

Inhaltsverzeichnis	Seite
Summary	5
Zusammenfassung	13
1. Zielsetzung und Vorgehensweise	21
2. Methodische Grundlagen	25
2.1 Charakterisierung des IPCC-Referenzverfahrens	25
2.2 Vergleich zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektoralem Verfahren	30
2.3 Methodische Festlegungen bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens für Deutschland	34
3. Basisdaten für die Ermittlung der verbrennungsbedingten CO ₂ -Emissionen mit dem IPCC-Referenzverfahren	41
3.1 Energiebilanz und Energieträger	41
3.1.1 Fossile Energieträger: Abgrenzung und Energiebilanz-Daten	41
3.1.2 Erneuerbare kohlenstoffhaltige Energieträger	49
3.2 Kohlenstoff- und CO ₂ -Emissionsfaktoren	51
3.3 Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern	55
3.3.1 Methodische Festlegungen	56
3.3.2 Struktur der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs in Deutschland	56
3.3.3 Vorgehensweise bei der Bestimmung des gebundenen Kohlenstoffanteils im NEV	59
3.3.4 Ergebnisse	61
4. CO ₂ -Bilanzen für Deutschland nach der IPCC-Referenzmethode 1991 - 1994	67
4.1 Verbrennungsbedingte CO ₂ -Emissionen 1990 bis 1994	67
4.2 Vergleich mit den Ergebnissen auf der Basis der IEA-Energiebilanzen	70
4.3 Vergleich zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektoralem Verfahren	71
4.4 Verbrennungsbedingte CO ₂ -Emissionen aus nachwachsenden Energieträgern	75

5. Schlussfolgerungen und Ausblick 77

6. Literaturverzeichnis 83

Anhang

Anhang 1: Beschreibung des IPCC-Referenzverfahrens

Anhang 2: Ergebnisse zur Kohlenstoffbindung („Carbon stored“) 1990 - 1994

Anhang 3: CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenz-verfahren 1990 - 1994

Anhang 4: Handbuch zum Tabellenkalkulationsschema zur Anwendung des
IPCC-Referenzverfahrens

Abbildungen

- Abbildung 1-1: Untersuchungsprogramm
- Abbildung 2-1: Grundprinzip des IPCC-Referenzverfahrens
- Abbildung 3-1: Struktur der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs
- Abbildung 3-2: Entwicklung der Gesamtmengen an gebundenem CO₂; Vergleich mit IPCC-Default-Werten
- Abbildung 4-1: Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren 1990 -1994
- Abbildung 4-2: Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen 1990 – 1994 nach Referenzverfahren und sektoralem Verfahren
- Abbildung 4-3: Systematische Unterschiede zwischen dem Referenzverfahren und sektoralem Verfahren im Jahr 1990
- Abbildung 4-4: Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen aus nachwachsenden Energieträgern, 1990 – 1994
- Abbildung 5-1: Fiktives Beispiel eines Schätzverfahrens für die sektorale Aufteilung der CO₂-Emissionen als Weiterentwicklung des IPCC-Referenzverfahrens

Tabellen

- Tabelle 2.1: Vergleich zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektoralem Verfahren
- Tabelle 2.2: „Problemfelder“ und methodische Festlegungen für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens für Deutschland
- Tabelle 3.1: Abgrenzung der Energieträger für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens
- Tabelle 3.2: Vergleich ausgewählter Daten der IEA- und AGE-Energiebilanzen (1993)
- Tabelle 3.3: Energetische Nutzung regenerativer Rohstoffe 1994 (nach Energiebilanz Deutschland, Abfallstatistik)
- Tabelle 3.4: Verwendete Brennstoffkennwerte
- Tabelle 3.5: Vergleich der Deutschland-spezifischen „Kohlenstoffemissionsfaktoren“ mit den IPCC-Default-Werten
- Tabelle 3.6: Ergebnisse für die Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“
- Tabelle 3.7: Vergleich der Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ mit den „Default-Werten“ des IPCC
- Tabelle 3.8: Entwicklung der Mengen an gebundenem CO₂ nach Energieträgergruppen
- Tabelle 4.1: Vergleich der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach Brennstoffgruppen in den Varianten 1 und 2 für 1994
- Tabelle 4.2: Vergleich der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach Brennstoffgruppen in den Varianten 1 und 2 für 1994

Tabelle 4.3: Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren („Standardvariante“) auf der Basis der Energiebilanzen von AGE und IEA für 1993

Tabelle 4.4: Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren und dem sektorialem Verfahren für 1990

Abkürzungen

AGE Arbeitsgemeinschaft Energiebilanz

C Kohlenstoff

CO₂ Kohlendioxid

IEA International Energy Agency

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

kt Kilotonne (1 kt = 1000 Mg = 10⁹ g)

LPG Liquefied petroleum gas

Mg Megagramm (1 Mg = 10⁶ g)

MJ Megajoule (1 MJ = 10⁶ J)

NEV nicht-energetischer Verbrauch

TJ Terajoule (1 TJ = 10¹² J)

Summary

Objectives

(1) In the framework of international climate protection the reporting of CO₂ emissions is of special importance.

The industrialised countries generally apply the so-called **Sectoral Approach** to estimate their CO₂ emissions on a regular basis. The approach relies on the energy consumption of the different energy and end-use sectors and hence allows for the identification of the emitter groups.

An alternative approach has been developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). This so-called **Reference Approach** relies on the primary energy consumption (input of fuels) of a country. The data requirements of this approach are not as extensive as in the Sectoral Approach. Thus it can be applied also by countries which do not dispose of satisfactory energy data bases. Therefore, the Reference Approach is well suited to be applied as a uniform method for international CO₂ reporting.

(2) So far, the Reference Approach has been applied for Germany in a pilot exercise only. The **objective** of this study is

- to adapt the Reference Approach to the specific German conditions in order to allow for its periodical application for CO₂ reporting in Germany and
- to apply the Reference Approach for the estimation of CO₂ emissions in Germany for 1990-1994.

Based upon the experiences gained in this exercise and the analysis of methodological aspects conclusions for the further applications of the Reference Approach on a national and international level have been drawn.

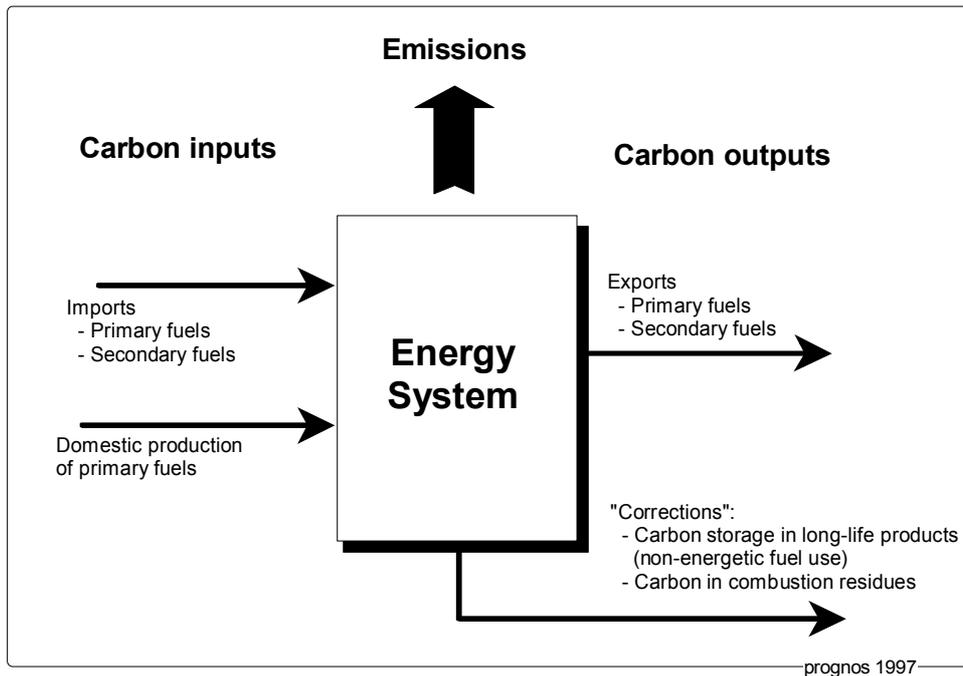
Methodological Aspects

(3) The basic principle of the Reference Approach is an highly aggregated carbon balance of the energy sector: Annual carbon emissions of the energy sector are calculated as the difference between the carbon inflows and outflows contained in fuels (see figure below).

The **carbon inflows** are connected with the **imports** of primary and secondary fuels (e.g. crude oil and natural gas as well as gasoil, motor spirit and coke) and the **domestic production** of primary fuels. The **carbon outflows** are connected with exports of primary and second-

dary fuels and international bunkers (for marine and air transportation). The Reference Approach provides the following **corrections** of the carbon balance by the quantities which do not result in emissions: This is the carbon storage in combustion residues („fraction of carbon oxidised“) and the long-term carbon storage in products of the non-energetic consumption of fuels („fraction of carbon stored“; e.g. use of naphtha as an raw material for plastics production).

Basic principle of the IPCC-Reference Approach



(4) The objective of the IPCC-Reference Approach is to estimate the CO₂ potential of the fuels used in a country. The CO₂ potential is not identical with the actual CO₂ emissions.

(5) For the application of the Reference Approach to Germany the following methodological definitions have been fixed:

- The purpose of the „correction factors“ is to refine the calculation of the CO₂ emission potentials using a simple input-output balance of fuels. Therefore, for the application of the Reference Approach for Germany two versions have been analysed: First, the „**standard version**“ where a correction factor „fraction of carbon stored“ which has been determined by a sophisticated estimation of the actual carbon storage in the product chains of the non-energetic use of fuels is applied; second, a simple „**Version 2**“ without application of a correction factor (i.e. the CO₂ emission potential) of Version 2 includes total non-energetic use of fuels.
- Apart from the actual carbon storage in long-life products, carbon emissions which are

not related to fuel combustion (solvent and process emissions especially) have been defined as a part of the „fraction of carbon stored“ as well. Thus, the remaining part of „carbon released“ actually includes CO₂ emissions from fuel combustion only (e.g. waste incineration, internal fuel consumption of steam crackers). Imports and exports of intermediate products and end-products of the non-energetic fuel use are taken into account in the carbon balance according to the „producer principle“, i.e. imports are not included and exports are included in the carbon balance.

Data Bases

(6) In the following the most important data bases for the use of the IPCC-Reference Approach in Germany are summarised:

- **Energy-data:** Energy data are based on the energy balance of the Working Group Energy Balance (AGE). For terms of comparison a calculation was prepared with data from the energy balance of the International Energy Agency (IEA). Furthermore the main primary fuels crude oil, natural gas, hard coal and lignite are distinguished by type or geographical origin. The data are obtained from energy statistics.
- **Fuel characteristics/Emissionfactors:** Basis is the GEMIS database (Öko-Institut), additionally data of the FZ Jülich (IKARUS project) are used.
- **Down-stream product-chains of the non-energetic use of fuels:** Most data are taken from a study of the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI). To complete the data base own estimations were added.

Results

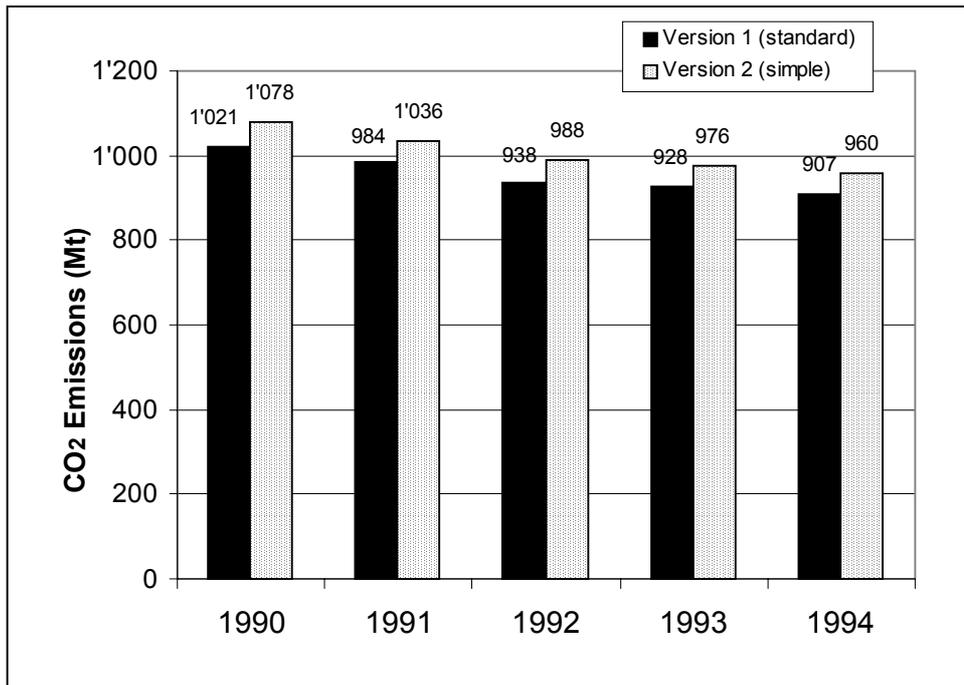
The CO₂-emissions decreased by 11% in 1990 to 1994 (see figure below). This result is valid for both versions of the IPCC-Reference Approach.

In the **Standard Version** of the IPCC-Reference Approach the fraction of carbon stored in products of non-energetic use of fuels has been estimated as exact as possible. Compared to the rough **Version 2**, in which the whole non-energetic consumption is recorded as CO₂-potential, the Standard Version is results in 5.2% - 5.8% greater „exactness“ (related to the total emissions, see figure). This percentage represents the carbon stored in products from the non-energetic use of fuels (mainly plastics, bitumens and lubricants) which is taken into account in Version 1, whilst in Version 2 the total consumption of fuels is CO₂ emission potential.

If the **default data** proposed by the IPCC for carbon emission factors and fractions of carbon stored are used, the results are 3.5 - 4.5% lower than the results of the Standard Version. The difference is mainly caused by the fuel data for coal used in Germany that differ from the de-

fault values, i.e. the average carbon contents or emission factors respectively of the coals used in Germany are higher than the respective figures for the coals on which the default values are based on.

Development of CO₂ emissions from fuel combustion 1990 -1994 according to the IPCC Reference Approach



(8) In Germany the Reference Approach is based on the energy balance of the Working Group Energy Balance for the Federal Republic of Germany (AGE).

If the **energy balance of the IEA**, which is relevant for international reporting, is applied, the results differ slightly. Total emissions are 1.4% lower. The differences are due to different data on stock change of fuels and especially in some parts to methodological differences (e.g. balance of products from mineral oil).¹⁾

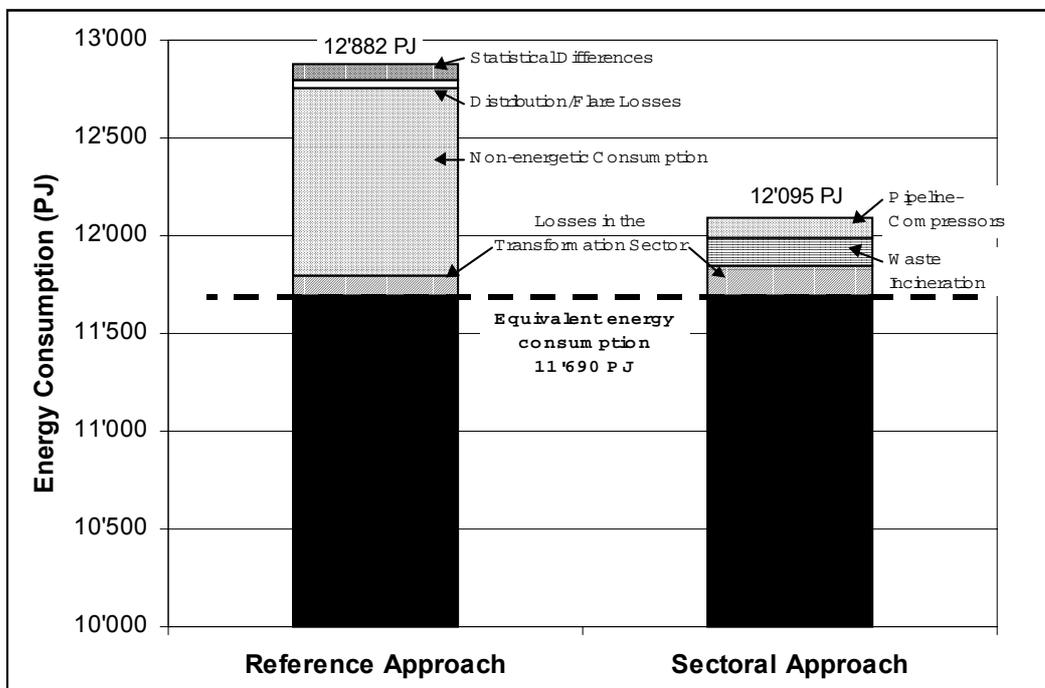
(9) The CO₂-emissions calculated with the „Standard Version“ of the IPCC-Reference Approach are 3 - 5 % higher than the emissions calculated with the **Sectoral Approach**, which has been used for reporting on emissions in Germany. If the simple „Version 2“ of the Reference Approach is applied (no corrections for carbon storage) the difference is in the range of

1) For liquid fuels, the energy balance of the IEA shows a net stock increase of 2 PJ, whilst the energy balance of the AGE shows a net stock decrease of 133 PJ. In the AGE balance oil products which are re-processed in refineries are booked under imports, whilst the IEA balance treats them as internal product transfers (Refinery Feedstock). Thus, the import figures for oil products are systematically lower in the IEA balance compared to the

10%.

- The differences depend to about **2.5%-points** on differences in the **emission factors** and average **carbon contents** of fuels respectively. In the Reference Approach the data can't be determined as exact as in the Sectoral Approach.
- The remaining difference is due to **systematic differences** of the two methods on the level of **fuel consumption**, that is the consideration of the non-energetic use of fuels, waste incineration, statistical differences and losses in the transformation sector of the energy system, the energy consumption of gas pipeline compressors inclusive.

Systematic Differences between Reference Approach and Sectoral Approach (1990)



Conclusions and Perspectives

(10) In advance, entirely identical results of the IPCC-Reference Approach and the Sectoral Approach can't be expected due to systematic differences and different objectives in some details. Therefore, in Germany, the application of the Reference Approach should be restricted to international reporting, especially to comparison between countries.

