sektoraler Ebene – das ist die Ebene der produzierenden Bereiche und der Haushalte - kann zwischen der Berechnung von sektoralen Indikatoren und weitergehenden Analysen unterschieden werden<sup>3</sup>:

- Branchenspezifische (gemischte) Indikatoren, z.B. spezifischer Energieverbrauch, Effizienzindikatoren (Umweltintensitäten, Produktivitäten).
- Dekompositionsanalyse: Erklärung der zeitlichen Entwicklung eines Indikators aus der Entwicklung seiner Einflussfaktoren, z.B. Rückführung der Emissionsentwicklung auf Effizienzsteigerung, Wirtschaftsstrukturentwicklung, allgemeine Nachfrageentwicklung usw.
- Input-Output-Analyse: Verknüpfung der in physischen Einheiten vorliegenden Daten zur Umweltbelastung mit monetären oder physischen Input-Output-Tabellen aus den VGR zur Berechnung so genannter kumulierter Effekte. Dies bedeutet dass neben der direkten Umweltbelastung (z.B. direkter Energieverbrauch einer Branche) auch die indirekte Belastung (Berücksichtigung z.B. der Energieeinsätze in allen vorgelagerten Produktionsstufen) mit einbezogen wird.
- Nutzung der Daten in multi-sektoralen ökonomischen Modellierungsansätzen zur Aufstellung von Szenarien mit einer integrierten Betrachtung der Entwicklung von Umweltvariablen und der Variablen zur wirtschaftlichen Entwicklung.

Bei der Analyse der Nutzung der Umwelt im Rahmen der Produktion ist eine grundsätzliche Entscheidung zu treffen, ob diese Analyse für die funktional abgegrenzten Produktionsbereiche – den Darstellungseinheiten in den Input-Output-Tabellen (IOT) – oder für die institutionell abgegrenzten, d.h. auf Unternehmensangaben basierenden, Wirtschaftsbereiche durchgeführt werden soll. Bei dieser Entscheidung sind sowohl Aspekte der Analysezwecke als auch Fragen der Datenverfügbarkeit zu berücksichtigen.

Grundsätzlich sollte die Nutzung der Umweltfaktoren in engem Zusammenhang mit bestimmten wirtschaftlichen Aktivitäten, d.h. mit der Produktion bestimmter Waren und Dienstleistungen gezeigt werden, insbesondere um spezifische Umweltbelastungen, die in Zusammenhang mit der Produktion bestimmter Güter oder mit bestimmten Produktionsprozessen stehen, genauer untersuchen und explizit darstellen zu können. Beispielsweise ist die Stromerzeugung durch eine hohe Nutzungsintensität von Umweltfaktoren, wie den Einsatz von Wasser und Rohstoffen (Primärenergieträger) und die Emission von Luftschadstoffen und Klimagasen gekennzeichnet, und die Umweltnutzung sollte unabhängig von der Zugehörigkeit zu einem bestimmten Unternehmen explizit dargestellt werden.

Die maßgebliche Klassifikation der Produktionsprozesse bzw. der wirtschaftlichen Tätigkeiten ist die Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen in der Europäischen Gemeinschaft (CPA)<sup>4</sup>. Diese fachliche Abgrenzung und Klassifikation liegt auch der Abgrenzung der Produktionsbereiche in den IOT des Statistischen Bundesamtes zugrunde. Die IOT enthalten neben der Darstellung des Einsatzes von Gütern im Produktionsprozess und der Verwendung der Güter in der Endverwendung auch die benötigten ökonomischen Bezugsgrößen wie den Produktionswert und die Bruttowertschöpfung der Produktionsbereiche. Im Folgenden wird darauf eingegangen, ob die verfügbare Gliederungstiefe der IOT für die Analyse der Umweltnutzung ausreichend ist

---

<sup>3</sup> S. S. Seibel a.a.O., S.10.

<sup>4</sup> Die Darstellung der Umweltnutzung auf europäischer Ebene im Rahmen von NAMEA= National Accounting Matrices Including Environmental Accounts basiert ebenfalls auf der fachlich ausgerichteten CPA-Abgrenzung.

bzw. welche Probleme eine unzureichende Gliederungstiefe gegenwärtig bei den durchgeführten Analysen aufwirft.

Bezüglich der ökonomischen Bezugsgrößen wären alternativ zu den Angaben für Produktionsbereiche auch Angaben aus der „Entstehungsrechnung“ des BIP für Wirtschaftsbereiche verfügbar. Allerdings wäre aus den genannten Gründen die Aussagefähigkeit der Indikatoren wegen der fehlenden Homogenität der Bereiche eingeschränkt und insbesondere weitere Analysemöglichkeiten beispielsweise im Rahmen der Input-Output-Analyse verschlossen, da in den IOT des Statistischen Bundesamt ein funktionales Konzept – basierend auf den Angaben für Produktionsbereiche - verfolgt wird.