(11) Furthermore, the question is arising as to which **advantages** can be achieved **by improving the data bases** for the application of the Reference Approach on a national and an international level.

- In Germany, as well as in most other countries with a relevant consumption of coal, the use of „country-specific“ carbon emission factors lead to a certain **enhancement of exactness** (Germany: about 4% related to total emissions), since the IPCC default data don't represent the different types of coal adequately. However, in countries with low consumption of coal the application of IPCC default data should lead to satisfactory results.
- For the application of the Reference Approach on the international level the benefits of special investigations to determine the „**fraction of carbon stored**“ (to correct the CO₂-potentials by subtracting non-energetic use of fuels) are questionable:
 - On the one hand a considerable effort is necessary. That is contradictory to the objective of the Reference Approach to get along with a small amount of data. Even in Germany not all of the necessary data are available. Additionally, definition problems arise in the determination of the amount of carbon stored, thus interfering with reliant international comparisons.
 - On the benefit side, only a **limited increase of exactness** is gained for most countries. This is evident because the non-energetic use of fuels generally ranges up to maximum 10% of the consumption of primary fuels. In Germany the rise of exactness amounts to 5 - 6% (see above).
- It is questionable as well, if an improvement can be achieved by using the IPCC **default data** because they depend on rough estimations that don't take into account the country-specific situation.

Therefore we think that it would be sensible to **dispense completely with the correction for „fraction of carbon stored“** in international applications. That means that the result of the calculation would show the **total CO₂-potential** including the non-energetic use.

(12) Instead of refining the data bases, the further improvement of the IPCC Reference Approach should concentrate on generation of additional information for international climate policy, especially the **contribution** of the different **sectors of energy consumption** to total CO₂-emissions. By doing so, the main emitters can be identified showing starting points for emission reduction measures. This information is supplied by the Sectoral Approach but data are lacking in many countries for its application.

One possibility to achieve this goal is to **develop the Reference Approach in direction of the Sectoral Approach** by using „division-factors“ with which the results of the Reference Approach can be allocated to single energy sectors. For each fuel type (e.g. hard coal) these „division-factors“ could be defined as the shares of the different energy consumption and transformation sectors (e.g. power plants) in total CO₂ emissions. They could be derived from

available energy data (e.g. power plant capacities), energy indicators of comparable countries (e.g. per capita residential energy consumption for heating purposes) and/or economic data (e.g. per capita gross domestic product, value added of the different industrial branches). For different country groups with comparable state of economic development and comparable availability of data, different estimation methods could be developed, each of them being adjusted to the specific situation in the respective country groups.

Zusammenfassung

Zielsetzung

(1) Im Rahmen des internationalen Klimaschutzes ist die Berichterstattung zu den verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen von grösster Bedeutung.

Von den Industrieländern wird hierzu „routinemässig“ das sogenannte **sektorale Verfahren** angewendet, das auf der Ebene der einzelnen Energieverbrauchssektoren ansetzt und daher differenzierte Aussagen zur Struktur der Emittenten erlaubt.

Als alternatives Verfahren wurde vom Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**) der sogenannte **Reference Approach** (Referenzverfahren) entwickelt, der von der Ebene des Primärenergieverbrauchs (Input von Energieträgern in ein Land) ausgeht. Dieses Verfahren stellt geringere Anforderungen an die Datengrundlagen als das sektorale Verfahren und kann daher auch für Länder durchgeführt werden, die nur über begrenzte Datengrundlagen im Energiebereich verfügen. Es eignet sich daher als einheitliches Verfahren für die internationale CO₂-Berichterstattung.

(2) Die IPCC-Referenzmethode wurde für die Bundesrepublik Deutschland erst pilothaft angewendet. **Ziel** dieses Vorhabens ist es daher,

- eine Anpassung des Verfahrens auf die spezifisch deutschen Bedingungen vorzunehmen, die eine regelmässige Anwendung für die internationale Berichterstattung erlaubt,
- und das Verfahren für die Ermittlung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen für die Jahre 1990 bis 1994 anzuwenden.

Aus der Analyse der methodischen Aspekte und den Erfahrungen bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens wurden schliesslich Schlussfolgerungen für die weitere nationale und internationale Anwendung abgeleitet.

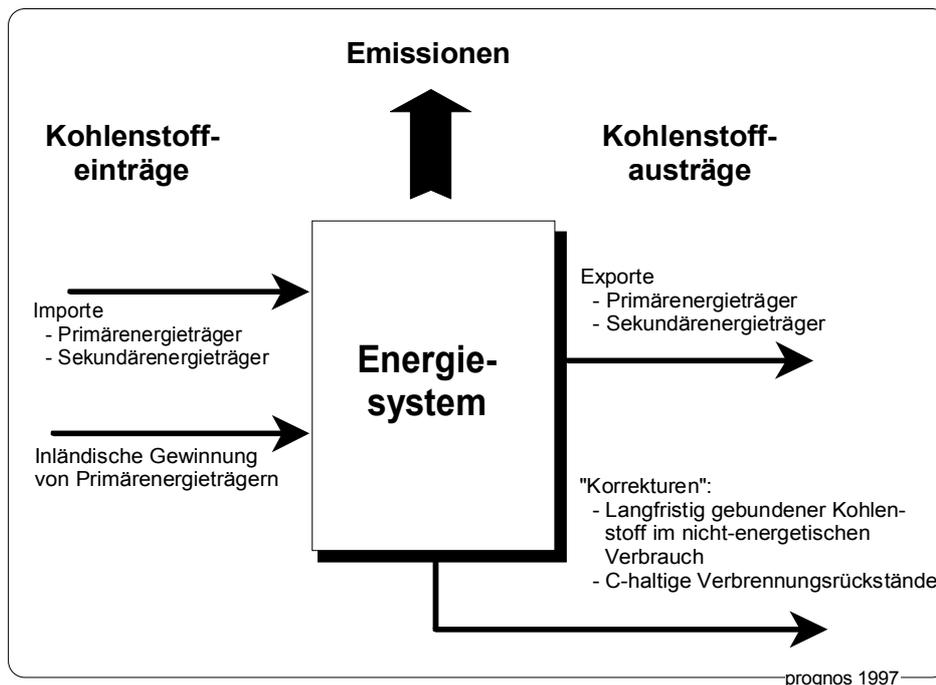
Methodische Aspekte

(3) Das Grundprinzip des Referenzverfahrens bildet eine hochaggregierte **Kohlenstoffbilanz** des Energiesektors: Die aus dem Energiesektor (pro Jahr) emittierte Menge an Kohlenstoff ergibt sich danach als Differenz zwischen den in den Energieträgern eingetragenen und ausgetragenen Kohlenstoffmengen (siehe Abbildung).

Die Kohlenstoff**einträge** sind verbunden mit **Importen** an Primärenergieträgern (z.B. Erdöl, Erdgas) und Sekundärenergieträgern (z.B. Heizöl, Motorenbenzin, Koks) und **der inländischen Gewinnung** von Primärenergieträgern. Die Kohlenstoff**austräge** sind verbunden mit **Exporten** an Primär- und Sekundärenergieträgern und Bunkerungen (Brennstoffverbrauch

der Hochseeschifffahrt und des internationalen Flugverkehrs). Das Referenzverfahren sieht sodann noch folgende **Korrekturen** der Kohlenstoffbilanz um nicht-emissionsrelevante Kohlenstoffmengen vor: Kohlenstoffaustrag in kohlenstoffhaltigen **Verbrennungsrückständen** („Fraction of carbon oxidised“) und langfristig **gebundener Kohlenstoff in Folgeprodukten des nicht-energetischen Verbrauchs** (NEV) von Energieträgern („Fraction of carbon stored“; z.B. Einsatz von Naphtha zur Kunststoffherstellung).

Grundprinzip des IPCC-Referenzverfahrens



(4) Zielsetzung des IPCC-Referenzverfahrens ist die **Ermittlung des CO₂-Emissionspotentials** der in einem Land eingesetzten Energieträger. Das Emissionspotential ist nicht identisch mit den tatsächlichen Emissionen.

(5) Für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens in Deutschland wurden folgende wichtige **methodische Festlegungen** getroffen:

- Der Zweck der Korrekturfaktoren liegt in der Verfeinerung der Berechnung der CO₂-Emissionspotentiale aus der einfachen Input-Output-Bilanz der Energieträger. Die Anwendung der Korrekturfaktoren ist daher als **optional** anzusehen. Bei der Anwendung des Referenzverfahrens wurden daher in diesem Vorhaben **zwei Varianten** betrachtet: Die „**Standardvariante**“ mit Anwendung eines Korrekturfaktors „Fraction of carbon stored“, der auf der Grundlage einer möglichst genauen Abschätzung der tatsächlichen Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des NEV ermittelt wurde, und einer **Variante 2** ohne Anwendung eines Korrekturfaktors (d.h. Ausweis des gesamten nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern als CO₂-Emissionspotential).

- Bei der Berechnung der Korrekturfaktoren „**Fraction of carbon stored**“ werden neben der tatsächlichen Kohlenstoffbindung in langlebigen Produkten auch nicht-verbrennungsbedingte Emissionen, insbesondere Lösemittel- und Prozessemissionen, als „Carbon stored“ bilanziert. Der als „freigesetzter Kohlenstoff“ bilanzierte, verbleibende Anteil besteht dann tatsächlich nur aus verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen (z.B. Abfallverbrennung, interner Brennstoffverbrauch der Steamcracker). Innerhalb der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs werden Importe und Exporte von Zwischen- und Endprodukten nach dem „Produzentenprinzip“ bilanziert, d.h. Importe werden nicht berücksichtigt und Exporte sind in der CO₂-Bilanz enthalten.

Datenermittlung

(6) Die wichtigsten Datengrundlagen für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens in Deutschland sind im folgenden zusammengefasst:

- **Energiedaten:** Grundlage bildet die Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGE). Zu Vergleichszwecken wurde auch eine Berechnung mit der Energiebilanz der Internationalen Energieagentur (IEA) durchgeführt. Für die Haupt-Primärenergieträger Erdöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle wird eine weitergehende Differenzierung nach Sorten bzw. Fördergebieten vorgenommen. Hierzu werden Daten aus den Energiestatistiken verwendet.
- **Brennstoffkenndaten/Emissionsfaktoren:** Grundlage bildet die GEMIS-Datenbank (Öko-Institut), ergänzt um Daten des FZ Jülich (aus dem Projekt IKARUS).
- **Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs:** Wesentliche Datengrundlage bildete eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI). Da hiermit keine vollständige Datengrundlage für die Bilanzierung der Kohlenstoffbindung vorlag, waren ergänzend eigene Abschätzungen erforderlich.

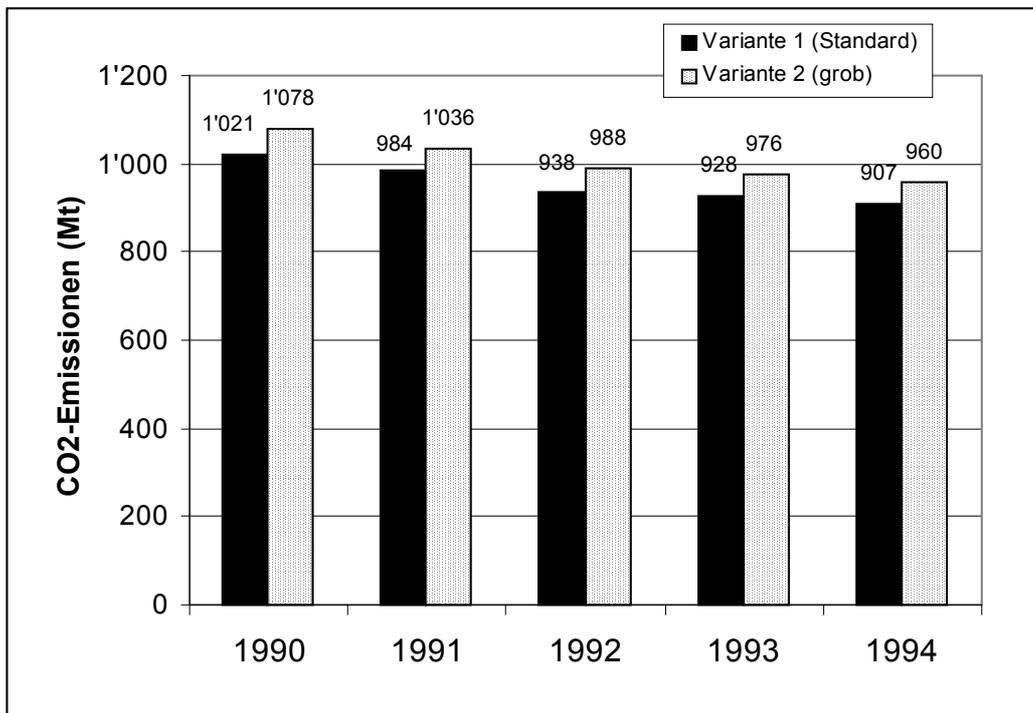
Ergebnisse

(7) Die mit den zwei Varianten des IPCC-Referenzverfahrens berechneten CO₂-Emissionen sind von 1990 bis 1994 um ca. 11% gesunken (siehe Abbildung).

Durch Anwendung der „**Standardvariante**“ des Referenzverfahrens, der eine möglichst genaue Abschätzung der „Kohlenstoffbindung“ in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs („Fraction of carbon stored“) zugrundeliegt, lässt sich die „Genauigkeit“ gegenüber der groben **Variante 2**, bei der der gesamte nicht-energetische Verbrauch als CO₂-Potential bilanziert wurde, im betrachteten Zeitraum um **5,2% - 5,8%** erhöhen (bezogen auf die Gesamtemissionen, siehe Abbildung). Dieser Prozentsatz repräsentiert den in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs gebundenen Kohlenstoff (vornehmlich Kunststoffe, Bitumen und Schmierstoffe), der in Version 1 berücksichtigt wird, während bei Version 2 der gesamte Brennstoffverbrauch als CO₂-Emissionspotential ausgewiesen wird.

Bei Anwendung der vom IPCC vorgeschlagenen **Default-Werte** für die Kohlenstoffgehalte der Energieträger und die „Fractions of carbon stored“ liegen die Ergebnisse um **3,5 – 4,5% unter den Ergebnissen der Standardvariante**. Hauptursache sind Abweichungen zwischen den Kenndaten der verschiedenen in Deutschland verbrauchten Kohlesorten und den Default-Werten, d.h. die Kohlenstoffgehalte bzw. Emissionsfaktoren der für Deutschland relevanten Kohlesorten sind im Durchschnitt höher als die für die Ermittlung der Default-Werte zugrundegelegten Kohlesorten.

Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren 1990 -1994

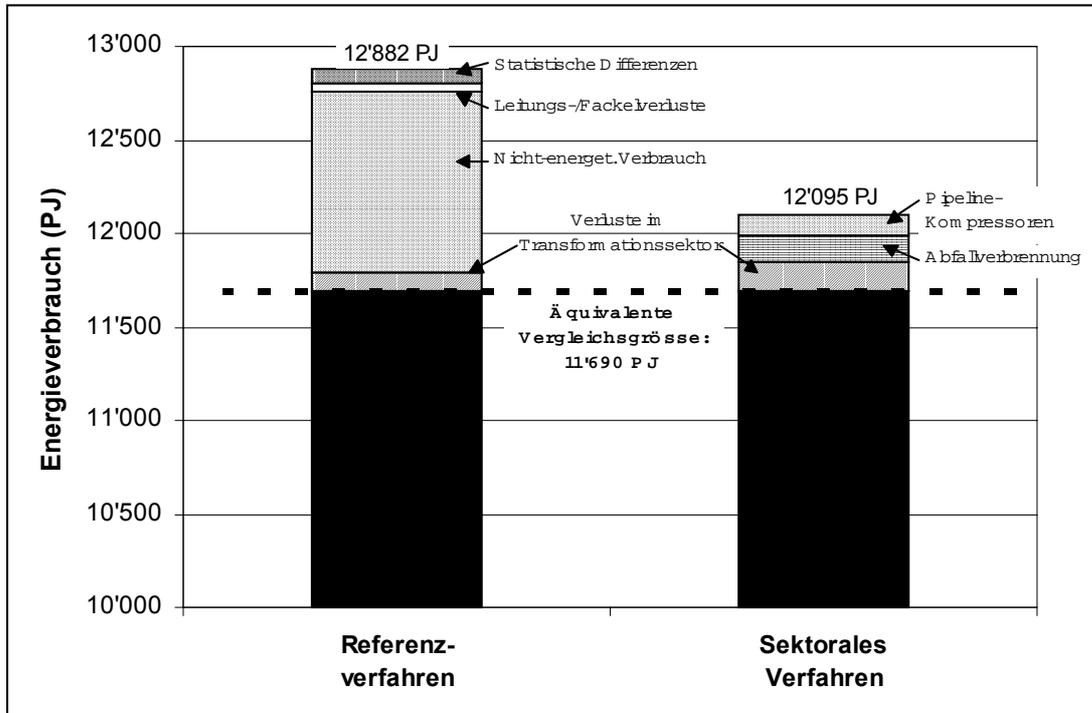


(8) Das Referenzverfahren wird in Deutschland auf der Grundlage der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland (AGE) angewendet.

Bei Verwendung der **Energiebilanz der IEA**, die in der internationalen Berichtserstattung eine wichtige Rolle spielt, ergibt sich eine in der Summe relativ geringe Abweichung der berechneten CO₂-Emissionen von 1,4% nach unten. Ursache sind Unterschiede in den angegebenen Daten, insbesondere zu den Bestandsänderungen der Energieträger und zum Teil auch systematische Unterschiede (im Bereich der Bilanzierung der Mineralölprodukte).²⁾

2) 1993 wurde in der IEA-Energiebilanz für Flüssigbrennstoffe ein Netto-Bestandsaufbau von 2 PJ ausgewiesen, während die Energiebilanz der AGE einen Netto-Bestandsabbau von 133 PJ ausweist. Der Wiedereinsatz von Mineralölprodukten in Raffinerien wird in der AGE-Bilanz bei den Importen und in der IEA-Bilanz als interner Produkttransfer (Refinery Feedstock) verbucht. Die Importangaben für Mineralölprodukte sind daher in der IEA-

Systematische Unterschiede zwischen Referenz- und sektorialem Verfahren (1990)



(9) Die Ergebnisse der „Standardvariante“ des Referenzverfahrens liegen im betrachteten Zeitraum **etwa 3 - 5%** über den CO₂-Emissionen, die mit dem **sektoralen Verfahren**, das in Deutschland für die Emissionsberichtserstattung angewandt wird, ermittelt wurden. Bei Anwendung der groberen „Variante 2“ des Referenzverfahrens (ohne Korrektur für die „Kohlenstoffbindung“) liegt die Abweichung in einer Größenordnung **von 10%**.

- Von diesen Abweichungen sind jeweils **2,5%-Punkte** auf Unterschiede in **den Emissionsfaktoren** bzw. durchschnittlichen **Kohlenstoffgehalten** der Energieträger zurückzuführen, die beim Referenzverfahren nicht so exakt ermittelt werden können wie beim sektoralen Verfahren.
- Der restliche Teil der Abweichungen beruht auf **systematischen Unterschieden** zwischen beiden Verfahren auf der Ebene der zugrundeliegenden **Energieverbräuche**, nämlich bei der Berücksichtigung des NEV, der Abfallverbrennung, statistischen Differenzen und Verlusten im Transformationssektor des Energiesystems inklusive dem Energieverbrauch der Erdgas-Pipelinekompressoren (siehe folgende Abbildung).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Bilanz systematisch geringer als in der AGE-Bilanz.

(10) Eine volle Übereinstimmung der Ergebnisse des IPCC-Referenzverfahrens mit dem **sektoralen Verfahren** kann von vornherein nicht erwartet werden kann, da neben den systematischen Unterschieden auch im Detail **unterschiedliche Zielsetzungen** bestehen. Die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens in Deutschland sollte daher auf Berichterstattungsaufgaben im internationalen Rahmen beschränkt bleiben, insbesondere für Ländervergleiche.

(11) Darüber hinaus stellt sich die Frage, welchen **Nutzen Verfeinerungen in der Datenbasis** bei der Anwendung des Referenzverfahrens im nationalen und internationalen Rahmen bringen.

- Für die Anwendung in Deutschland, wie auch für die meisten Länder mit grosser Bedeutung der Kohle als Energieträger bringt die Ermittlung landesspezifischer „**Carbon emission factors**“ eine gewisse **Verbesserung der Genauigkeit** (Deutschland: ca. 4% bezogen auf das Gesamtergebnis), da die IPCC Default-Werte die unterschiedlichen **Kohlesorten** nicht gut repräsentieren. In Ländern mit geringem Kohleanteil dürfte dagegen bereits die Verwendung der Default-Werte ausreichend gute Ergebnisse bringen.
- Für die internationale Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens erscheint der Sinn einer speziellen Ermittlung der „**Fraction of carbon stored**“ zur Korrektur der CO₂-Potentiale um die Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs als zweifelhaft:
 - Auf der einen Seite ist ein erheblicher **Datenermittlungsaufwand** erforderlich, der der Zielsetzung des Referenzverfahrens nach geringen Datenanforderungen zuwiderläuft – selbst in Deutschland liegt keine vollständige Datengrundlage vor. Hinzu kommen **Abgrenzungsfragen** bei der Ermittlung der „gebundenen Kohlenstoffanteile“, die die internationale Vergleichbarkeit der Ergebnisse behindern.
 - Dem steht auf der „Nutzenseite“ in den meisten Ländern nur ein **begrenzter „Genauigkeitsgewinn“** gegenüber, allein schon weil sich der gesamte nicht-energetische Verbrauch meist in einer Grössenordnung von maximal 10% des Primärenergieverbrauchs bewegt. In Deutschland beträgt der „Genauigkeitsgewinn“ 5% bis 6% (siehe oben).

Es ist auch zweifelhaft, ob durch die Verwendung der vom IPCC vorgeschlagenen **Default-Werte** eine Verfeinerung der Ergebnisse erreicht werden kann, da es sich um grobe, nicht auf die Situation in einzelnen Ländern bezogene Abschätzungen handelt.

Unseres Erachtens wäre es daher sinnvoll, bei der internationalen Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens **auf den Korrekturfaktor „Fraction of carbon stored“ gänzlich zu verzichten**, und als Ergebnis das **gesamte CO₂-Potential**, einschliesslich des gesamten nicht-energetischen Verbrauchs, auszuweisen.

(12) Anstelle einer möglichst grossen Verfeinerung der Datenbasis sollte bei der Weiterentwicklung des IPCC-Referenzverfahrens unseres Erachtens der Schwerpunkt auf die Ermittlung zusätzlicher Informationen für die internationale Klimaschutzpolitik gelegt werden, insbesondere der **Beiträge der einzelnen Energieverbrauchssektoren** an den CO₂-Emissionen. Eine solche Differenzierung nach den Haupt-Verursachergruppen, die die Ansatzpunkte für Reduktionsmassnahmen aufzeigen kann, liefert zwar das sektorale Verfahren, für dessen Anwendung fehlen aber in vielen Ländern die Daten.

Eine Möglichkeit besteht in der **Weiterentwicklung des Referenzverfahrens in Richtung des sektoralen Verfahrens** für Länder mit begrenzter Verfügbarkeit von Energiedaten, in dem die Gesamtergebnisse des herkömmlichen Referenzverfahrens mithilfe von „Verteilungsfaktoren“ auf die einzelnen Energieverbrauchssektoren „heruntergebrochen“ werden. Solche „Verteilungsfaktoren“ könnten für jede Brennstoffart (z.B. Steinkohle) als prozentuale Anteile der einzelnen Energieverbrauchs- und Umwandlungssektoren (z.B. Kraftwerke) an den gesamten CO₂-Emissionen definiert werden. Sie könnten anhand von verfügbaren Energiedaten (z.B. Kraftwerkskapazitäten), Energieindikatoren vergleichbarer Länder (z.B. pro-Kopf-Heizenergieverbrauch der Haushalte) und/oder Wirtschaftsdaten (z.B. Bruttonationalprodukt pro Kopf, Wertschöpfung einzelner Industriezweige) abgeleitet werden. Es könnten verschiedene solcher Schätzverfahren entwickelt werden, die jeweils auf spezifische Ländergruppen mit vergleichbarem Entwicklungsstand und vergleichbarer Datenverfügbarkeit angepasst sind.

1. Zielsetzung und Vorgehensweise

Hintergrund

(1) Im Rahmen der internationalen Übereinkünfte zum Klimaschutz von Rio (1992) und des Berliner Mandates (1995) hat sich die Bundesregierung verpflichtet, die nationale Emission klimarelevanter Spurengase zu erheben. Die detaillierte Ermittlung von verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen ist hier von grösster Bedeutung.

(2) Verschiedene Verfahren wurden in den OECD-Ländern zur Ermittlung nationaler Klimagasemissionen, bzw. verbrennungsbedingter CO₂-Emissionen entwickelt.

- Von den Industrieländern werden Klimagasemissionen „routinemässig“ nach einer detaillierten, technologisch orientierten Berechnungsmethode erhoben. Diese Methode setzt auf der Ebene der einzelnen Energieverbrauchssektoren (Endenergieverbrauch) an (Umwandlungssektor, Industrie, Haushalte/Kleinverbrauch und Verkehr) an und wird deshalb als **sektorales Verfahren** bezeichnet. Es ermöglicht differenzierte Aussagen zur Struktur der Emittenten.
- Als alternatives Verfahren wurde vom Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**) die sogenannte **Referenzmethode** entwickelt. Es handelt sich im Gegensatz zum sektoralen Verfahren gewissermassen um eine „Top down-Methode“, die von der Ebene des Primärenergieverbrauchs (Input von Energieträgern in ein Land) ausgeht.
 - Dieses Verfahren ist im Vergleich zur sektoralen Berechnungsmethode sehr viel einfacher zu erheben und kann daher auch von Ländern durchgeführt werden, die nur begrenzte Datengrundlagen im Energiebereich verfügen.
 - Diese Methode eignet sich daher als einheitliches Verfahren für die internationale bzw. weltweite Emissionsberichterstattung und internationale Vergleiche.

Die IPCC-Referenzmethode wurde für die **Bundesrepublik Deutschland** erst pilothaft angewendet. Eine Anpassung des Verfahrens auf die spezifisch deutschen Bedingungen unter Berücksichtigung des Abgleichs mit dem bisher praktizierten sektoralen Verfahren („Standardverfahren“) steht noch aus.

Zielsetzung des Vorhabens

(3) **Primäres Ziel** dieses Vorhabens ist es, die verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen entsprechend der IPCC-Methode für die Jahre 1990 bis 1994 zu berechnen, und zwar unter Verwendung „**nationaler Faktoren**“ (Heizwerte, C-Gehalte, gespeicherter Kohlenstoff und Oxidationsgrad). Hierzu sollen die Ergebnisse der obengenannten, sozusagen „feineren“ Me-

thoden einbezogen werden. Durch den Vergleich mit den „feineren“ Methoden der CO₂-Ermittlung sind die methodischen und praktischen **Grenzen** der IPCC-Methode zu identifizieren.

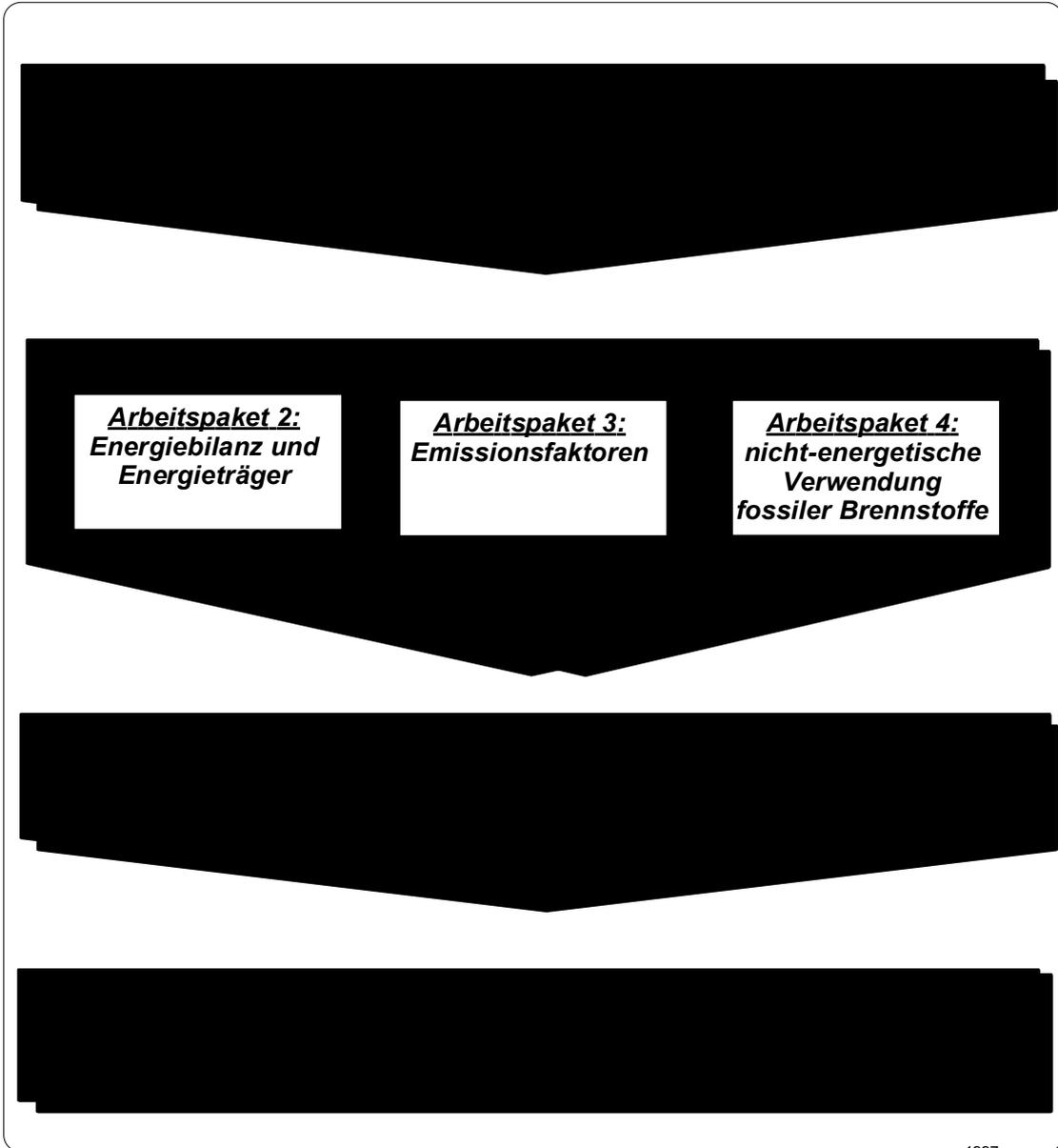
Besonderes Augenmerk ist auf die Rolle des „**gespeicherten Kohlenstoffs**“ zu legen: Ein Teil des Verbrauchs fossiler Brennstoffe geht in die **nicht-energetische Verwendung** zur Herstellung von Produkten (Schmierstoffe, Bitumen, Kunststoffe, usw.). Nur ein Teil des darin enthaltenen Kohlenstoffs wird aber tatsächlich längerfristig gespeichert (z.B. Kunststoffe, Bitumen), der andere Teil wird kurzfristig zu CO₂ oxidiert (z.B. Einsatz von Erdgas zur Ammoniakherstellung).

Untersuchungsprogramm

(4) Abbildung 1-1 gibt einen **Überblick** über das Untersuchungsprogramm:

- In Arbeitspaket 1 erfolgt eine methodische Analyse des IPCC-Referenzverfahrens, auch im Vergleich zu den sektoralen Verfahren zur Ermittlung verbrennungsbedingter CO₂-Emissionen.
- Anschliessend werden die verfügbaren Daten zu fossilen Brennstoffen, ihrer energetischen und nicht-energetischen Verwendung sowie zu Emissionsfaktoren erfasst, die für die Anwendung des IPCC-Verfahrens benötigt werden (Arbeitspakete 2 bis 4).
- Aus den vorhandenen Energiebilanzen für die Bundesrepublik (unter Hinzuziehung von Aussenhandels- und Produktionsstatistik sowie Verbrauchsstatistiken) werden die Verbrauchsmengen fossiler Energieträger ermittelt (Arbeitspaket 2). Hierbei wird geprüft, inwiefern die im IPCC-Referenzverfahren vorgesehene Energieträgerstruktur ausreicht, um die heimischen und importierten Energieträger in Deutschland zu beschreiben.
- Im Arbeitspaket 3 werden Emissionsfaktoren für die Energieträger differenziert nach Herkunft und Beschaffenheit für deutsche Verhältnisse ermittelt.
- Die nicht-energetische Verwendung fossiler Brennstoffe und der dabei gespeicherte Kohlenstoff sowie die Verbrennung nachwachsender Rohstoffe wird in Arbeitspaket 4 ermittelt und beleuchtet.
- In Arbeitspaket 5 werden auf Basis der erhobenen Daten die verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen entsprechend dem auf Deutschland angepassten IPCC-Referenzverfahren für die Jahre 1990 bis 1994 berechnet.
- Durch Vergleich des auf Deutschland angepassten IPCC-Referenzverfahrens mit dem sektoralen Verfahren im Hinblick auf Methodik und Datenbasis werden die wesentlichen „kritischen Punkte“ für die internationale Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens herausgearbeitet.

Abbildung 1-1: Untersuchungsprogramm



2. Methodische Grundlagen

Die energiebedingten CO₂-Emissionen resultieren aus der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern. Die Höhe der Emissionen ergibt sich dabei aus den Verbrauchsmengen und den Kohlenstoffgehalten dieser Energieträger. Zur Berechnung der energiebedingten CO₂-Emissionen eines Landes können zwei Ansätze unterschieden werden:

1. **Sektorales Verfahren:** Dieser Ansatz stellt das „Standardverfahren“ des Umweltbundesamtes und anderer Institutionen in Deutschland dar. Auch Prognos hat im Rahmen der Energieprognosen diesen Ansatz verwendet. Die CO₂-Emissionen werden dabei „am Ort ihrer Entstehung“, d.h. den einzelnen Verbrennungsprozessen bzw. Energieverbrauchssektoren, bilanziert. Für jede einzelne „Technologie“ (Verbrennungsprozess bzw. Verbrauchssektor) werden die Emissionen aus dem Brennstoffverbrauch und einem CO₂-Emissionsfaktor, der sich aus dem Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes und den Verbrennungsbedingungen (Verbrennungswirkungsgrad) ergibt, errechnet:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{-Emissionen bei Verbrennung von Energieträger } i \text{ in Prozess } j \text{ (t/a)} \\ = \\ \text{Verbrauch von Energieträger } i \text{ in Prozess/Sektor } j \text{ (TJ/a)} \\ \times \\ \text{CO}_2\text{-Emissionsfaktor von Energieträger } i \text{ in Prozess/Sektor } j \text{ (t CO}_2\text{/TJ)} \end{aligned}$$

Der Bottom up-Ansatz setzt daher am Endenergieverbrauch (Industrie, Verkehr, Haushalte und Kleinverbraucher) und an den Verbrennungsprozessen im Umwandlungssektor (Strom- und Wärmeerzeugung, Eigenverbrauch des Umwandlungssektors) an.

2. **IPCC-Referenzverfahren:** Da der sektorale Ansatz detaillierte Daten zu Brennstoffeinsatz und Brennstoffkennwerten in den einzelnen Endverbrauchs- und Umwandlungssektoren erfordert, die in vielen Ländern nicht verfügbar sind, wurde mit dem IPCC-Referenzverfahren ein „Top-Down Ansatz“ entwickelt, der geringere Anforderungen an die Datenlage stellt. Er setzt bei der Erzeugung von Primärenergieträgern und dem Import an (Primär- und Sekundär-)Energieträgern an.