Bei der Berechnung gemischter Indikatoren und für weiter gehende Analysen sind jedoch nicht nur die Verfügbarkeit der ökonomischen Bezugsgrößen von Bedeutung, sondern auch für welche Darstellungseinheiten die Erfassung der Umweltfaktoren – in den amtlichen und anderen Erhebungen - erfolgt. Die amtlichen Energie-, Wasser- und Umweltstatistiken im Produzierenden Gewerbe basieren auf den Angaben von Betrieben. Die Betriebe sind durch ein unterschiedliches Ausmaß an Haupt- und Nebentätigkeiten gekennzeichnet. Mit Haupttätigkeiten sind die Tätigkeiten gemeint, die die wirtschaftssystematische Zuordnung des Betriebes bestimmen. Nebentätigkeiten sind die Tätigkeiten, die der Betrieb darüber hinaus - auf dem Markt oder zur Weiterverarbeitung im selben Betrieb – durchführt. Idealerweise wären die Umweltfaktoren entsprechend der tatsächlichen Nutzung der Umweltfaktoren den verschiedenen Aktivitäten des Betriebs, d.h. den verschiedenen Haupt- und Nebentätigkeiten, zuzuordnen. In den amtlichen Statistiken werden die Betriebe allerdings hinsichtlich ihrer Umweltnutzung nicht in fachliche Einheiten zerlegt, sondern in ihrer Gesamtheit - entsprechend dem Schwerpunkt der wirtschaftssystematischen Tätigkeiten – einem bestimmten Produktionsbereich zugeordnet. Dadurch wird eine rein fachliche Zuordnung der Umweltnutzung nicht vollständig erreicht.

Zu erwähnen ist, dass die Betriebe neben den Haupt- und Nebentätigkeiten auch Hilfstätigkeiten ausüben. Bei diesen Tätigkeiten handelt es sich um Dienstleistungen, beispielsweise von Kommunikationsleistungen die in der Regel die Haupttätigkeiten unterstützen und nicht getrennt fakturiert werden. Diese Tätigkeiten werden in den Primärstatistiken und den VGR nicht getrennt dargestellt. Von besonderer Bedeutung hinsichtlich der Umweltnutzung – beispielsweise in Hinblick auf den Energieverbrauch und die Luftschadstoffe - sind insbesondere die Gütertransportleistungen im Werksverkehr der Industrie und des Handels. Bei der Darstellung und Analyse der verkehrsbedingten Umweltnutzung ist es erforderlich, diese Aktivitäten getrennt zu erfassen und diese dem Verkehrssektor zuzuordnen. Eine umweltökonomische Analyse des Sektors Verkehr erfordert eine Betrachtung der verkehrsverursachenden Faktoren<sup>5</sup>. Dabei werden neben Angaben zu den transportierenden Bereichen zusätzliche Angaben über die Art der transportierten Güter benötigt.

---

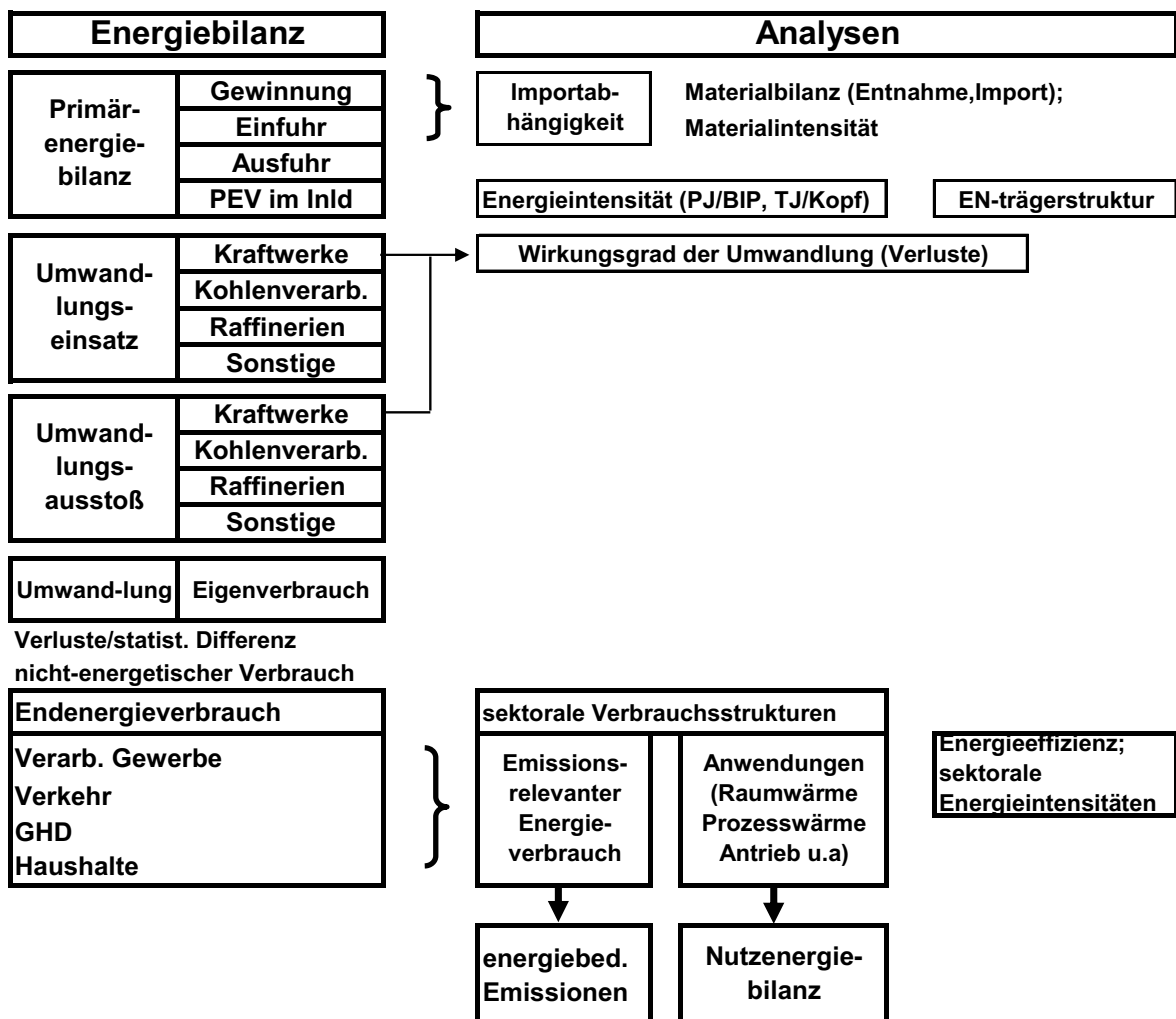
<sup>5</sup> Eine Analyse des Sektors Verkehr im Rahmen von Gesamtrechnungsdaten wurde von W. Adler durchgeführt: W. Adler: Integrierte umweltökonomische Analyse des Sektors Verkehr unter Einbeziehung der wichtigsten Nachhaltigkeitsindikatoren; UGR-Online-Publikation, Wiesbaden – Juli 2005.