2.1 Charakterisierung des IPCC-Referenzverfahrens

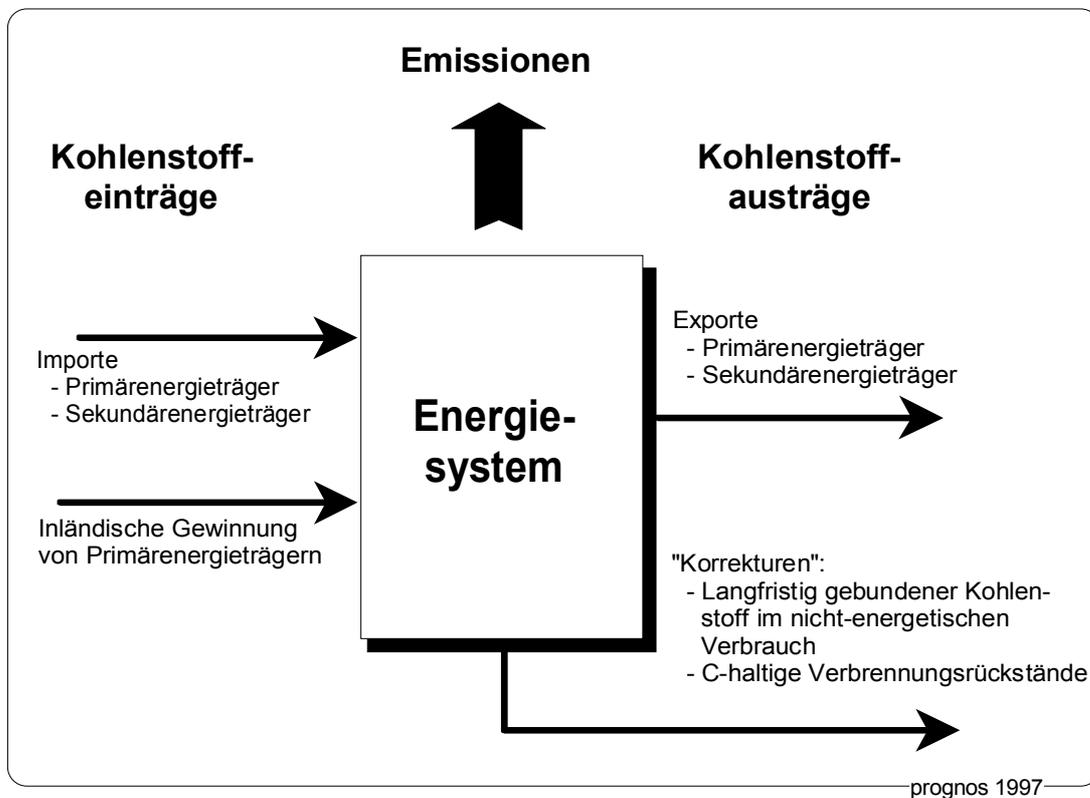
- (1) Anhang 1 enthält eine Beschreibung des **IPCC-Referenzverfahrens**. Das **Prinzip** lässt sich wie folgt beschreiben:

Ausgangspunkt ist eine hochaggregierte **Kohlenstoffbilanz** des Energiesektors, der als „Black Box“ betrachtet wird (siehe Abbildung 2-1). Die aus dem Energiesektor (pro Jahr) emittierte Menge an Kohlenstoff ergibt sich danach aus der Massenbilanzgleichung als Differenz zwischen den in den Energieträgern eingetragenen und ausgetragenen Kohlenstoffmengen, unter Berücksichtigung von Lagerbestandsänderungen:

$$\begin{aligned}
 & \text{Verbrennungsbedingt emittierter Kohlenstoff (t/a)} \\
 & = \\
 & \text{Kohlenstoffeintrag in den Energiesektor (Input von Energieträgern (t/a) \times \text{Kohlenstoffgehalt})} \\
 & - \\
 & \text{Kohlenstoffaustrag aus dem Energiesektor (Output von Energieträgern (t/a) \times \text{Kohlenstoffgehalt})} \\
 & + \\
 & \text{Bestandsänderungen an Energieträgern}
 \end{aligned}$$

Die CO₂-Emissionen werden dann anhand der Molgewichte direkt aus den emittierten Kohlenstoffmengen (CO₂ = 44/12 · C) errechnet. Im IPCC-Referenzverfahren werden daher alle kohlenstoffhaltigen Emissionen als CO₂ gerechnet (siehe unten).

Abbildung 2-1: Grundprinzip des IPCC-Referenzverfahrens



Die Kohlenstoffeinträge sind verbunden mit:

- Importen an Primärenergieträgern (z.B. Erdöl, Erdgas) und Sekundärenergieträgern (z.B. Heizöl, Motorenbenzin, Koks) und
- der inländischen Gewinnung von Primärenergieträgern.

Die Kohlenstoffausträge sind verbunden mit:

- Exporten an Primär- und Sekundärenergieträgern
- Bunkerungen (Brennstoffverbrauch der Hochseeschifffahrt und des internationalen Flugverkehrs).

Beim IPCC-Referenzverfahren müssen daher nur die in den Energiesektor eintretenden und die aus dem Energiesektor austretenden Energieträger- bzw. Kohlenstoffmengen ermittelt

werden. Gegenüber dem sektoralen Verfahren werden die Datenanforderungen hierdurch deutlich verringert.

Das IPCC-Verfahren sieht sodann noch folgende **Korrekturen** der Kohlenstoffbilanz um nicht-emissionsrelevante Kohlenstoffmengen vor:

- Kohlenstoffaustrag in kohlenstoffhaltigen Verbrennungsrückständen (z.B. Russ) und
- langfristig gebundener Kohlenstoff in Folgeprodukten des nicht-energetischen Einsatzes von Energieträgern (z.B. Einsatz von Naphtha zur Kunststoffherstellung).

Kohlenstoffbindungen und -freisetzungen im nicht-energetischen Verbrauch werden in Kapitel 3.3 detailliert betrachtet.

(2) Ausgehend von diesem Grundprinzip sind hinsichtlich der **Zielrichtung** des IPCC-Verfahrens folgende Punkte hervorzuheben:

- **Regionale Bezugsebene:** Das Referenzverfahren zielt vom Grundansatz *nicht* auf die Ermittlung der innerhalb der Grenzen eines Land in die Atmosphäre freigesetzten Emissionen (regionale Bezugsebene bestimmt durch CO₂-Freisetzung), sondern auf die Emissionen, die sich (im Inland oder im Ausland) aus dem Kohlenstoffgehalt der (netto) in dem Land eingesetzten Energieträger³⁾ ergeben.
- **Emissionsbezug:** Zielsetzung des IPCC-Referenzverfahrens ist die Ermittlung des CO₂-**Emissionspotentials** aufgrund des Einsatzes kohlenstoffhaltiger Energieträger. Dieses Emissionspotential führt nicht vollständig zu **tatsächlichen** CO₂-Emissionen:
 - Ausser als CO₂ wird Kohlenstoff aus Energieträgern noch in Form **anderer Verbindungen** emittiert, insbesondere als VOC (flüchtige organische Verbindungen, z.B. Verdampfungsverluste bei der Kraftstoffverteilung), Kohlenmonoxid (bei allen Verbrennungsprozessen) und Methan (z.B. Leitungsverluste im Erdgasnetz). Beim IPCC-Referenzverfahren wird jeglicher Kohlenstoff als CO₂-Potential ausgewiesen.⁴⁾
 - Ein Teil des Primärenergieeinsatzes wird ausserhalb des Energiesektors verbraucht, u.a. zur Herstellung von Kunststoffen (**nicht-energetischer Verbrauch NEV**). Die im NEV enthaltene Kohlenstoffmenge verteilt sich ausgehend von den Rohstoffen/Energieträgern (z.B. Naphtha, LPG, Erdgas) über verschiedene Zwischenproduktstufen (z.B. Ethen - Polyethylen, Propen - Polypropylen) in ein breites Spektrum an Endprodukten (z.B. Verpackungen, Kunststoffrohre, Lösemittel), die schliesslich nach Ablauf ihrer Nutzung als Abfall entsorgt werden (siehe Kapitel 3.3). Im Verlaufe dieser verzweigten „Folgeproduktketten“ wird der eine Teil

3) Unter dem Einsatz an Energieträgern verstehen wir: Produktion + Import - Export.

4) Dieses Vorgehen kann im übrigen damit gerechtfertigt werden, dass ein Grossteil dieser Emissionen nach mehr oder weniger langen Zeiträumen (einige Tage bis zu 10 Jahren) in der Atmosphäre letztlich doch zu CO₂ oxidiert wird (z.B. photochemische Umsetzung von VOC).

des über die Energieträger eingetragenen Kohlenstoffs **freigesetzt**, und zwar als

- * CO₂ aus Verbrennungsprozessen (z.B. interner Brennstoffverbrauch von Crackanlagen der Petrochemie, Verbrennung von Produktions- und Post-Consumer-Abfällen),
- * prozessbedingte (nicht-verbrennungsbedingte) Kohlenstoffemissionen als CO₂ (z.B. bei der Ammoniaksynthese)
- * oder prozessbedingte sonstige Kohlenstoffemissionen bzw. Kohlenstoffemissionen aus kurzlebigen Produkten (z.B. Lösemittel und via Verbrennung entsorgte Verpackungen).

Der andere Teil des Kohlenstoffs geht in **langlebige Produkte** (z.B. Kunststoffrohre, Strassenbelag) und bleibt dort längerfristig **gebunden**, d.h. wird längerfristig nicht emissionsrelevant.

Die Kohlenstoffbilanz im NEV wird noch dadurch verkompliziert, dass sowohl auf der Ebene der Zwischenprodukte als auch der Endprodukte und Abfälle **Exporte** erfolgen. In den einzelnen Empfängerländern kann sich der weitere Verbleib der Produkte bzw. Abfälle unterscheiden, was je nach Empfängerland zu unterschiedlichen Anteilen an freigesetztem und gebundenem Kohlenstoff führen kann.

- Bei Verbrennungsprozessen kann es vorkommen, dass ein (geringer) Teil des Kohlenstoffs nicht oxidiert wird (unvollständige Verbrennung) und **in Verbrennungsrückständen gebunden** wird.

(3) Das IPCC-Referenzverfahren sieht die Möglichkeit vor, die Kohlenstoffbindung in Folgeprodukten des nicht-energetischen Verbrauchs und in Verbrennungsrückständen in der Kohlenstoffbilanz durch **Korrekturfaktoren** zu berücksichtigen, mit denen das gesamte CO₂-Potential um die nicht CO₂-relevanten Kohlenstoffanteile reduziert wird („fraction of carbon stored“ für die Kohlenstoffbindung im NEV und „fraction of carbon oxidised“ für die Kohlenstoffbindung in Verbrennungsrückständen).

Je nachdem, welche **Zielsetzung** mit der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens im Detail verfolgt wird, kann die Bedeutung der Korrekturfaktoren unterschiedlich verstanden werden:

- Die ursprüngliche Zielsetzung des IPCC-Referenzverfahrens besteht in der Ermittlung des **CO₂-Emissionspotentials** des Energieträgereinsatzes. Die Korrekturfaktoren sind dann als **optionale, relativ grobe Abschätzungen** zu verstehen, um das ermittelte Emissionspotentials in bezug auf die CO₂-Relevanz stärker einzugrenzen.
- Nach einer anderen Interpretation⁵⁾ zielt das IPCC-Referenzverfahren auf die (mög-

5) z.B. Gielen, D.G.: Potential CO₂-Emissions in The Netherlands Due to Carbon Storage in Materials and Products, in: AMBIO, Vol. 26 (1997), No. 2, S. 101-106.

lichst genaue) Ermittlung der **tatsächlichen CO₂-Emissionen**, die aus dem Energieträgereinsatz eines Landes resultieren, ab. Die Korrekturfaktoren sollen demzufolge nach dieser Interpretation ein möglichst genaues Mass der tatsächlichen Kohlenstoffbindung in den Folgeprodukten des NEV bzw. in Verbrennungsrückständen darstellen. Dies macht detaillierte Materialflussanalysen erforderlich, um den tatsächlichen Weg des Kohlenstoffs in den Folgeproduktketten des NEV zu ermitteln (siehe unten).

Diese Interpretation **entspricht u.E. nicht der ursprünglichen Intention des Referenzverfahrens**. Dies ergibt sich schon aus der Hauptzielrichtung, ein Verfahren mit möglichst weltweiter Anwendungsmöglichkeit bereitzustellen. Dieses Ziel ist nur bei entsprechend geringen Anforderungen an die Datenbasis zu erreichen.

(4) Bei der Anwendung des IPCC-Verfahrens ist schliesslich noch auf folgende **Besonderheiten** hinzuweisen:

- Die grösste Teil der benötigten Daten zu den Energieträgermengen ergibt sich direkt aus der **Energiebilanz**. Das IPCC-Verfahren nimmt hier Bezug auf die Energiebilanzen der Internationalen Energieagentur (IEA), unter anderem hinsichtlich der Abgrenzung der Energieträger. IEA-Energiebilanzen liegen für eine grosse Zahl von Ländern vor. Die von der AG Energiebilanz in Deutschland erstellten Energiebilanzen unterscheiden sich allerdings (noch) in einigen Abgrenzungen und ausgewiesenen Daten von der IEA-Bilanz. Die Verwendung der Daten der AG Energiebilanz bei der Anwendung der IPCC-Verfahrens kann somit im internationalen Vergleich zu gewissen Inkonsistenzen führen (siehe Kapitel 3.1.2).
- Mit dem IPCC-Referenzverfahren ist es möglich, allein aufgrund der Energieträgermengen eine Abschätzung der energiebedingten CO₂-Emissionen eines Landes vorzunehmen. Für die Kenndaten der Energieträger (Heizwerte, Kohlenstoffgehalte), Oxidationsgrade bei der Verbrennung und die Kohlenstoffbindung im nicht-energetischen Verbrauch hat der IPCC „**Default Data**“ ermittelt, die teilweise auch länderspezifische Differenzierungen enthalten. Vom Ansatz her handelt es sich aber um pauschale Schätzwerte, die Strukturveränderungen im Brennstoffeinsatz der Länder (z.B. Veränderungen in der Zusammensetzung des Kohleverbrauchs nach verschiedenen Fördergebieten) nicht berücksichtigen. Genauere Ergebnisse erfordern daher die Ermittlung länderspezifischer und ggf. „variabler“ Default-Werte, die von Jahr zu Jahr entsprechend der wechselnden Brennstoffeinsatzstruktur separat ermittelt werden. In Deutschland ist hierzu eine relativ gute Datenbasis vorhanden.
- CO₂-Emissionen aus der **Verbrennung nachwachsender Rohstoffe** (z.B. Holz) werden in der CO₂-Bilanz nicht berücksichtigt, da es sich hierbei um einen geschlossenen Kohlenstoffkreislauf (Pflanzen sind eine „Kohlenstoffsenke“) handelt. Diese Emissionen werden im IPCC-Verfahren nur informativ ausgewiesen.
- Ebenso nicht explizit berücksichtigt werden CO₂-Emissionen aus der **Abfallverbrennung** (siehe unten, 2.2): Einen Bestandteil der Abfälle bilden Produkte auf Basis von Energieträgern des nicht-energetischen Verbrauchs (insbesondere Kunststoffe). Die Verbrennung dieser Menge wird bei der Berechnung des Anteils des langfristig gebun-

denen Kohlenstoffs am nicht-energetischen Verbrauch ermittelt und berücksichtigt. Die organischen Abfallbestandteile (z.B. Speisereste, Papier) sind wie nachwachsende Rohstoffe zu behandeln und daher ebenso wie inerte Bestandteile (z.B. Glas, Metalle) nicht CO₂-relevant.

2.2 Vergleich zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektoralen Verfahren

(1) Tabelle 2.1 enthält einen Vergleich zwischen dem IPCC-Referenzverfahren und dem sektoralen Verfahren.

Die **Zielsetzungen** beider Verfahren unterscheiden sich:

- Zielsetzung des IPCC-Referenzverfahrens ist die Ermittlung des **CO₂-Emissionspotentials** der in einem Land eingesetzten Energieträger.
- Dagegen werden beim sektoralen Ansatz die **tatsächlichen CO₂-Emissionen** aus der Verbrennung von Energieträgern bei den einzelnen Emittentengruppen ermittelt.⁶⁾

Da das Emissionspotential nicht vollständig zu tatsächlichen Emissionen führt (s.o., 2.1), sind die vom IPCC-Referenzverfahren ausgewiesenen CO₂-Gesamtemissionen tendenziell höher als beim sektoralen Verfahren.

6) In einigen Interpretationen wird dem IPCC-Verfahren allerdings die gleiche Zielsetzung zugeschrieben (s.o., 2.1).