### 3. Umweltökonomische Analysen der Energienutzung

#### 3.1 Deskriptive Kennziffern zum Energieverbrauch

Eine Vielzahl deskriptiver Analysen kann bereits anhand der nationalen Energiebilanz durchgeführt werden. Die Energiebilanz enthält umfassende und detaillierte Angaben zu Aufkommen und Verwendung von Energieträgern. Auf Basis dieser Angaben können wichtige Informationen zur Entwicklung und Zusammensetzung des Primärenergieverbrauchs im Inland nach Energieträgern, zur Nutzung von Endenergie in den einzelnen Verbrauchsbereichen (Sektoren) und zur Bedeutung der einzelnen Energieträger in den einzelnen Verbrauchsbereichen gewonnen werden. Die Energiebilanz ermöglicht darüber hinaus die Berechnung wichtiger Kennziffern beispielsweise zur Energieintensität der gesamten Volkswirtschaft und einzelner Sektoren, zur Importabhängigkeit der Energieversorgung und zu den Umwandlungsverlusten und Wirkungsgraden bei der Energieumwandlung. Sie ist darüber hinaus Basis für weiterführende Analysen, beispielsweise zur Verwendung von Energie als Nutzenergie in den einzelnen Anwendungsbereichen von Energie (Raumwärme, mechanischer Antrieb, Prozesswärme, Beleuchtung, u.a.). Eine weitere wichtige Anwendung stellt die Berechnung von energiebedingten Emissionen und die darauf aufbauenden Berechnungen von Luftemissionen, z.B. von Kohlendioxidemissionen, dar.

**Schaubild 1: Energiebilanz und Analysen zu Energie**



Die Angaben aus der Energiebilanz stellen für die Berechnungen und Darstellungen der Energienutzung im Rahmen der UGR eine wichtige Datengrundlage dar. Die Nutzung von Energie wird in den UGR auf folgende Art und Weise dargestellt und analysiert:

- Verwendung von Energie nach Produktionsbereichen und Energieträgern (einschl. Energie zur Umwandlung)
- Verwendung von Energie in den Privaten Haushalten nach Anwendungsbereichen; Energieverbrauch der Haushalte nach Haushaltsgrößen; Berechnung des temperaturbereinigten Energieverbrauchs der Haushalte
- Verwendung von Primärenergie nach Produktionsbereichen und Privaten Haushalten
- Berechnung von gesamtwirtschaftlichen Angaben zur Energieproduktivität und der Energieproduktivität bzw. der Energieintensität der Produktionsbereiche
- Dekompositionsanalysen
- Energetische I/O-Analysen: Berechnung des kumulierten Energieaufwands nach Produktionsbereichen und Gütergruppen und nach den Kategorien der Endverwendung von Gütern einschl. Berechnung einer erweiterten Außenhandelsbilanz für Energie

Ein wesentliches Analyseziel der UGR liegt in der Darstellung des Energieverbrauchs nach einzelnen Bereichen – den Produktionsbereichen und den Privaten Haushalten – und der Berechnung von Energieproduktivitäten und ihrer Änderung im Zeitablauf. Darüber hinaus wird im Rahmen der energetischen I/O-Analyse neben dem Energieverbrauch im Inland, auch der Energieeinsatz geschätzt, der zur Herstellung von importierten Gütern benötigt wird. Beide Größen – der tatsächliche inländische Energieeinsatz in der Produktion und der geschätzte zusätzliche Energieeinsatz bei der Herstellung von Importgütern – werden bei dieser Analyse den Endnachfragegütern und Kategorien (Konsum, Investition, Export) zugerechnet. Die Einbeziehung der importierten Güter in die Analyse ermöglicht die Berechnung von Energieintensitäten in Bezug auf die Endnachfrage, z.B. auf die gesamte Energieintensität der Konsumnachfrage und ihre Veränderung im Zeitablauf. Sie ermöglicht auch wichtige Erkenntnisse über die Bestimmungsfaktoren der Energienachfrage im Inland. Beispielsweise kann die Substitution von im Inland hergestellten Konsumgütern, beispielsweise von Kraftfahrzeugen, durch importierte Güter die Energienachfrage im Inland – und damit die Umwelt – entlasten. Auch der entgegen gesetzt wirkende Effekt, eines erhöhten Ressourcenverbrauchs im Inland auf Grund wachsender Exporte und einer damit verbundenen erhöhte Umweltbelastung im Inland, kann analysiert werden. Mit Hilfe der ermittelten Größen bezüglich des Energieverbrauchs bei der Herstellung von Import- und Exportgüter kann eine erweiterte Außenhandelsbilanz für Energie erstellt werden, die neben den Angaben zu den direkten Importen und Exporten von Energieträgern – vergleichbar gemessen anhand ihres Energiegehalts (Joule) – auch den geschätzten – indirekten – Energiegehalt der Import- und Exportgüter enthält.