Tabelle 2.1: Vergleich zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektoralem Verfahren

Vergleichskriterien	IPCC-Referenzverfahren	Sektorales Verfahren
Zielsetzung	Ermittlung des CO ₂ -Emissionspotentials des Energieträgereinsatzes in Land X ^{a)}	Ermittlung der tatsächlichen CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von Energieträgern
Systematische Differenzen der Ergebnisse (ausgewiesene verbrennungsbedingte CO ₂ – Emissionen):		
(Nicht CO ₂ -relevante) stoffliche Verluste in Teilen des Umwandlungssektors (Kokerei, Brikettfabrik, etc.)	enthalten	nicht enthalten
Emissionen in NEV-Folgeproduktkette:		
– verbrennungsbedingte CO ₂ -Emissionen	enthalten	teilweise enthalten (nicht enthalten: CO ₂ aus Energieverbrauch der Steamcracker)
– nicht-verbrennungsbedingte CO ₂ -Emissionen	enthalten, falls keine Korrektur „fraction of carbon stored“	nicht enthalten
– nicht-verbrennungsbedingte sonstige Kohlenstoff-Emissionen	enthalten, falls keine Korrektur „fraction of carbon stored“	nicht enthalten
Gebundener Kohlenstoff in langlebigen Folgeprodukten des NEV	enthalten	nicht enthalten
Leitungs- u. Fackelverluste (Gase ohne Klärgas)	enthalten	nicht enthalten
Statistische Differenzen in der Energiebilanz:		
– Energieangebot > Endenergieverbrauch	– enthalten	– nicht enthalten
– Energieangebot < Endenergieverbrauch	– nicht enthalten	– enthalten
Emissionen aus der Abfallverbrennung	teilweise enthalten (nur Folgeprodukte des NEV)	enthalten
Emissionen aus Brennstoffverbrauch der Erdgas-Pipeline-Kompressoren	nicht enthalten	enthalten
Qualität der Ergebnisse		
Differenzierungsgrad	gering: CO ₂ -Gesamtemissionen, bedingt nach Brennstoffgruppen differenzierbar	hoch: Differenzierung der CO ₂ -Emissionen nach Sektoren (= Verursacher) und Brennstoffen
Genauigkeit der Kohlenstoffbilanzen	tendenziell geringer, da grössere Schwankungen der Kenndaten bei Primärenergieträgern	tendenziell genauer, da Brennstoffspezifikationen auf der Endenergie-Ebene genauer sind als auf Primärenergie-Ebene
Datenanforderungen	geringer ^{b)}	höher

a) nach einzelnen Interpretationen auch: möglichst genaue Ermittlung der tatsächlichen CO₂-Emissionen
 b) falls Ziel des IPCC-Referenzverfahrens in der möglichst genauen Ermittlung der tatsächlichen CO₂-Emissionen gesehen wird: Datenanforderungen noch höher als beim sektoralen Ansatz (Materialflussanalysen erforderlich)

(2) Vor allem aus diesem Unterschied in der Zielsetzung resultieren die folgenden **systematischen Unterschiede der Ergebnisse** beider Verfahren:

- Der „Umwandlungssektor“ in der Energiebilanz besteht aus den Kraftwerken zur Erzeugung von Strom und Fernwärme und einem zweiten Teilssektor, bestehend aus Raffinerien, Kokereien, Ortsgaswerken, Brikettfabriken, Hochöfen und „sonstigen Energieerzeugern“. Im zweiten Teilssektor finden stoffliche **Umwandlungsverluste** statt (Stoffumwandlungen in nicht-energetisch genutzte Produkte oder Abfälle), die nicht CO₂-emissionsrelevant sind. Diese Verluste werden beim IPCC-Referenzverfahren in das CO₂-Emissionspotential eingerechnet, nicht jedoch beim sektoralen Verfahren.
- Der für die CO₂-Ermittlung zugrundegelegte Energieverbrauch enthält beim IPCC-Referenzverfahren auch den **nicht-energetischen Verbrauch** (NEV). Je nachdem, ob ein Korrekturfaktor „fraction of carbon stored“ angesetzt wird oder nicht, wird entweder der gesamte oder nur ein Teil des NEV als Emissionspotential ausgewiesen. Beim sektoralen Ansatz wird dagegen von den Kohlenstofffreisetzungen aus den Folgeprodukten des NEV nur die Abfallverbrennung bilanziert (geschätzter Anteil, der fossilen Ursprungs ist). Somit sind im Ergebnis des IPCC-Referenzverfahrens ohne Korrektur durch einen Anteil „Carbon stored“ gegenüber dem sektoralen Verfahren folgende CO₂-Mengen zusätzlich enthalten:
 - nicht-verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen aus Folgeprozessen des NEV und
 - nicht-verbrennungsbedingte sonstige kohlenstoffhaltige Emissionen aus Folgeprozessen des NEV (z.B. Lösemittelmmissionen).
- Die in **langlebigen Folgeprodukten des NEV** gebundene Kohlenstoffmenge wird beim IPCC-Referenzverfahren als Emissionspotential behandelt, wenn kein Korrekturfaktor „fraction of carbon stored“ verwendet wird. Beim sektoralen Verfahren ist diese Menge in den ausgewiesenen CO₂-Emissionen *nicht* enthalten.
- Die CO₂-Emissionen an der **Abfallverbrennung** werden entsprechend der gegenwärtigen Praxis des Umweltbundsamtes beim sektoralen Ansatz in den verbrennungsbedingten Emissionen ausgewiesen. Streng genommen müsste hieraus der Emissionsanteil, der auf die erneuerbaren Abfallanteile (z.B. Organik) zurückzuführen ist, herausgerechnet werden. Beim Referenzverfahren ist nur der Teil der CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung im Ergebnis enthalten, der auf Folgeprodukte des nicht-energetischen Verbrauchs zurückzuführen ist.

Die folgenden Unterschiede sind mit dem spezifischen Aufbau der deutschen bzw. IEA-Energiebilanz verbunden:

- **Leitungs- und Fackelverluste** aus Transport und Handling von Gasen sind beim IPCC-Referenzverfahren im CO₂-Emissionspotential enthalten. Beim sektoralen Ansatz werden diese Verluste als flüchtige Emissionen (Methan, VOC) aus Brennstoffabbau und -verteilung verbucht, und nicht als verbrennungsbedingte Emissionen.

- Die Energiebilanz enthält **statistische Differenzen** zwischen dem Endenergieangebot (abgeleitet aus dem Primärenergieeinsatz) und dem Endenergieverbrauch („nachfrageseitig“ abgeleitet aus dem Verbrauch der einzelnen Verbrauchssektoren Industrie, Verkehr, Haushalte, usw.). Da das sektorale Verfahren auf der nachfrageseitig ermittelten und das IPCC-Referenzverfahren auf der angebotsseitig ermittelten Verbrauchsmenge basiert, führen die statistischen Differenzen zu unterschiedlichen Ergebnissen.
- Emissionen aus dem Brennstoffeinsatz der **Kompressoren der Erdgas-Pipelines** werden beim sektoralen Einsatz berücksichtigt, nicht aber beim IPCC-Referenzverfahren, da diese Energiemengen nicht in der Energiebilanz ausgewiesen werden.

(3) Hinsichtlich der **Qualität der Ergebnisse** besteht der wesentliche Vorteil des sektoralen Verfahrens in der Aufschlüsselung der CO₂-Emissionen nach Energieverbrauchssektoren und Energieträgern. Damit wird eine Zuordnung der Emissionsmengen zu den (direkten) Verursachern der Emissionen möglich. Dies ist Voraussetzung für umweltpolitische Aussagen und Massnahmen. Das IPCC-Referenzverfahren liefert dagegen nur hochaggregierte Angaben zu den CO₂-Emissionen, die lediglich eine Differenzierung nach den einzelnen Energieträgergruppen fest, flüssig, gasförmig möglich machen.

Hinzu kommt, dass beim IPCC-Referenzverfahren die Kohlenstoffmengen wegen Schwankungen im durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt der Primärenergieträger (z.B. wegen von Jahr zu Jahr schwankenden Anteilen von Importkohlen unterschiedlicher Herkunft und Qualitäten) und Schwankungen in der Absatzstruktur der Folgeprodukte (z.B. Mineralölprodukte mit unterschiedlichen C-gehalten) nicht so genau erfasst werden können wie beim sektoralen Verfahren, wo die Kohlenstoffmengen auf der Ebene der Verbraucher erfasst werden, wo sie relativ geringen Schwankungen unterliegen.

(4) Der tendenziell geringeren Genauigkeit des IPCC-Referenzverfahrens steht der deutlich geringere Bedarf an **Daten** gegenüber. Dies gilt insbesondere für die zugrundeliegenden Energieverbrauchsdaten, die beim sektoralen Verfahren für jeden Sektor einzeln ermittelt werden müssen.

Wird die Zielsetzung des IPCC-Referenzverfahrens allerdings in der möglichst genauen Ermittlung der CO₂-Emissionen gesehen (siehe oben), so sind die Anforderungen an die Daten noch höher als beim sektoralen Ansatz. Denn zur Ermittlung der Korrekturfaktoren „fraction of carbon stored“ sind umfangreiche Materialflussanalysen erforderlich, es sei denn, man begnügt sich hilfswiese mit den vom IPCC vorgegebenen „Default-Werten“.

(5) Unabhängig von der Interpretation der Zielrichtung des IPCC-Referenzverfahrens bleibt als **Zwischenfazit** aus dem methodischen Vergleich folgendes festzuhalten:

- Allein aufgrund der methodischen Unterschiede ist eine (exakte) **Übereinstimmung der Ergebnisse** von sektoralen Verfahren und IPCC-Referenzverfahren **nicht zu er-**

warten.

- Für die CO₂-Berichterstattung der Bundesrepublik Deutschland bedeutet dies, dass bei Anwendung beider Verfahren unterschiedliche Angaben zu den CO₂-Emissionen resultieren. Dies ist insofern akzeptabel, als beide Verfahren für unterschiedliche Anwendungszwecke eingesetzt werden. So dient das IPCC-Referenzverfahren hauptsächlich internationalen Vergleichen mit einer einheitlichen Methode, die auch die Einbeziehung von Ländern mit begrenzten Energiedaten möglich macht.

2.3 Methodische Festlegungen bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens für Deutschland

(1) In der Tabelle 2.2 sind die wesentlichen „Problemfelder“, die bei der Anwendung des IPCC-Verfahrens zu berücksichtigen sind, zusammengefasst. Die Festlegungen, die für die Anwendung des IPCC-Verfahrens für Deutschland zu den einzelnen „Problemfeldern“ getroffen wurden, werden im folgenden aufgeführt.

Zielsetzung/Methodik

(2) Zielsetzung des IPCC-Referenzverfahrens ist die Ermittlung des CO₂-Emissionspotentials der in einem Land eingesetzten Energieträger. Vor dem Hintergrund der internationalen Anwendbarkeit des Verfahrens kann dies auf der Grundlage einer relativ einfachen Datenbasis erfolgen. Aufgrund der guten Verfügbarkeit von Energiedaten wird das Verfahren hier mit deutschlandspezifischen Daten und Korrekturfaktoren (insbesondere bzgl. Brennstoffkennwerten und Kohlenstoffbindung in den Folgeprodukten des NEV) angewendet, um eine Verfeinerung der Ergebnisse zu erreichen.

Tabelle 2.2: „Problemfelder“ und methodische Festlegungen für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens für Deutschland

	„Problemfeld“	Festlegung
1. Zielsetzung/ Methodik	Unterschiedliche Interpretationen der generellen Ziele des IPCC-Referenzverfahrens (siehe 2.1)	<ul style="list-style-type: none"> → IPCC-Referenzverfahren dient der Ermittlung des CO₂-Potentials der im Land eingesetzten Energieträger → Verfeinerung der Ergebnisse durch „deutschlandspezifische Faktoren“ für Energie- und Emissionsdaten
2. Korrekturfaktoren	Unterschiedliche Interpretationen der Faktoren: <ul style="list-style-type: none"> – optionale Korrekturfaktoren – vs. Abbildung der tatsächlichen Kohlenstoffbindung 	<ul style="list-style-type: none"> → Es handelt sich um optionale Korrekturfaktoren → Berechnung von zwei Varianten bzgl. „fraction of carbon stored“: <ul style="list-style-type: none"> – ohne Anwendung von Korrekturfaktoren (NEV vollständig emissionsrelevant) – Anwendung von Korrekturfaktoren, die auf möglichst genauen Abschätzungen der C-Bindung beruhen
„Fraction of Carbon Stored“	Abgrenzungsprobleme bei der Ableitung der fraction of carbon stored“: <ul style="list-style-type: none"> – kurzfristige – langfristige Kohlenstoffbindung – verbrennungsbedingte – nicht verbrennungsbedingte Kohlenstofffreisetzung – Bilanzierung von Importen und Exporten von C-haltigen Folgeprodukten des NEV 	<ul style="list-style-type: none"> – ca. 20 Jahre, Orientierung an vorhandenen Arbeiten – Orientierung an bisheriger Praxis des UBA – Bilanzierung nach dem „Produzentenprinzip“: Importe werden nicht berücksichtigt; Bilanzierung der Exporte in den Empfängerländern, falls möglich
„Fraction of Carbon Oxidised“	Länderspezifische Ermittlung oder IPCC-Default-Werte	→ „Fraction of carbon oxidised“ wird nicht berücksichtigt, da nicht relevant (gleiches Vorgehen wie beim sektoralen Ansatz)
3. Energiebilanz	Abweichungen zwischen international gebräuchlicher Energiebilanz der IEA und „deutscher“ Energiebilanz (AG Energiebilanzen)	<ul style="list-style-type: none"> → Als Grundlage wird die „deutsche“ Energiebilanz der AG Energiebilanzen verwendet → Vergleich mit den IEA-Energiebilanzen für Deutschland
4. Brennstoffkennwerte (Kohlenstoffgehalte, Heizwerte)	Länderspezifische Ermittlung oder IPCC-Default-Werte	<ul style="list-style-type: none"> → Ermittlung „deutschlandspezifischer“ Kenndaten → „Sonderrechnungen“ für die wichtigsten Energieträgergruppen zur Berücksichtigung von Schwankungen in den durchschnittlichen Kenndaten (z.B. aufgrund von Schwankungen in der Herkunft der Energieträger)

Korrekturfaktoren

(3) Der Zweck der Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ und „Fraction of carbon oxidised“ liegt in der Verfeinerung der Berechnung der CO₂-Emissionspotentiale aus der einfachen Input-Output-Bilanz der Energieträger. Die Anwendung der Korrekturfaktoren ist daher u.E. als optional anzusehen. Um diesem Zweck der Korrekturfaktoren gerecht zu werden, werden bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens in diesem Vorhaben **zwei Varianten** betrachtet:

- **„Standardvariante“ 1 mit Anwendung eines Korrekturfaktors „Fraction of carbon stored“:** In diesem Fall wird der Korrekturfaktor auf der Grundlage einer möglichst genauen Abschätzung der tatsächlichen Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des NEV ermittelt.
- **Variante 2 ohne Anwendung eines Korrekturfaktors „Fraction of carbon stored“:** In diesem Fall wird der gesamte nicht-energetische Verbrauch von kohlenstoffhaltigen Energieträgern im CO₂-Emissionspotential ausgewiesen.

Der Vergleich der Ergebnisse beider Varianten erlaubt es u.a., den Nutzen der Verwendung verfeinerter Daten für die Genauigkeit der Ergebnisse des IPCC-Referenzverfahrens zu beurteilen.

a. Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern („Fraction of carbon stored“):

Die vom IPCC vorgegebenen „**Default-Werte**“ für diese Anteile sind relativ pauschale, auf Literaturangaben gestützte Abschätzungen, die länderspezifische Besonderheiten nicht berücksichtigen. Ausserdem sind nicht für alle nicht-energetisch verwendeten Energieträger Default-Werte vorhanden.

Die **exakte Ermittlung** der lang- und kurzlebigen Anteile für ein Land macht die **Weiterverfolgung der „Folgeproduktketten“** der als chemische Vorprodukte eingesetzten Energieträger erforderlich (Herstellung chemischer Zwischenprodukte, Herstellung chemischer Produkte, Herstellung von Endprodukten bis hin zur Abfallentsorgung). Denn kurzfristige „Freisetzungen“ von Kohlenstoff, die bei der Bilanzierung zu quantifizieren sind, können praktisch auf allen Stufen der „Folgeproduktketten“ stattfinden (z.B. energetische Nutzung während der Weiterverarbeitung von Mineralölprodukten in Steam-Crackern der petrochemischen Industrie; nicht-energetische Umsetzung zu CO₂ bei der Ammoniaksynthese über Erdgas). Sowohl bei der Herstellung als auch nach Gebrauch der Endprodukte fallen (kohlenstoffhaltige) **Abfälle** an. Werden diese verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff oxidiert. Bei Deponierung wird er (je nach Abfallart unterschiedlich) langfristig gebunden. D.h. bei der Erstellung der Kohlenstoffbilanz ist das Abfallentsorgungssystem (Verbleib in den verschiedenen Entsorgungswegen) zu berücksichtigen. Ausserdem finden auf allen Stufen **Importe und Exporte** statt, die zu entsprechenden Kohlenstoffein- bzw. -ausschleusungen führen.

Bei der Ermittlung der langfristig gebundenen Kohlenstoffanteile im nicht-energetischen Verbrauch sind einige **Abgrenzungsfragen** zu klären:

- **Abgrenzung zwischen langfristiger und kurzfristiger Kohlenstoffbindung:**
Die Grenze zwischen lang- und kurzfristiger Kohlenstoffbindung ist nicht eindeutig definiert bzw. definierbar. Bezugnehmend auf die Annahmen in verschiedenen Untersuchungen hierzu, kann man eine Grenze von **20 Jahren** zwischen kurz- und langlebigen Anwendungen festsetzen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass es bei der Abgrenzung **nicht** auf die technische Lebensdauer der aus den nicht-energetisch verbrauchten Energieträgern hergestellten Produkte, sondern auf deren **Verbleib in der Umwelt** ankommt. Beispielsweise haben Kunststoffverpackungen eine technische Lebensdauer von weniger als einem Jahr. Wenn sie nach Gebrauch deponiert werden, liegt dennoch eine langfristige Kohlenstoffbindung vor.

- **Abgrenzung zwischen verbrennungsbedingter und nicht-verbrennungsbedingter Kohlenstofffreisetzung:**
Mit dem IPCC-Referenzverfahren werden nur die verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen ermittelt. Von den in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs kurzfristig freigesetzten bzw. oxidierten Kohlenstoffmengen ist deshalb nur derjenige Teil zu berücksichtigen, der aus energetischen Nutzungen resultiert. Der aus nicht-energetischen Nutzungen resultierende Teil ist in der CO₂-Bilanz den nicht-energetischen Sektoren (z.B. Industrieprozesse) zuzurechnen. Die Abgrenzung zwischen energetischer und nicht-energetischer Nutzung ist allerdings im Einzelfall nicht immer eindeutig. Wir orientieren uns dabei an der bisherigen Praxis des Umweltbundesamtes bei Anwendung der sektoralen Methode. Hierbei sind folgende Fälle hervorzuheben:
 - Bei der **Reformierung von Erdgas** im Rahmen der Ammoniaksynthese wird Kohlenstoff „prozessintern“ zu CO₂ umgesetzt und anschliessend aus dem Produktstrom separiert und teilweise als Ausgangsprodukt für die Harnstoffherstellung genutzt. Da die CO₂-Emissionen nicht aus einem direkten Brennstoffeinsatz resultieren, wurden die CO₂-Emissionen (1993 1,46 Mio. Tonnen) in den vom Umweltbundesamt veröffentlichten Emissionsbilanzen⁷⁾ dem nicht-energetischen Bereich (Industrieprozesse) zugerechnet. Im Rahmen dieses Vorhabens wird daher ebenso verfahren, d.h. die Kohlenstoffmengen werden als **nicht-verbrennungsbedingte Emissionen** bei der Bilanzierung des NEV quasi als gebundener Kohlenstoff behandelt.

 - Analog wird für den Teil der Folgeprodukte des NEV verfahren, der zu **Lösemitteln** verarbeitet wird. Diese werden als nicht-verbrennungsbedingte (und zu dem nicht CO₂-) Emissionen freigesetzt (in Form von VOC) und daher ebenfalls quasi als gebundener Kohlenstoff behandelt.