Bei der Darstellung des Energieverbrauchs nach einzelnen Bereichen und der Berechnung von Energieproduktivitäten nach Produktionsbereichen, als auch bei der weiteren energetischen I/O-Analyse sind bestimmte Anforderungen zu beachten.

Hinsichtlich des Energieverbrauchs der Produktionsbereiche ist auf eine vollständige, jedoch doppelzählungsfreie Berechnung zu achten. Der gesamte Energieverbrauch im Inland ist durch den Verbrauch an „Primärenergie“ charakterisiert. Dieser enthält den gesamten – Inlandsverbrauch - von Primärenergieträgern, als auch den Verbrauch von eingeführten Sekundärenergieträgern. Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch von im Inland hergestellten Sekundärenergieträgern, wie z.B. von Elektrizität, nicht zusätzlich zu den bei ihrer Erzeugung eingesetzten Primärenergieträgern verbucht wird. Auch der Aufwand an Primärenergie bei der Herstellung von eingeführten Sekundärenergieträgern bleibt außer Betracht. Der Primärenergieverbrauch enthält damit jedoch auch die Verluste bei der Energieumwandlung, insbesondere in den Kraftwerken, und bei der Gewinnung und Verteilung der Sekundärenergieträger. Im Primärenergieverbrauch ist neben der

energetischen Verwendung der Energieträger auch die nicht-energetische Verwendung von Energie, z.B. als Rohstoff in der Chemie, enthalten.

Bei der Berechnung des Energieverbrauchs nach Produktionsbereichen und Privaten Haushalte (Inlandsverbrauch) wird der Primärenergieverbrauch nach einzelnen Bereichen ermittelt. Dies erfolgt durch Abzug des Umwandlungseinsatzes vom gesamten Energieverbrauch – also sowohl des Verbrauchs von Primär- als auch von Sekundärenergieträgern – der Bereiche. Diese Saldierung wird bei den Umwandlungsbereichen – den Kraftwerken, Raffinerien, Brikettfabriken, Kokereien – vorgenommen. Die so ermittelte Verbrauchsgröße ist hinsichtlich der Bereiche außerhalb der Umwandlungsbereiche damit identisch mit dem – in den Energiebilanzen für die einzelnen Sektoren nachgewiesenen - Endenergieverbrauch dieser Bereiche.

Bei den Umwandlungsbereichen enthält die Verbrauchsgröße sowohl den Eigenverbrauch der Bereiche als auch die Umwandlungsverluste bei der Umwandlung. Die so ermittelte Verbrauchsgröße ist sowohl für die Ermittlung von Verbrauchsanteilen, als auch bei der Berechnung von Produktivitäten für die Umwandlungsbereiche ungeeignet, da sie keinen Energieverbrauch im Sinne von Energienutzung darstellt. Bei der Berechnung von Produktivitäten für Umwandlungsbereiche ist daher die Bezugnahme auf technische Umwandlungsrelationen, wie z.B. dem Wirkungsgrad der Energieumwandlung, sinnvoller. Wegen dieser Unzulänglichkeiten wird in den UGR der Primärenergieverbrauch nach Bereichen zusätzlich zu dem oben skizzierten Konzept nach einem alternativen Konzept berechnet. Dabei werden die Umwandlungsverluste und der Eigenverbrauch der Kraftwerke und der Heizwerke – die mit Abstand bedeutendsten Umwandlungsbereiche mit hohen Umwandlungsverlusten– verursachergerecht – anteilig den Endverbrauchern von Elektrizität und Fernwärme zugerechnet. Die so ermittelten Verbrauchsanteile ermöglichen einen besseren Einblick in den tatsächlich verursachten Verbrauch von Primärenergie durch die Endverbraucher.

### **3.2 Energetische I/O-Analyse**

Durch Kombination der Angaben zum Primärenergieverbrauch der Produktionsbereiche mit den Input-Output Tabellen und der damit berechneten Leontief-Inverse kann eine Zurechnung des Energieverbrauchs in der inländischen Produktion zur Endnachfrage vorgenommen werden und zwar in der Unterteilung nach Gütergruppen und nach den Endnachfragekategorien (Konsum, Investition, Export). Außerdem kann eine Bestimmung des gesamten Energieverbrauchs vorgenommen werden. Dieser enthält nicht nur den Energieverbrauch bei der Herstellung der im Inland gefertigten Güter, sondern auch den Energieverbrauch zur Herstellung der Importgüter unter der Annahme, dass diese Güter mit der inländischen Produktionstechnik hergestellt werden. Mit diesen Angaben und der Dekompositionsanalyse können die Bestimmungsfaktoren (driving forces) für den Energieverbrauch umfassend analysiert werden. Beispielsweise ermöglichen diese Analysen auch Abschätzungen darüber, inwieweit eine Substitution von inländischen Erzeugnissen durch Importe – und zwar sowohl von Vorleistungsgütern als auch von Gütern der Endnachfrage – den Ressourceneinsatz im Inland reduzieren und damit die Umwelt im Inland entlasten.

Bei der energetischen I/O-Analyse können zwei Modelltypen verwendet werden:  
- Modelle auf Basis der rein monetären IOT mit Ankopplung der Umweltnutzung, z.B. der Energieinputs und  
- gemischte I/O-Modelle: monetäre IOT mit partieller Ersetzung von monetären Angaben durch physische Angaben zur Energieverwendung und Energieaufkommen.  
Die Modelle können jeweils auf Basis von Input- oder Output-Koeffizienten spezifiziert werden.

In den UGR wurde ein Berechnungsmodell auf Basis der monetären IOT mit Output-Koeffizienten implementiert, in dem die verschiedenen Umweltinputs – Energie, Wassereinsatz, Flächenverbrauch, Kohlendioxid-Emissionen – mit der Absatzverflechtung verknüpft und kumulierte Angaben für Produktionsbereiche bzw. Endnachfragekategorien berechnet werden können. Die Berechnungen erfolgen in der Gliederungstiefe der IOT des Statistischen Bundesamtes, d.h. für 71 Produktionsbereiche.

Die Modelle gehen im Allgemeinen von der Annahme der **Homogenität der Produktionsbereiche** in Bezug auf die Produktionsverhältnisse aus. Die Homogenität der Produktionsbereiche kann durch die in den Produktionsbereichen hergestellten Güter oder die Produktionstechniken bestimmt werden. Die Homogenität der Produktionsbereiche in Bezug auf ein Güterspektrum wird durch die Gliederungstiefe beeinflusst: je enger das vorgegebene Güterspektrum, desto größer die Anzahl der Produktionsbereiche und desto homogener die Produktionsbereiche. Allerdings können selbst Produktionsbereiche mit einem ganz begrenzten Güterspektrum sehr verschiedene Produktionstechniken aufweisen, wie z.B. bei der Herstellung von Elektrizität, die in sehr unterschiedlichen Kraftwerkstypen mit sehr unterschiedlicher Kostenstruktur (Input-Struktur) und unter Einsatz sehr verschiedener Energieträger hergestellt werden kann.

Unterschiedliche Kostenstrukturen spiegeln sich verwendungsseitig in unterschiedlichen Absatzstrukturen und Preisen der Güter wieder. Beispielsweise ist davon auszugehen, dass der Produktionsbereich „Herstellung von Kokereierzeugnissen, Mineralölerzeugnissen, Spalt- und Brutstoffen“ sehr unterschiedliche Absatzstrukturen und - in Bezug auf die verwendeten Güter - auch sehr unterschiedliche Preise zwischen den Teilbereichen aufweist. Dies kontrastiert mit der Annahme homogener Produktionsbereiche. Bezogen auf die implizierten Durchschnittspreise für die Abnehmer, bedeutet diese Annahme, dass die Abnehmer die gleichen Durchschnittspreise für die entsprechende Gütergruppe haben. Weichen diese Durchschnittspreise voneinander ab – wie dies beim Bezug der verschiedenen Energieträger angenommen werden kann – kommt es bei der Umrechnung von Wertrelationen zu Mengengrößen, wie dem Energiegehalt, zu Verzerrungen.

Bei der energetischen I/O-Analyse wird die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse ganz entscheidend von der Modellierung der Energiebereiche (Gewinnung, Umwandlung und Verteilung) und der bedeutenden Energieabnehmer beeinflusst. Die Energiegewinnungs- und –Umwandlungsbereiche sollten ein hohes Maß an Homogenität aufweisen. Durch einen adäquaten Zuschnitt der Energiebereiche kann die modellmäßige Zuordnung der Energiegüter zu den verwendenden Produktionsbereichen verbessert werden. Beispielsweise kann der Energiegehalt des Energieinputs „Koks, Mineralölerzeugnisse, Spalt- und Brutstoffe“ beim abnehmenden Produktionsbereich „Erzeugung und Verteilung von Elektrizität und Fernwärme“ genauer anhand der Angaben für die Teilbereiche – insbesondere was den Input „Kernbrennstoffe“ betrifft -bestimmt werden. Es ist davon auszugehen, dass die über die wertmäßigen Relationen der gesamten Gütergruppe ermittelten Energiegehalte der Abnehmer zum Teil erheblich von den über die Teilaggregate ermittelten Ergebnissen abweichen.