 - Die **Verbrennung von Abfällen** (Post-Consumer- und Produktionsabfälle) aus den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs erfolgt zwar heute in der Regel mit Rückgewinnung der dabei freiwerdenden E-

⁷⁾ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Klimaschutz in Deutschland. Zweiter Bericht der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen, Bonn 1997.

nergie, Hauptzweck der Verbrennung ist aber die Abfallbeseitigung. Fraglich ist deshalb, ob die resultierenden CO₂-Emissionen (d.h. nur der auf Folgeprodukte des nicht-energetischen Verbrauchs zurückzuführende Anteil) den energiebedingten Emissionen oder den nicht-energiebedingten Emissionen des Sektors „Abfallbehandlung“ zugerechnet werden sollen. In den vom Umweltbundesamt veröffentlichten Emissionsbilanzen erfolgt eine Zurechnung zu den energiebedingten Emissionen (Abfallverbrennung ist Teil des Energieumwandlungssektors). Im Rahmen dieses Vorhabens wird daher ebenso verfahren, d.h. die bei der Abfallverbrennung von Folgeprodukten des NEV freigesetzten Kohlenstoffmengen **werden den verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen zugerechnet.**⁸⁾

- **Bilanzierung der Importe und Exporte von Folgeprodukten des nicht-energetischen Verbrauchs:**

Auf allen Stufen der Weiterverarbeitung des nicht-energetischen Verbrauchs finden Importe und Exporte von Kohlenstoff innerhalb von Produkten und Zwischenprodukten statt. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, wie diese Mengen zu bilanzieren sind:

- **Verbuchung im Land, wo die Emissionen entstehen:** Die Exporte von lang- und kurzlebigen Produktanwendungen werden in der Kohlenstoffbilanz als (nicht-emissionsrelevanter) Austrag verbucht. Importe von lang- und kurzlebigen Produktanwendungen werden als ggf. emissionsrelevante Kohlenstoffzuflüsse verbucht.
- **Verbuchung im Land des Produzenten:** Importe werden nicht berücksichtigt. Dafür wird die Verwendung der Exporte im Ausland „weiterverfolgt“ und der in emissionsrelevante Anwendungen fließende Teil der Exporte wird wie im Inland als emissionsrelevant bilanziert.

Das IPCC-Referenzverfahren zielt auf die Ermittlung des CO₂-Potentials der im Inland eingesetzten Energieträger ab (siehe oben, 2.1). Daraus ergibt sich, dass Importe von Nicht-Energieträgern (z.B. Kunststoffend- und -zwischenprodukte), wie sie bei der Variante „Verbuchung im Land, wo die Emissionen entstehen“ bilanziert werden, beim Referenzverfahren nicht als CO₂-Potential erscheinen. Im Rahmen dieses Vorhabens wird daher vom Grundsatz her nach der zweiten Variante, d.h. dem „**Produzentenprinzip**“ verfahren.

8) Vom IPCC wird die Zurechnung offengelassen. Wenn eine Zurechnung im Sektor Abfallverbrennung erfolgt, ist darauf zu achten, dass keine Doppelzählungen erfolgen und es sollten nur die auf fossile Energieträger zurückgehenden Emissionsanteile bilanziert werden. Die auf erneuerbare Abfallanteile (insbesondere Organik und Papier) zurückzuführenden Emissionen sollen nur informativ unter CO₂-Emissionen aus erneuerbaren Quellen/Biomasse erscheinen.

b. Kohlenstoffbindung in Verbrennungsrückständen („Fraction of carbon oxidised“):

Bei allen Verbrennungsprozessen liegen die Ausbrandgrade („Fraction of carbon oxidised“), die den Anteil an vollständig verbranntem Kohlenstoff bezeichnen, nahe bei 100%. Damit sind die Ausbrandgrade als Einflussfaktor für die CO₂-Bilanz nach dem IPCC-Referenzverfahren von geringerer Bedeutung. Auch im Rahmen der vom Umweltbundesamt und anderen (z.B. FZ Jülich) durchgeführten CO₂-Berechnungen in Deutschland werden keine Ausbrandgrade berücksichtigt.

Bei der Anwendung des Referenzverfahrens für Deutschland werden daher für die Kohlenstoffbindung in Verbrennungsrückständen **keine Korrekturfaktoren** verwendet, d.h. die Faktoren „Fraction of carbon oxidised“ werden auf 100% gesetzt. Dies entspricht im übrigen auch der Zielsetzung des Referenzverfahrens, der Ermittlung des *Potentials* an CO₂-Emissionen.

Energiebilanz

(4) Die Energiebilanz bildet die zentrale Datenbasis für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens. Als Grundlage wird in diesem Vorhaben die **Energiebilanz der AG Energiebilanzen** verwendet.

Im internationalen Kontext ist allerdings die Energiebilanz der IEA, die sich nicht nur im Hinblick auf Methodik und Abgrenzungen, sondern teilweise auch in den Datengrundlagen von der Bilanz der AG Energiebilanzen unterschiedet, Standard. In einer Sonderauswertung für das Jahr 1993 wurde deshalb analysiert, ob die Unterschiede in den Energiebilanzen zu relevanten Differenzen in den errechneten CO₂-Emissionen führen.

Brennstoffkennwerte (Heizwerte, Kohlenstoffgehalte)

(5) Die Brennstoffkennwerte bilden neben den Brennstoffmengen die wesentlichen Datengrundlagen für das IPCC-Referenzverfahren. Das IPCC liefert hierzu „Default Data“, die allerdings nur als „Notbehelf“ zu verstehen sind, wenn keine nationalen Daten verfügbar sind. Grundsätzlich sind daher die „landesspezifischen“ Brennstoffkennwerte zu verwenden.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden daher **„Deutschland-spezifische“ Brennstoffkennwerte** ermittelt. Dabei wird auf die vorhandenen Datenbasen zurückgegriffen (Umweltbundesamt, FZ Jülich/IKARUS-Projekt und Öko-Institut/GEMIS-Projekt).

In der Energiebilanz, die die zentrale Datengrundlage für das IPCC-Verfahren darstellt, werden nur die Gesamtmengen/Gesamtenergiemengen der einzelnen Primärenergieträger ausgewiesen. Im **Primärenergiesatz** kann es von Jahr zu Jahr zu **Veränderungen in der Zusammensetzung** kommen. So kann sich bei der heimischen Erzeugung der Anteil der einzelnen Fördergebiete ändern oder die Zusammensetzung der Importe nach Herkunftsländer kann variieren. Dies kann zu Schwankungen der durchschnittlichen Brennstoffkennwerte (Heizwerte, C-Gehalt) der in der Energiebilanz ausgewiesenen Primärenergieträger führen,

insbesondere bei Festbrennstoffen. Aus diesem Grund werden für die relevanten Energieträger (Stein- und Braunkohle, Rohöl, Erdgas) bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens „**Sonderrechnungen**“ durchgeführt, in denen die Primärenergiedaten der Energiebilanz nach Importländern bzw. Fördergebieten differenziert werden. Dadurch wird eine genauere Ermittlung des Kohlenstoffeintrags möglich.

Schwankungen in den CO₂-Emissionen können sich bei gleichem Primärenergieeinsatz dadurch ergeben, dass sich die **Verbrauchsstruktur** der damit erzeugten **Sekundärenergieträger** ändert. Beispielsweise führt eine Veränderung der Struktur des Steinkohlen-Verbrauchs nach Verbrauchssektoren (Kraftwerke, Industrie, Haushalte) zu Emissionsänderungen, da die Kohlequalitäten sich je nach Einsatzbereich unterscheiden. Solche Schwankungen können im Rahmen des IPCC-Verfahrens nicht berücksichtigt werden, da hier vom Primärenergieeinsatz ausgegangen wird (siehe oben, 2.2).

3. Basisdaten für die Ermittlung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen mit dem IPCC-Referenzverfahren

Für die Anwendung der IPCC-Referenzmethode werden die folgenden Daten benötigt:

- Einsatzmengen der Energieträger (in Energieeinheiten, ggf. in physischen Einheiten): Produktion, Importe, Exporte, Bestandsänderungen, internationale Bunkerungen, nicht-energetischer Verbrauch
- Kennwerte der Energieträger, insbesondere C- oder CO₂-Emissionsfaktoren.

Die wesentliche Datenbasis für die Ermittlung der Einsatzmengen stellt die Energiebilanz dar. In Deutschland bildet die Energiebilanz der AG Energiebilanzen die Grundlage.

3.1 Energiebilanz und Energieträger

3.1.1 Fossile Energieträger: Abgrenzung und Energiebilanz-Daten

(1) Tabelle 3.1 zeigt die Zuordnung der vom IPCC verwendeten Bezeichnungen der Energieträger zu der für die Anwendung in Deutschland gewählten Systematik, die auf den Einteilungen der deutschen Energiebilanz bzw. Statistik aufbaut.

Tabelle 3.1: Abgrenzung der Energieträger für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens (I)

Energieträger nach IPCC			Zugeordnete Energie träger in Deutschland (AG Energiebilanz)	Quellen für Verbrauchsdaten	
				Energiebilanz	sonstige
Liquid fossil	Primary fuels	Crude Oil	• Erdöl (roh)	✓	Sonderauswertung MWV
		Natural Gas Liquids	entfällt		
	Secondary fuels	Gasoline	• Motorenbenzin	✓	–
		Jet Kerosene	• Flugturbinenkraftstoff	✓	–
		Other Kerosene	entfällt	–	–
		Gas/Diesel Oil	• Dieselkraftstoff	✓	–
			• Heizöl leicht	✓	
		Residual Fuel Oil	• Heizöl schwer	✓	–
		LPG	• Flüssiggas	✓	–
		Ethane	entfällt	–	–
		Naphtha	• Rohbenzin	✓	–
		Bitumen	• Bitumen	–	MWV, BAW ^{a)}
		Lubricants	• Schmierstoffe	–	MWV, BAW ^{a)}
		Petroleum Coke	• Petrolkoks	✓	–
		Refinery Feedstocks	entfällt	(in übrigen Secondary Fuels enthalten)	–
		Refinery Gas	• Raffineriegas	✓	–
Other Oil	• andere Mineralölprodukte (abzügl. Bitumen/Schmierst.)	✓	–		
	• Flugbenzin	✓	–		

a) Mineralölwirtschaftsverband e.V., Bundesamt für Wirtschaft (Mineralöl-daten für die Bundesrepublik Deutschland)

Tabelle 3.1: Abgrenzung der Energieträger für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens (II)

Energieträger nach IPCC		Zugeordnete Energie träger in Deutschland (AG Energiebilanz)	Quellen für Verbrauchsdaten			
			Energiebilanz	sonstige		
Solid fossil	Primary fuels	Bituminous Coal: <ul style="list-style-type: none"> • Anthracite • Coking Coal • Other Bit. Coal 	1. Steinkohle heimisch: <ul style="list-style-type: none"> • Anthrazitkohle • Flammkohle • Fettkohle • Ess- und Magerkohle 2. Steinkohle importiert: <ul style="list-style-type: none"> • Polen • Südafrika • USA • Australien • sonstige 	<p style="text-align: center;">(✓) (nur Gesamtmengen)</p> <p style="text-align: center;">(✓) (nur Gesamtmengen)</p>	Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Mengen); GEMIS 3.0, FZ Jülich (Heizwerte)	
		Sub-bituminous Coal	entfällt	–		–
		Lignite	1. Braunkohle heimisch (roh): <ul style="list-style-type: none"> • Rheinland • Lausitz • Mitteldeutschland • Helmstedt • sonstige 2. Braunkohleimporte <ul style="list-style-type: none"> • Hartbraunkohle • sonstige 	<p>1. (✓) (nur Gesamtmenge)</p> <p>2. ✓</p>		Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Mengen); GEMIS 3.0, FZ Jülich (Heizwerte)
		Peat	Brenntorf	✓		

Tabelle 3.1: Abgrenzung der Energieträger für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens (III)

Energieträger nach IPCC			Zugeordnete Energie träger in Deutschland (AG Energiebilanz)	Quellen für Verbrauchsdaten	
				Energiebilanz	sonstige
Solid fossil	Secondary fuels	Coke	<ul style="list-style-type: none"> • Steinkohlenkoks • Braunkohlenkoks 	✓ ✓	–
		BKB & Patent Fuels	<ul style="list-style-type: none"> • Steinkohlebriketts • Braunkohlebriketts • Staub- und Trocken- Braunkohle 	✓ ✓ ✓	–
		Other Coal Products	<ul style="list-style-type: none"> • Rohteer • Pech • andere Kohlewertstoffe • Rohbenzol 	✓ ✓ ✓ ✓	–
Gaseous fossil	Primary fuels	Natural Gas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erdgas <ul style="list-style-type: none"> • heimisch • Importe Russland • Importe Niederlande • Importe Norwegen • sonst. Importe 2. Erdölgas 3. Grubengas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. (✓) (nur Gesamtmengen) 2. ✓ 3. ✓ 	Importe: Stat. Bundes- amt; Veröff. in BWK- Jahresübersichten

Es ist auf folgende Besonderheiten und Berechnungsansätze hinzuweisen:

1. Mineralölprodukte:

Bitumen und Schmierstoffe werden in der deutschen Energiebilanz nicht separat ausgewiesen, sondern in der Sammelgruppe „sonstige Mineralölprodukte“. Eine separate Ausweisung, wie sie vom IPCC vorgenommen wird, erscheint sinnvoll, um eine differenzierte Betrachtung des nicht-energetischen Verbrauchs zu ermöglichen. Beide Produkte gehen vollständig in den nicht-energetischen Verbrauch ein. Verbrauchs- und Produktionsdaten für Bitumen und Schmierstoffe (in physischen Einheiten) werden in der Statistik „Mineralölstatistik für die Bundesrepublik Deutschland“ des Bundesamtes für Wirtschaft regelmäßig ausgewiesen.

Die Kategorie „**Refinery Feedstocks**“ wird in der Energiebilanz der IEA als Sammelposition für den Wiedereinsatz von Mineralölprodukten in den Raffinerien ausgewiesen. In der deutschen Energiebilanz wird der Wiedereinsatz für jedes Mineralölprodukt separat ausgewiesen. Die entsprechenden Mengen sind dann in den Nettoimporten für die einzelnen Mineralölprodukte enthalten.

Beim IPCC-Referenzverfahren wird in der Kategorie „**International Bunkers**“ der Energieverbrauch im internationalen Luft- und Schiffsverkehr zusammengefasst. Dieser Verbrauch bzw. die damit verbundenen Emissionen werden *nicht* dem jeweiligen Land zugeordnet (Abzug vom CO₂-relevanten Energieverbrauch). In der Energiebilanz der AGE werden nur die Bunkerungen des internationalen Schiffsverkehrs separat ausgewiesen, während der Brennstoffverbrauch für den gesamten Luftverkehr (Flugturbinenkraftstoff und Flugbenzin) als Endenergieverbrauch und daher als voll emissionsrelevant verbucht ist. Entsprechend dem Vorgehen des Umweltbundesamtes bei der Anwendung des sektoralen Verfahrens wird daher der **Brennstoffverbrauch des internationalen Luftverkehrs** den „International Bunkers“ zugeordnet. Wie vom Umweltbundesamt wurde dazu die Aufteilung des Gesamtverbrauchs von Flugzeugkraftstoffen mit 20% für den inländischen und 80% für den internationalen Verkehr angenommen.

Die Menge der **sonstigen Mineralölprodukte (Other Oil)** ergibt sich aus den in der Energiebilanz ausgewiesenen Mengen für andere Mineralölprodukte abzüglich der separat ausgewiesenen Mengen für Bitumen und Schmierstoffe (siehe oben) und zuzüglich Flugbenzin, das vom IPCC nicht separat ausgewiesen wird und mengenmässig auch nur geringe Bedeutung hat.

2. Steinkohle:

Die deutsche Energiebilanz differenziert nicht nach unterschiedlichen Steinkohlearten. In der deutschen Kohlestatistik wird die **heimische Steinkohleförderung** aber entsprechend ihrer Beschaffenheit in die **Kohlearten** Flammkohlen, Fettkohlen, Esskohlen, Magerkohlen und Anthrazitkohlen eingeteilt. Diese Einteilung wird auch für die Anwendung des IPCC-Verfahrens verwendet. Da diese Systematik aber von der IPCC-Einteilung der Steinkohle (Bituminous Coal) in Anthrazit, Kokskohle und sonstige abweicht, wird für die Dokumentation in den IPCC-Tabellen nur eine Sammelkategorie „Bituminous Coal“ ausgewiesen. Die differenziertere Berechnung für die heimische Förderung nach Kohlearten erfolgt in einer Sonderrechnung.

Das gleiche gilt für die **Steinkohleimporte**: Die Importkohlen weisen je nach Herkunftsland unterschiedliche Kennwerte auf. Auf der Basis der Aussenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes bzw. der Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. wird für die Anwendung der IPCC-Methode ein differenzierter Ausweis der Steinkohleimporte nach Herkunftsländern vorgesehen. Hierdurch kann der Einfluss von Änderungen in der Herkunftsstruktur der Importe auf den Kohlenstoffeintrag berücksichtigt werden.

3. Braunkohle:

Der IPCC sieht für Braunkohlen nur eine Kategorie „Lignite“ vor. Um die spezifische Bedeutung der Braunkohle in Deutschland zu berücksichtigen, wird deshalb im Rahmen einer Sonderrechnung eine Differenzierung vorgenommen:

- Bei der **heimischen Förderung** wird nach den Haupt-Förderregionen Rheinland, Lausitz, Mitteldeutschland, Helmstedt und sonstige (Borken, Wölferheim) differenziert. Die Fördermengen werden regelmässig von der Statistik der Kohlenwirtschaft ausgewiesen.
- Bei den **Importen** wird entsprechend der Energiebilanz zwischen Braunkohlen und Hartbraunkohlen (Tschechische Republik) unterschieden.
- **Exporte und Bestandsänderungen** werden nicht weiter differenziert und den Daten der Energiebilanz entnommen.

4. Natural Gas:

Unter „Natural Gas“ werden die in der deutschen Energiebilanz gesondert ausgewiesenen Naturgase **Erdgas, Erdölgas und Grubengas** zusammengefasst.

Die Erdgasimporte weisen je nach Herkunft etwas unterschiedliche Kennwerte auf. Analog dem Vorgehen bei Steinkohle werden die Erdgasimporte daher in einer Sonderrechnung nach den Haupt-Herkunftsländern (Russland, Niederlande, Norwegen) differenziert betrachtet.