In den IOT des Statistischen Bundesamtes sind die Energiegewinnungs- und –Umwandlungsbereiche wie folgt zusammengefasst (in Klammern: laufende Nummer des Produktionsbereichs bezogen auf die veröffentlichte IOT nach 71 Bereichen; in Spiegelstrichen: Energieträger bzw. Umwandlungsbereiche in den Energiebilanzen der AG Energiebilanzen):

- Gewinnung von Kohle und Torf (4)
  - Steinkohlen (Steinkohlen und Braunkohlenbrikettfabriken)
  - Braunkohlen (Steinkohlen und Braunkohlenbrikettfabriken)
- Gewinnung von Erdöl, Erdgas (5)
  - Erdöl
  - Erdgas



- Herstellung von Kokereierz., Mineralölerzeugnissen, Spalt- u. Brutstoffen (23)
  - Steinkohlenkoks (Kokereien)
  - Mineralölerzeugnisse (Raffinerien)
- Erzeugung und Verteilung von Elektrizität und Fernwärme (40)
  - Elektrizität (Kraftwerke)
  - Fernwärme (Heizkraftwerke und Fernheizwerke)
- Erzeugung und Verteilung von Gasen (41)
  - Kokereigas (Kokereien)
  - Hochofengas (Hochöfen)
  - Grubengas

In den energetischen I/O-Modellen sollten nach Möglichkeit, die angeführten Unterteilungen der Energieträger bzw. der Gewinnungs- und Umwandlungsbereiche implementiert werden. Hinsichtlich des – mengenmäßigen - Nachweises der Verwendung der Energieträger (zeilenweise Unterteilungen) kann dabei auf die Angaben aus den Energieflussrechnungen der UGR zurückgegriffen werden, die – analog zur Darstellung in den Energiebilanzen – einen detaillierten Nachweis von Aufkommen und Verwendung von Energie nach 30 Energieträger beinhalten.

Beim Nachweis der Energiegewinnungs- bzw. Umwandlungsbereiche in den Spalten der IOT können wiederum die Angaben aus den Energieflussrechnungen und zum Umwandlungseinsatz der Umwandlungsbereiche der Energiebilanz herangezogen werden. Insbesondere die Verfügbarkeit dieser detaillierten Angaben zur Verwendung der Energieträger in Mengeneinheiten (zum Energiegehalt in Terajoule) ermöglichen die Erstellung einer gemischten IOT mit mengenmäßigen Angaben zu Aufkommen und Verwendung von Energie und monetären Angaben für die restlichen Güter. Bei den Unterteilungen der Energiebereiche sind allerdings Inputstrukturen für die übrigen – monetären – Inputs zu berechnen. Dabei ist von den Produktionswerten der Teilbereiche auszugehen und insbesondere deren Bruttowertschöpfung zu bestimmen. Hilfsweise können bezüglich der Vorleistungsgüter – ohne Energieinputs – identische Vorleistungsstrukturen für die Teilbereiche unterstellt werden.

Für die Genauigkeit der Ergebnisse ist nicht nur eine adäquate Spezifizierung der Energiebereiche von entscheidender Bedeutung, sondern auch eine hinreichende Unterteilung bei den bedeutenden Energieabnehmern. Dies soll für den wichtigsten Energieabnehmer – die „Chemie“ veranschaulicht werden.

Die chemische Industrie hatte 2002 einen Anteil von 5,1 % am gesamten Endenergieverbrauch und unter Einbeziehung des nicht-energetischen Verbrauchs von Energie sogar einen Anteil von 12,7% (siehe Tabelle 1). Insbesondere hat die Chemie bei den Mineralölerzeugnissen auf Grund der nicht-energetischen Verwendung von Rohbenzin eine sehr hohe Verbrauchsbedeutung. Sie ist jedoch auch bei der energetischen Verwendung von Energieträgern - wegen der energieintensiven Produktion im Bereich der Herstellung von chemischen Grundstoffen – der bedeutendste Abnehmer, z.B. von Elektrizität oder von Gasen.

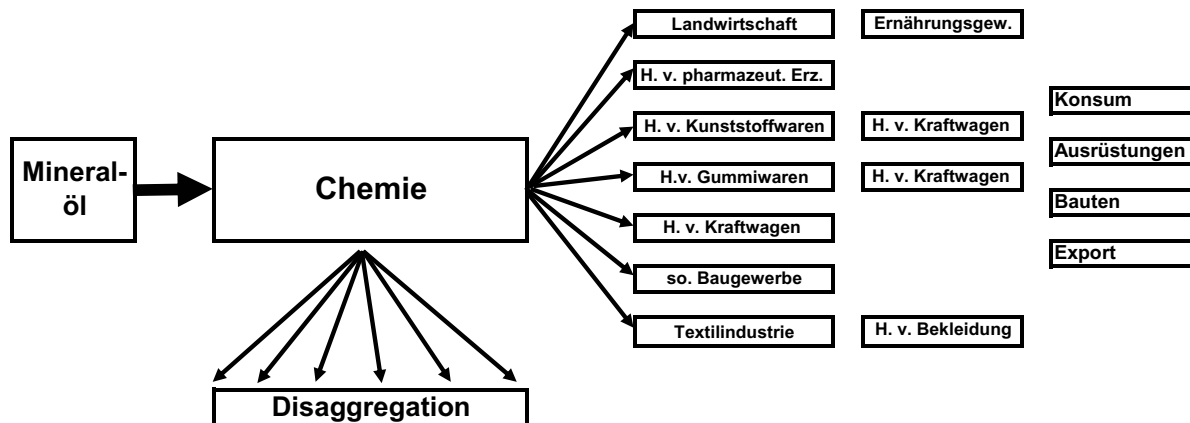
Bei der Berechnung von kumulierter Energie nach Produktionsbereichen bzw. Kategorien der Endnachfrage wird der direkte Energieeinsatz der Chemie anteilig - entsprechend der Wertrelationen zur Verwendung chemischer Erzeugnisse - den abnehmenden Produktionsbereiche zugerechnet. Unter Berücksichtigung der weiteren Bezugs- und Lieferketten erfolgt zuletzt eine Zurechnung zu den Kategorien und Gütergruppen der Endnachfrage.

Tabelle 1: Energieverbrauch 2002 in der Chemie

	Ins-gesamt	Chemie	Grundstoff- chemie	Ins-gesamt	Chemie	Grundstoff- chemie
	Petajoule			in %		
<b>Endenergieverbrauch</b>	9 228	472	389	100	5,1	4,2
<b>Nicht-energetischer Verbr.</b>	1 029	831	831	100	80,7	80,7
<b>Zusammen</b>	10 256	1 302	1 219	100	<b>12,7</b>	<b>11,9</b>
			<b>darunter Mineralöle</b>			
<b>Endenergieverbrauch</b>	4 063	39	12	100	1,0	0,3
<b>Nicht-energetischer Verbr.</b>	928	751	751	100	80,9	80,9
<b>Zusammen</b>	4 991	790	764	100	<b>15,8</b>	<b>15,3</b>
			<b>Elektrizität</b>			
<b>Endenergieverbrauch</b>	1 801	175	150	100	<b>9,7</b>	<b>8,3</b>
			<b>Gase</b>			
<b>Endenergieverbrauch</b>	2 392	223	198	100	9,3	8,3
<b>Nicht-energetischer Verbr.</b>	79	79	79	100	100,0	100,0
<b>Zusammen</b>	2 471	302	277	100	<b>12,2</b>	<b>11,2</b>

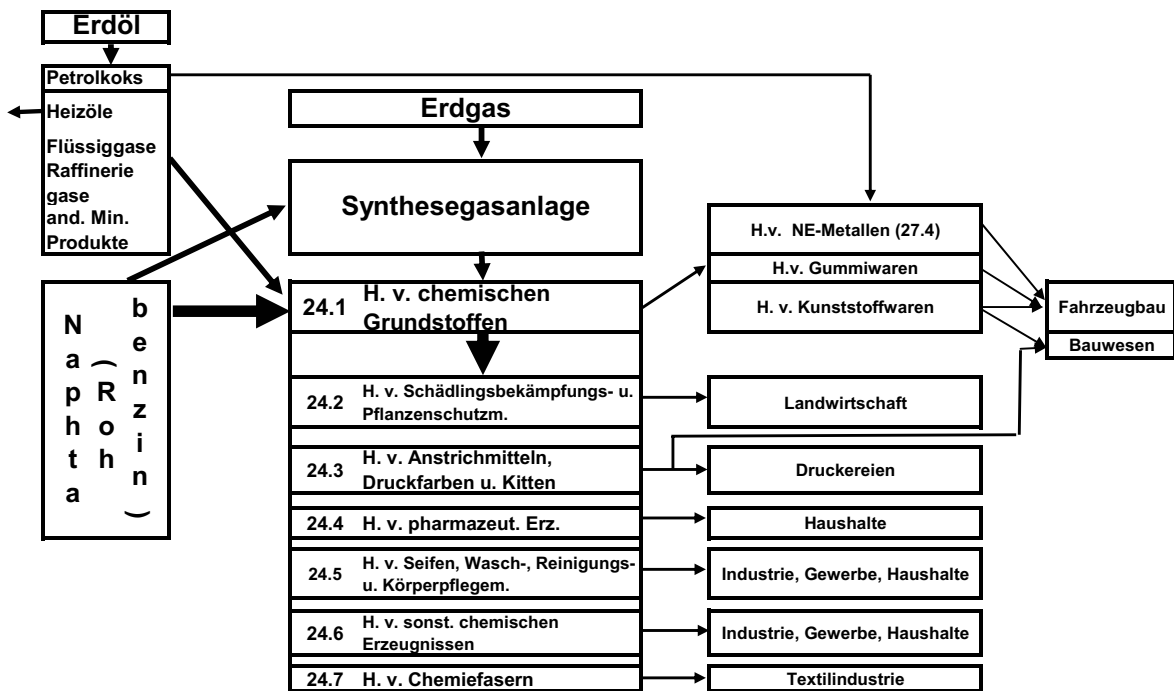
Quelle: AG Energiebilanzen; eigene Berechnungen

Schaubild 2: Zuordnung der Vorprodukte (Mineralöl) der chemischen Industrie zu Abnehmern



Bei einer nicht weiter disaggregierten Betrachtung der Chemie werden bei der Zurechnung des Energieverbrauchs der Chemie zu den abnehmenden Produktionsbereichen die ganz spezifischen Produktionsprozesse innerhalb der Chemie - mit sehr unterschiedlichen Einsatzverhältnissen von Energieträgern in Bezug auf deren Höhe und Art - außer Acht gelassen. Über 90% des Energieverbrauchs der Chemie erfolgt im Bereich der Herstellung von chemischen Grundstoffen, insbesondere wegen des Einsatzes von Energieträgern für nicht-energetische Zwecke, wie z.B. für die Herstellung von Kunststoffen und Düngemitteln (siehe Schaubild 3).

**Schaubild 3: Nicht-energetische Verwendung von Mineralölen in der Chemie**



Daher kann eine genauere Zurechnung der Energieinputs der Chemie zu den nachgelagerten Produktionsbereichen nur durch eine Disaggregation der Chemie erfolgen (Schaubild4)<sup>6</sup>:

<sup>6</sup> Ein Beispiel für eine Berechnung, Darstellung und Analyse eines Teilbereiches der NE-Metallerzeugung und -verarbeitung im Rahmen der Input-Output Analyse findet sich bei: S. Flakowski: Aluminiumwirtschaft in Deutschland - Analyse der Sektorstruktur von der Tonerdeproduktion bis zum Endverbrauch, Münster 1998.