5. Erdölimporte:

Erdölimporte haben einen grossen Anteil am Eintrag von Kohlenstoff ins Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland. Änderungen in der Importstruktur, d.h. Anteile einzelner Herkunftsländer bzw. Qualitäten, könnten daher zu spürbaren Schwankungen in der über Rohöl importierten Kohlenstoffmenge führen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Kohlenstoffgehalt in Rohölen in einem relativ schmalen Band von ca. 82% und 87% schwanken kann.⁹⁾ Hierbei handelt es sich um Extremwerte. Die Schwankungsbreite im jährlich verbrauchten Rohölmix liegt deutlich darunter. Änderungen in der Zusammensetzung der Rohölimporte haben daher nur einen begrenzten Einfluss auf den durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt der Rohölimporte.

Dennoch haben wir bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens für die Berech-

nung der Kohlenstoffanteils in den Rohölimporten eine **Sonderrechnung nach Haupt-Einfuhrländern und -Qualitäten bzw. -Ölfeldern** vorgesehen und durchgeführt (analog dem Vorgehen bei Steinkohle und Erdgas). Die Mengenangaben (Rohölimporte nach Fördergebieten bzw. Sorten) werden zwar nicht veröffentlicht, können aber vom Mineralölwirtschaftsverband (Hamburg) zur Verfügung gestellt werden.¹⁰⁾ Über den Kohlenstoffgehalt der einzelnen Rohölsorten liegen allerdings keine Angaben vor, da dies bei der Erdölverarbeitung keine relevante Grösse darstellt. Es besteht allerdings ein empirischer Zusammenhang zwischen dem spezifischen Gewicht des Erdöls und dem Kohlenstoffgehalt.¹¹⁾ Aufgrund dieses Zusammenhangs und veröffentlichten Angaben zum spezifischen Gewicht („API Gravity“)¹²⁾ wurde der Kohlenstoffgehalt der einzelnen Rohölsorten abgeschätzt.

(2) Haupt-Datenbasis für die Anwendung des IPCC-Verfahrens in Deutschland ist die Energiebilanz der **AG Energiebilanzen (AGE)**. Auf internationaler Bühne bilden die Energiebilanzen der **Internationalen Energieagentur (IEA)** einen gebräuchlichen Standard. Da sich die IEA-Bilanz für Deutschland in einigen Punkten von der AGE-Bilanz unterscheidet, stellt sich die Frage, ob diese Unterschiede zu relevanten Differenzen in den errechneten CO₂-Emissionen führen.

Tabelle 3.2 enthält eine Gegenüberstellung von Daten zum Primärenergieverbrauch im Inland (Gross Inland Consumption) aus beiden Bilanzen für 1993.

- Die **Gesamtabweichung** des Primärenergieverbrauchs an fossilen Energieträgern, der für den gesamten Kohlenstoffeintrag die zentrale Grösse ist, liegt mit **1,4%** auf relativ geringem Niveau.
- Bei den mengenmässig bedeutenden Energieträgern (**Steinkohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas**) liegen die Abweichungen in einer Grössenordnung von 1%.
- Grössere Abweichungen bestehen bei den **Mineralölprodukten** (teilweise über 10%). Diese Differenzen sind zum einen auf **grosse Unterschiede in den als Bestandsänderungen ausgewiesenen Mengen** zurückzuführen. Der zweite Grund liegt in der unterschiedlichen Systematik der **Verbuchung des Wiedereinsatzes von Mineralölprodukten in den Mineralölraffinerien**: Die AGE-Bilanz weist diese Mengen unter den Importen aus, in der IEA-Bilanz werden sie unter „Refinery Feedstocks“ als interne Produkttransfers innerhalb des Umwandlungssektors verbucht und erscheinen daher nicht im Primärenergieverbrauch. Im Ergebnis weist die AGE-Energiebilanz systematisch höhere Importwerte aus als die IEA-Bilanz.

9) Der weltweite Durchschnitt liegt bei ca. 84,5%.

10) Zur Zeit sind für 1991 und 1992 keine Angaben verfügbar.

11) Quelle: Marland, G.; Rotty, R.M.: Carbon dioxide emissions from fossil fuels: A procedure for estimation and results for 1950-1982; Oak Ridge Associated University, Institute for Energy Analysis; Report to Department of Energy (Washington D.C.), 1983.

12) Die spezifischen Gewichte liegen für alle Sorten mit Ausnahme von russischem Erdöl vor (Quelle: Oil&Gas Journal Data Book. 1997 Edition; Pennwell Publ., Tulsa OK, USA). Für russisches Erdöl wurden Durchschnittswerte angesetzt.

- Grössere Abweichungen im Detail bestehen auch bei **Steinkohle**: Die AG Energiebilanz rechnet für Steinkohle mit einem durchschnittlichen Heizwert von 29,3 MJ/kg, der deutlich über dem der IEA-Bilanz zugrundeliegenden Heizwert von 27,2 MJ/kg liegt. Die Abweichungen bei den ausgewiesenen Energiemengen sind aber dennoch relativ gering, da der höhere Heizwert in der AGE-Bilanz durch deutlich geringere Mengenangaben (in Tonnen) für den Primärenergieverbrauch ausgeglichen wird.

Die Auswirkungen der genannten Differenzen auf die errechneten CO₂-Emissionen werden im Rahmen der Erstellung der CO₂-Bilanzen (Kapitel 4.2) in einer Sonderrechnung geprüft.

Tabelle 3.2: Vergleich ausgewählter Daten der IEA- und AGE-Energiebilanzen (1993)

Energieträger		Primärenergieverbrauch im Inland 1993 (PJ)		
AGE	IEA	AGE	IEA	Abweichung (%)
Steinkohle	Hard Coal	2'101	2'129	+ 1,3%
Braunkohle, Hartbraunkohle	Total Lignite	1'989	2'001	+ 0,6%
Erdöl (roh)	Crude Oil	4'391	4'350	- 0,9%
Motorenbenzin	Motor Spirit ^{a)}	234	206	- 12,0%
Flugturbinen- kraftstoff	Kerosenes, Jet Fuels ^{a)}	120	126	+ 5,0%
Rohbenzin	Naphtha ^{a)}	270	252	- 6,7%
Heizöl leicht, Dieselkraftstoff	Gas/Diesel Oil ^{a)}	735	652	- 11,3%
Erdgas	Natural Gas	2'513	2'498	- 0,6%
Primärenergieverbrauch fossiler Energieträger gesamt		12'403	12'228	- 1,4%

a) Umwidmungen von Mineralölprodukten, die in der IEA-Bilanz unter „Interproduct Transfers“ im Umwandlungssektor ausgewiesenen werden, wurden entsprechend dem Vorgehen in der AGE-Energiebilanz im Primärenergieverbrauch verrechnet.

3.1.2 Erneuerbare kohlenstoffhaltige Energieträger

(1) Neben den Kohlendioxid-Emissionen aus nicht erneuerbaren Rohstoffen sind im IPCC-Referenzverfahren Kohlendioxid-Emissionen aus nachwachsenden Rohstoffen auszuweisen. Bei der Verbrennung nachwachsender Rohstoffe kann nur soviel Kohlendioxid freigesetzt werden, wie zuvor beim Wachstum aufgenommen und in Biomasse umgesetzt wurde. Die Verbrennung führt daher nicht zu einer Zunahme der Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre. Die ausgewiesenen Emissionen haben daher in der CO₂-Bilanz des IPCC-Referenzverfahrens nur **informativischen Charakter**.

(2) Nachwachsende Rohstoffe können in feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe unterteilt werden.

- Zu den festen Brennstoffen zählen Holz, landwirtschaftliche Produkte/Reststoffe (z.B. Stroh) und biogene Bestandteile des Abfalls, wie Papier, Karton und Vegetabilien.
- Flüssige Brennstoffe sind insbesondere Pflanzenöle, die als Kraftstoff genutzt werden. Eine eventuell künftig relevante Entwicklung ist hier die Nutzung von Raps als Rapsmethylester.
- Unter die gasförmigen Brennstoffe fallen Klär-, Bio- und Deponiegas.

Emissionsrelevant im Sinne des IPCC-Referenzverfahrens sind nur die Anteile, die zur Energiegewinnung verbrannt werden. Dieser Anteil ist z.B. bei Deponiegas immer noch gering.

(3) **Daten** zur energetischen Nutzung regenerativer Rohstoffe finden sich in der **Energiebilanz Deutschland** und in der **Abfallstatistik** des Statistischen Bundesamtes.

In der Energiebilanz Deutschland sind unter folgenden Positionen regenerative Brennstoffe zusammengefasst:

- Brennholz
- Klärschlamm und Müll (incl. industrieller Abfälle)
- Klärgas

Unter Brennholz sind Feuerholz, Restholz aus der Industrie sowie seit 1994 Abfallholz gefasst. Die Position Klärgas umfasst auch Biogas aus Biomüll- und landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen (v.a. Gülle und Festmist).

In der Energiebilanz Deutschland sind neben Klärschlamm und Siedlungsabfällen unter der Position „Klärschlamm und Müll“ auch feste, flüssige und gasförmige industrielle Abfälle sowie der energetisch genutzte Anteil des Deponiegases gefasst worden. Während Klärschlamm ein regenerativer Energieträger ist, enthält Abfall als nachwachsende Rohstoffe im wesentlichen Vegetabilien, Papier und zu einem geringen Teil Holz. Eine Ermittlung des regenerativen Anteiles lässt sich für den Aufkommenswert in der Energiebilanz nicht durchführen.

Zur Ermittlung der regenerativen Brennstoffanteile im Abfall wird auf die Abfallstatistik des

Bundesamtes für Statistik ergänzt durch Abfallanalysen zurückgegriffen. Für Deponiegas ist kein Aufkommenswert verfügbar. Der energetisch genutzte Anteil ist gering.

Tabelle 3.3: Energetische Nutzung regenerativer Rohstoffe 1994 (nach Energiebilanz Deutschland, Abfallstatistik)

	regenerativer Anteil)	Quelle für Verbrauchsdaten
Feste Biomasse		
<ul style="list-style-type: none"> • in Siedlungsabfall zur Verbrennung: <ul style="list-style-type: none"> – Hausmüll, hausmüllähn. Gewerbeabfall, Sperrmüll u.w. (nicht gesondert angeliefert) 46% – Hausmüllähn. Gewerbeabfall (gesondert angeliefert) 33% – Sperrmüll (gesondert angeliefert) 15% – Kompostierbare organische Abfälle (gesondert angeliefert) 100% – Schlämme aus Abwasserreinigung 100% 		Abfallstatistik, ergänzt mit Abfallanalysen
• Brennholz	100%	Energiebilanz
• Biomasse aus Landwirtschaft zur Verbrennung (z.B. Stroh)	100%	
Feste Biomasse total		
Flüssige Biomasse		
• Öle als Kraftstoff, Bioethanol	100%	k.A.
Flüssige Biomasse total		
Gasförmige Biomasse		
• Klär- und Biogas	100%	Energiebilanz
• Deponiegas (Anteil zur Energiegewinnung)	100%	¹⁾
Gasförmige Biomasse total		

Energiebilanz Deutschland (AGE)

Statistisches Bundesamt: Umweltschutz, FS 19. R1.1 Öffentliche Abfallbeseitigung (Abfallstatistik)

¹⁾ in der Energiebilanz unter der Rubrik Müll/Klärschlamm enthalten, jedoch keine gesonderte Ausweisung verfügbar.

Ab 1995 wird in der Energiebilanz Deutschland eine gesonderte Ausweisung von regenerativen Energieträgern erfolgen¹³. U.a. soll dann Biomasse getrennt nach festen, flüssigen und gasförmigen Energieträgern ausgewiesen werden. Als neue Posten werden insbesondere Stroh und Kraftstoffe aus Pflanzenölen berücksichtigt sein.

13 erscheint voraussichtlich im Sommer 1998

Tabelle 3.3 zeigt die bis 1994 verfügbaren Verbrauchsdaten.

3.2 Kohlenstoff- und CO₂-Emissionsfaktoren

(1) Die Berechnung der emittierten Kohlenstoffmengen erfolgt auf der Basis der Energiemengen der einzelnen Energieträger anhand von Faktoren („**Carbon Emission Factors**“), die sich aus den jeweiligen Brennstoffkennwerten (Heizwerte, Kohlenstoffgehalte) ergeben. Es handelt sich hierbei mithin nicht um Emissionsfaktoren im eigentlichen Sinne, sondern um die **Kohlenstoffgehalte** der Brennstoffe.

„Deutschlandspezifische“ Faktoren

(2) Für die Ermittlung dieser „**Kohlenstoff-Emissionsfaktoren**“ für die in Deutschland relevanten Energieträger bestehen im wesentlichen drei weiter verbreitete **Datenbasen**:

- Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes (diese beziehen sich auf das sektorale Verfahren zur CO₂-Ermittlung und daher den sektoralen Brennstoffeinsatz)
- Emissionsfaktoren des FZ Jülich aus dem IKARUS-Projekt und
- Emissionsfaktoren des Öko-Instituts aus der GEMIS-Datenbank (GEMIS 3.0).

Nach den Analysen der Datenbasen des FZ Jülich und des Öko-Instituts liegen die **Abweichungen** für die Kohlenstoff-Emissionsfaktoren bei Festbrennstoffen und Mineralölprodukten meist in einem Bereich von **3 – 4%**, bei Erdgas darunter.

Festzustellen ist darüber hinaus, dass keine der Datenbasen einen vollständigen Datensatz für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens mit der oben dargestellten Abgrenzung und Differenzierung der Energieträger liefern kann. Beispielsweise enthalten die IKARUS-Daten keine differenzierten Angaben zu Import-Kohlen oder Import-Erdgas. Diese Daten sind dagegen in der GEMIS-Datenbank vorhanden.

Für die Ermittlung der Kohlenstoff-Emissionsfaktoren für das IPCC-Referenzverfahrens wird deshalb ein **Mix aus den vorhandenen Datenbasen** verwendet. Die Daten der **GEMIS-Datenbank** dienen als **Basis** und werden durch Daten des FZ Jülich/IKARUS ergänzt.

(3) Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten „Kohlenstoff-Emissionsfaktoren“.

Tabelle 3.4: Verwendete Brennstoffkennwerte (I)

Energieträger nach IPCC	Energieträger AG Energiebilanz	Brennstoffkennwerte			
		Heizwert (MJ/kg bzw. MJ/m ³) ^{a)}	C-Gehalt ^{a)} (Gew.-% bzw. Vol.-%)	Kohlenst.-Emiss.-faktor (Mg/TJ)	Quelle ^{b)}
Liquid fossil					
Primary fuels					
Crude Oil	• Erdöl (roh)	ca. 44.0	85.5 - 85.6	20.0 - 20.2	Sonderrechnung
Secondary fuels					
Gasoline	• Motorenbenzin	42.4	86.5	20.4	GEMIS
Jet Kerosene	• Flugturbinenkraftstoff	42.4	86.5	20.4	GEMIS
Gas/Diesel Oil	• Dieselmotorkraftstoff • Heizöl leicht	42.6	86.6	20.3	GEMIS
Resid. Fuel Oil	• Heizöl schwer	40.7	81.5	21.5	GEMIS
LPG	• Flüssiggas	108.6	k.A.	17.4	GEMIS
Naphtha	• Rohbenzin	42.68	86.7	20.3	GEMIS
Bitumen	• Bitumen	39.9	87.7	22.0	AGE; IPCC
Lubricants	• Schmierstoffe	39.9	79.7	20.0	AGE; IPCC
Petroleum Coke	• Petrolkoks	29.3	95.5	32.5	FZ Jülich
Other Oil	• Raffineriegas • Flugbenzin • and. Min.-öl-prod.	-	-	20.0	IPCC
Solid fossil					
Primary fuels					
Bituminous Coal:	<i>Steinkohle heimisch:</i>				FZ Jülich
• Anthracite	• Anthrazitkohle	• 29.2	• 76.7	• 26.3	GEMIS
• Coking Coal	• Flammkohle	• 28.4	• 71.2	• 25.1	
• Other Bit. Coal	• Fettkohle	• 29.2	• 74.3	• 25.5	
	• Esskohle	• 29.4	• 75.9	• 25.8	
	<i>Steinkohle importiert:</i>				
	• Polen	• 26.0	• 67.0	• 25.8	GEMIS
	• Südafrika	• 24.6	• 65.0	• 26.4	
	• USA	• 27.5	• 73.0	• 26.6	
	• Australien	• 25.2	• 66.7	• 26.4	
	• sonstige	• 27.5	• 73.0	• 26.5	
Lignite	<i>Braunkohle heimisch (roh):</i>				GEMIS UBA
	• Rheinland	• 8.54	• 27.0	• 27.0	
	• Lausitz	• 8.65	• 27.0	• 27.0	
	• Mitteldeutschland	• 11.00	• 31.0	• 31.0	
	• Helmstedt	• 10.57	• 29.0	• 29.0	
	<i>Braunkohleimporte</i>				FZ Jülich
	• Hartbraunkohle	• 15.08	• 39.0	• 26.1	

a) bei Fest- und Flüssigbrennstoffen bzw. Gasen

b) GEMIS: Öko-Institut; Gesamtemissionsmodell integrierter Energiesysteme, Version 3.0; FZ Jülich: Datenbasis des Projektes IKARUS; AGE: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

Tabelle 3.4: Verwendete Brennstoffkennwerte (II)

Energieträger nach IPCC	Energieträger AG Energiebilanz	Brennstoffkennwerte			
		Heizwert (MJ/kg bzw. MJ/m ³) ^{a)}	C-Gehalt (Gew.-% bzw. Vol-%) a)	Kohlenst.- Emissions- faktor (Mg/TJ)	Quelle ^{b)}
Solid fossil					
Secondary fuels					
Coke	• Steinkohlenkoks	• 28.7	• 84.7	• 29.5	FZ Jülich
	• Braunkohlenkoks	• 29.9	• 87.7	• 29.0	
BKB & Patent Fuels	• Steinkohlebriketts	• 31.35	• 80.00	• 25.5	GEMIS
	• Braunkohlebriketts; Staub- u. Trocken- Braunkohle	• 19.0- 19.8	• 51.1 - 53.2	• 26.7 - 26.8	
Coke gas	• Kokereigas	17.7	21.0	11.9	GEMIS
Gaseous fossil					
Primary fuels					
Natural Gas	Erdgas				FZ Jülich (heimisch); GEMIS
	• heimisch	• 34.54		• 15.2	
	• Importe Russland	• 35.88		• 15.1	
	• Importe Niederl.	• 35.95		• 15.3	
	• Importe Norwegen	• 38.82		• 15.6	
Biomass					
Solid Biomass					
Anlieferung zur Verbrennung:					
Solid Biomass	• Hausmüll u. ähnl.	• 8.4	• 11	• 12.7	GEMIS, Abfallsta- tistik, div. Abfall- analysen
	• Hausmüllähnl. Ge- werbeabfall (ge- sondert angeliefert)	• 14.5	• 9	• 6.6	
	• Sperrmüll	• 14.5	• 6	• 4.1	
	• Kompostierbare organische Abfälle	• 5.3	• 6	• 29.4	
	• Schlämme	• 1.2	• 8	• 65.0	
	• Brennholz	• 16.5	• 41	• 24.8	
	• sonstige Biomasse z.B. Stroh	• 12.5	• 37	• 29.7	
Liquid Biomass	• Rapsmethylester	• 37.0	• 77	• 20.8	GEMIS
Gas Biomass	• Klärgas	• 16	• 47	• 33.5	GEMIS
	• Biogas	• 23	• 47	• 23.3	
	• Deponiegas	• 25	• 49	• 20.7	

a) bei Fest- und Flüssigbrennstoffen bzw. Gasen

b) GEMIS: Öko-Institut; Gesamtemissionsmodell integrierter Energiesysteme, Version 3.0;

FZ Jülich: Datenbasis des Projektes IKARUS

AGE: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

Abfallstatistik: Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1.1

Hinweis: Die verwendeten Heizwerte weichen von den von der AG Energiebilanzen verwendeten Heizwerten ab. Während die Abweichungen für die meisten Brennstoffe gering sind (maximal 2,5%), sind sie bei Erdgas deutlich (bis zu 20%). Vermutlich bestehen hier Unterschiede in der Berechnungssystematik, die aber im Detail nicht geklärt werden konnten. Da ein systematischer Zusammenhang zwischen Heizwerten und Kohlenstoffgehalten besteht, ist für den Bereich Erdgas zu erwarten, dass auch die Kohlenstoffgehalte deutlich von den hier verwendeten Werten abweichen würden, wenn die AGE-Systematik verwendet würde. Erwartungsgemäss würde man schliesslich in Energieeinheiten bezogenen Kohlenstoffemissionsfaktoren ähnliche Werte erhalten wie hier zugrundegelegt. In jedem Fall sind die hier verwendeten Brennstoffangaben in sich konsistent, d.h. die auf die Energieeinheiten bezogenen Kohlenstoffemissionsfaktoren sind konsistent mit den zugrundeliegenden Heizwerten.