**Schaubild 4: Disaggregation des Produktionsbereichs "Chemie"**

		24.1	24.2	24.3	24.4	24.5	24.6	24.7	Sonstige Abnehmer
		(3) "übrige" Inputs							
<b>(1) Energie-Inputs:</b>									
Mineralöle		X	x	x	x	x	x	x	
nicht-energetische Vwdg.		X							
Sonstige Energie-Inputs									
Sonstige Inputs									
<b>(2) chemie-interne Verflechtung:</b>									
24.1	H. v. chemischen Grundstoffen	X	X	X	X	X	X	X	
24.2	H. v. Schädlingsbekämpfungs- u. Pflanzenschutz.								
24.3	H. v. Anstrichmitteln, Druckfarben u. Kitt								
24.4	H. v. pharmazeut. Erzeugn.								(4)
24.5	H. v. Seifen, Wasch-, Reinigungs- u. Körperpflegem.								
24.6	H. v. sonst. chemischen Erzeugnissen								
24.7	H. v. Chemiefasern								
Vorleistungen									
Bruttowertschöpfung									
Produktionswert									

Bei der Unterteilung der Chemie sind folgende Berechnungen durchzuführen:

1. Berechnung der Energie-Inputs nach Teilbereichen
2. Bestimmung der chemie-internen Lieferungen
3. Schätzung der „übrigen“ Inputs nach Teilbereichen
4. Lieferungen der Teilbereiche an Abnehmer außerhalb der Chemie

Hinsichtlich der „Machbarkeit“ der Teilberechnungen erscheinen die Berechnungen zu den Energie-Inputs der Teilbereiche der Chemie und zu deren Lieferungen an Abnehmer noch unproblematisch. Die Energie-Inputs der Teilbereiche können weitgehend anhand der amtlichen Energiestatistiken und zusätzlicher Angaben aus der Prozesskettenanalyse ermittelt werden. Auch die Lieferungen der Teilbereiche der Chemie an die Abnehmer lassen sich auf Basis von zusätzlichen Angaben aus der gütermäßig sehr detaillierten Güterflussrechnung der Input-Output Rechnung relativ gut abschätzen. Für die Bestimmung der „übrigen“ Inputs der Teilbereiche können vereinfachende Schätzungen unter Annahme weitgehend gleicher Inputstrukturen erfolgen, da dadurch keine ins Gewicht fallende Ungenauigkeiten der Ergebnisse zu erwarten sind.

Probleme bereitet die Schätzung der chemie-internen Lieferverflechtung nach Teilbereichen. Für diese Berechnungen sind umfassende Kenntnisse und Angaben zur Verwendung von chemischen Erzeugnissen - insbesondere von chemischen Grundstoffen - und über deren Verarbeitung in bestimmten technischen Prozessen erforderlich. Gerade der Schätzung dieser internen Verflechtung kommt aber eine besondere Bedeutung zu, da nach den Angaben aus der IOT 2000 (zu Herstellungspreisen) mehr als die Hälfte der Lieferungen der Chemie an die Produktionsbereiche an chemie-interne Bereiche erfolgt. Es ist deshalb eine genaue Analyse und Abbildung dieser internen Produktionsverflechtung – insbesondere zur

Verflechtung der Grundstoffchemie mit den übrigen Teilbereichen der Chemie – erforderlich. Hierbei sollten technische Kenntnisse zu den Prozessen und Verfahren in den einzelnen Teilbereichen der Chemie einfließen. Ebenso können Ergebnisse der Prozesskettenanalyse zu chemischen Teilprozessen wichtige quantitative Angaben zur Verwendung von chemischen Grundstoffen in den übrigen Teilbereichen liefern

#### **4. Schlussbemerkung**

Bei der energetischen I/O-Analyse – insbesondere bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwands - ist eine adäquate Modellierung für die Genauigkeit der Berechnungen von besonderer Bedeutung. Insbesondere sind die Energiegewinnungs- und Umwandlungsbereiche und bedeutende Abnehmerbereiche – vor allem im Bereich der Grundstoffindustrien - hinreichend tief-gegliedert darzustellen. Gemischte I/O-Modelle ermöglichen genauere Zuordnungen, da hier eine – für bestimmte Energieträger - ungenaue Umrechnung von Wertrelationen in Mengenrelationen vermieden werden kann. Darüber hinaus können vorliegende Angaben zur Verwendung von Energieträgern aus den Energieflussrechnungen der UGR unmittelbar genutzt werden.

Bei den Unterteilungen der Energiebereiche ist die Schätzung der übrigen Inputs – d.h. die Inputs ohne die Energieinputs – im Allgemeinen von geringerer Bedeutung und kann Hilfsweise unter vereinfachten Annahmen erfolgen. Dagegen sind Unterteilungen im Bereich der Grundstoffindustrien – wie am Beispiel der Chemie erörtert wurde – oftmals aufwändig und schwierig und erfordern eine eingehende Analyse von technischen Prozessen. Hierbei können Ergebnisse der Prozesskettenanalyse wichtige Angaben liefern und insofern die energetische I/O-Analyse unterstützen.