Vergleich mit den IPCC-Default-Werten

(4) In der folgenden Tabelle werden die ermittelten „Kohlenstoffemissionsfaktoren“ mit den IPCC-Default-Werten verglichen.

Tabelle 3.5: Vergleich der Deutschland-spezifischen „Kohlenstoffemissionsfaktoren“ mit den IPCC-Default-Werten

	„Carbon Emission Factor“ (Mg/TJ)	
	Deutschland-spezifisch	IPCC-Default-Wert
Crude Oil	20.0 - 20.2 ^{a)}	20.0
Gasoline	20.4	18.9
Jet Kerosene	20.4	19.5
Gas/Diesel Oil	20.3	20.2
Fuel Oil	21.5	21.1
LPG	17.4	17.2
Naphtha	20.3	20.0
Bitumen	22.0	20.0
Lubricants	20.0	20.0
Petroleum Coke	32.5	27.5
Other Oil	20.0	20.0
Bituminous Coal	24.6 - 24.7 ^{a)}	25.8
Lignite	31.1 - 31.6 ^{a)}	27.6
Patent Fuel (Coal)	25.5	25.8
BKB	26.8	25.8
Coke (Coal)	29.5	29.5
Coke (Lignite)	29.0	29.5
Natural Gas	15.2 - 15.6 ^{a)}	15.3
Solid Biomass	15.5 - 17.1 ^{a)}	29.9
Liquid Biomass	k.A.	20
Gas Biomass	23.3	30.6

^{a)} Spannweite zwischen den Jahren 1990-1994 entsprechend Sonderrechnungen

Relevante Abweichungen bestehen insbesondere bei Steinkohle und Braunkohle, wo die IPCC-Default-Werte die deutschen Kohlequalitäten nicht angemessen widerspiegeln.

Bei Motorenbenzin liegt der Deutschland-spezifische Wert (nach GEMIS) um 8 % über dem IPCC-Default-Wert. Bei den übrigen Energieträgern liegen die Kennwerte nahe beieinander.

(5) Die Ergebnisse der für die Energieträger Motorenöl, Steinkohle, Braunkohle und Erdgas durchgeführten Sonderrechnungen zeigen darüber hinaus, dass die Schwankungen der durchschnittlichen „Kohlenstoff-Emissionsfaktoren“ aufgrund von Änderungen in der Herkunftsstruktur relativ gering sind.

3.3 Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern

(1) Die Energiebilanz für Deutschland (AGE) enthält die Verbrauchsmengen für den nicht-energetischen Verbrauch (NEV) von Energieträgern. Diese Mengen stellen die Einsatzmengen für diverse Folgeprozesse dar:

- Ein Teil ist Ausgangsmaterial für die Herstellung von verschiedenen Produkten, z.B. Kunststoffen. Der NEV enthaltene Kohlenstoff wird in diesen Produkten (zumindest zeitweise) gebunden (gebundener Kohlenstoff = „**carbon stored**“).
- Ein Teil geht in (Zwischen-, Neben-, End-) Produkte, die als Energieträger genutzt werden und deren Kohlenstoffgehalt dann direkt als CO₂ emittiert wird. Zu diesem energetisch genutzten Teil gehören auch Produkte, die im Rahmen der Entsorgung verbrannt werden („**carbon oxidised**“).

Der gebundene Kohlenstoff ist nicht emissionsrelevant. Um die Genauigkeit der Ergebnisse des IPCC-Verfahrens zu erhöhen, sind die Anteile des gebundenen und des oxidierten Kohlenstoffs am gesamten, im NEV enthaltenen Kohlenstoff zu ermitteln. Die Ergebnisse fließen dann in den Korrekturfaktor „Fraction of carbon stored“ ein (siehe oben, 2.1).

(2) Die exakte Ermittlung des langfristig gebundenen Anteils im nicht-energetischen Verbrauch ist äusserst aufwendig, da sich die Folgeproduktketten der nicht-energetisch verbrauchten Energieträger stark verästeln. Darüber hinaus sind die Exporte und Importe aller Produkte, die Kohlenstoff enthalten, zu ermitteln.

Die IPCC-Referenzmethode gibt für die einzelnen, als NEV ausgewiesenen Energieträger Default-Werte für den Anteil des gebundenen Kohlenstoffs am NEV an. Diese Standardfaktoren beruhen allerdings auf pauschalen Mittelwerten und sind als „Notbehelf“ aufzufassen, wenn keine länderspezifischen Daten vorliegen.

Hauptziel dieses Arbeitsteils ist es daher, Deutschland-spezifische Korrekturfaktoren für den Anteil des gebundenen Kohlenstoffs am gesamten, im NEV enthaltenen Kohlenstoff zu ermitteln.

3.3.1 Methodische Festlegungen

Die wesentlichen methodischen Festlegungen bei der Ermittlung der Kohlenstoffbindung in der Folgeproduktkette des NEV ist in Kapitel 2.3 beschrieben. Die wesentlichen Aspekte sind:

- *Abgrenzung zwischen langfristiger und kurzfristiger Kohlenstoffbindung:* Orientierungsgrösse ist ein Zeitraum von 20 Jahren.
- *Abgrenzung zwischen energetisch und nicht-energetisch genutztem Kohlenstoff:* Wir orientieren uns hierbei an der bisherigen Praxis des Umweltbundesamtes bei der Anwendung des sektoralen Verfahrens. Das beinhaltet u.a., dass CO₂-Emissionen aus der Ammoniaksynthese als nicht-verbrennungsbedingt und CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung (Anteil an Folgeprodukten des NEV) als verbrennungsbedingt bilanziert werden.
- *Bilanzierung der Importe und Exporte von Folgeprodukten des nicht-energetischen Verbrauchs:* Importe und Exporte werden nach dem Grundsatz „Verbuchung im Land des Produzenten“ bilanziert. Das heisst: Importe von Produkten werden in der CO₂-Bilanz **nicht** berücksichtigt. Exporte von Zwischen- und Endprodukten werden berücksichtigt. Die Emissionsrelevanz richtet sich vom Grundsatz her nach der Verwendung der Produkte in den Empfängerländern.

3.3.2 Struktur der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs in Deutschland

(1) Die folgende Abbildung zeigt eine **Grobstruktur der Materialflüsse bzw. Folgeproduktketten des NEV** in Deutschland. Danach lassen sich die folgenden „Hauptäste“ unterscheiden:

- Einsatz von Mineralölprodukten (Naphtha, Heizöl, LPG, Raffineriegas) in **Steamcrackern** zur Herstellung von verschiedenen Kunststoffen und einigen kurzlebigen Produkten: Output des Steamcrackers sind vor allem Ethen und Propen, die u.a. zu den Massenkunststoffen Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und PVC weiterverarbeitet werden. Ein weiterer wichtiger Stoffstrom ist die Herstellung von Polystyrol, ausgehend von Benzol aus Steamcrackern, Raffinerien und anderen Anlagen. Bei diesen Kunststoffen handelt es sich um langlebige Produkte (langlebig im Sinne von Verbleib in der Umwelt), die mithin als nicht-emissionsrelevanter gebundener Kohlenstoff bilanziert werden, allerdings nur soweit die Entsorgung der Produkte nicht via Abfallverbrennung erfolgt. Im Steamcracker wird ein Teil des Inputs energetisch, zur Feuerung der Röhrenspaltöfen, genutzt. Dieser Teil ist CO₂-emissionsrelevant und wird daher vom Anteil des „carbon stored“ abgezogen.
- Herstellung von Kunststoffen, Lösemitteln und Düngemitteln auf der Basis von **Synthesegas**: Ein wichtiger Prozesse ist hierbei die **Ammoniaksynthese** ausgehend von Erdgas. In diesem Prozess entstehen prozessbedingt grössere Mengen an CO₂. Es

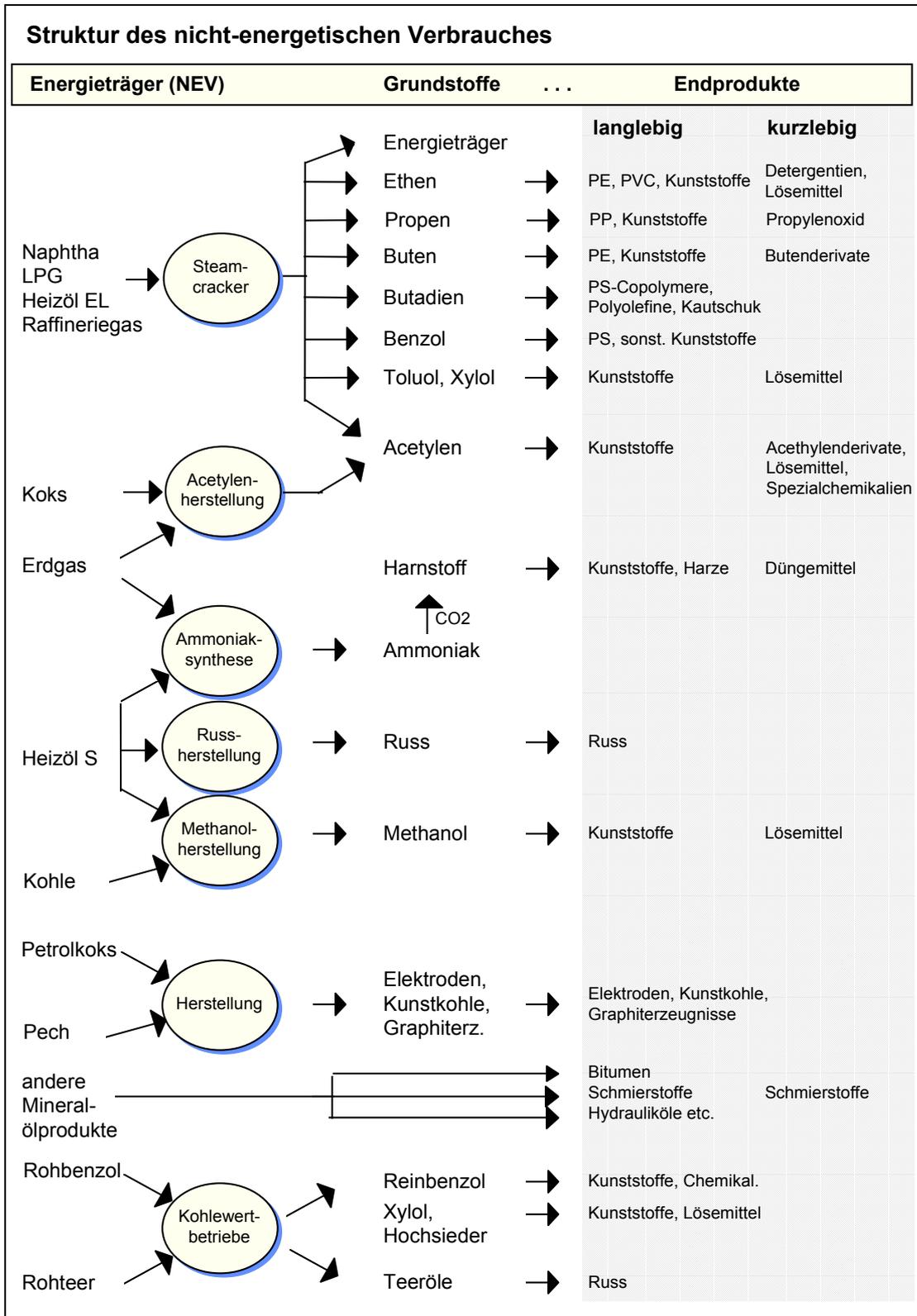
wird aber nur ein Teil dieses CO₂ emittiert. Der andere Teil wird bei der Synthese von Harnstoff eingesetzt, das wiederum Ausgangsprodukt zur Herstellung von Kunstharzen und Düngemitteln ist. Weitere „Folgeproduktäste“ in diesem Bereich sind die Herstellung von **Acetylen** (auf Kohle- und Erdgasbasis), die **Methanolherstellung** (auf Kohle- und Heizölbasis) und die Erzeugung von **Russ**.

- Herstellung von **Graphiterzeugnissen** auf der Basis von Petrolkoks und Pech.
- Weiterverarbeitung der **Kohlewertstoffe** (Benzol, Aromaten, Kohleöle).
- Hinzu kommen noch die im NEV direkt enthaltenen „Endprodukte“ **Schmierstoffe** und **Bitumen**.

(2) Die **quantitative Bedeutung** der einzelnen Produktkette stellt sich dabei etwa wie folgt dar:

- Die grössten Energiemengen fließen in den „Steam-Cracker-Ast“, in einer Grössenordnung von 50 - 60 % des gesamten NEV.
- Etwa 20 % (gemessen in Energieeinheiten) fließen in die Raffinerie-Endprodukte Bitumen und Schmierstoffe.
- In die Ammoniaksynthese mit dem Produktzweig Ammoniak-Harnstoff fließen 5 - 10 %.
- Die restlichen 15 - 20 % teilen sich auf die übrigen Produktketten auf.

Abbildung 3-1: Struktur der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs



3.3.3 Vorgehensweise bei der Bestimmung des gebundenen Kohlenstoffanteils im NEV

(1) Die **Kohlenstoffbindung** („fraction of carbon stored“) im NEV setzt sich wie folgt zusammen:

- Langlebige Produkte, abzüglich des Anteiles, der im Rahmen der Entsorgung verbrannt wird,
- plus prozess-spezifische, aber nicht-verbrennungsbedingte C-Emissionen
- plus kurzlebige, nicht CO₂-relevante Produkte (z.B. Lösemittel)

Der **nicht-gebundene**, d.h. emissionsrelevante **Kohlenstoffanteil** im NEV beinhaltet folgende Komponente:

- verbrennungsbedingte C-Emissionen (in Prozessen zur Herstellung von Grundstoffen und bei der Abfallverbrennung)
- ggf. CO₂-relevante kurzlebige Produkte,

Die Produkte teilen sich dabei jeweils in einen Teil, der im Inland verbraucht wird, und einen Teil, der im Ausland verbraucht wird, auf.

(2) Die Abschätzung der Anteile von gebundenem und oxidiertem Kohlenstoff erfolgt mittels einer **vereinfachten Materialflussanalyse**, ohne die gesamten Folgeproduktketten zu bilanzieren:

- Ausgehend vom NEV in der Energiebilanz werden die Stoffflüsse zunächst nur bis zur Produktion der **Grundstoffe** (entsprechend Abbildung 3-1, d.h. Ethen, Propen, Buten etc.) exakt weiterverfolgt. Dabei werden für die einzelnen Prozessschritte die prozess-spezifischen Kohlenstoffemissionen ermittelt. Neben luftseitigen Emissionen fallen hierunter auch Kohlenstoffausträge in Abwasser und Abfällen.
- Ausgehend von den Grundstoffen wird die **Endproduktpalette** für jeden ausgewiesenen Primärenergieträger auf Basis vorhandener Literatur abgeschätzt, so dass der Anteil kurz- und langlebiger Produkte (Bezug: Nutzungsphase) bestimmt werden kann.
- Ein Teil der langlebigen Produkte wird im Rahmen der **Entsorgung** unter Energienutzung **verbrannt**. Dieser Anteil ist zu den verbrennungsbedingten Emissionen zu zählen, d.h. muss aus dem gebundenen Kohlenstoff herausgerechnet werden.
- **Exporte von Grundstoffen und Endprodukten** werden zwar vom Grundsatz her berücksichtigt. Eine explizite „Weiterverfolgung“ des Verbleibs der Exporte in den Empfängerländern zur Identifikation des gebundenen und freigesetzten Kohlenstoffanteils

erfolgt jedoch nicht, da solche Daten nicht ohne weiteres verfügbar sind. Als Abschätzung werden die Exporte daher gleich behandelt wie die Verwendung dieser Produkte im Inland.

(3) Für die regelmässige Anwendung des IPCC-Verfahrens in Deutschland wird hierbei wie folgt verfahren:

- Aus Gründen des Datenermittlungsaufwandes werden die mit der beschriebenen Vorgehensweise ermittelten „Deutschland-spezifischen“ Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ prinzipiell als „**Konstanten**“ für die zukünftige regelmässige CO₂-Berichterstattung angewendet¹⁴.
- Um gewisse, von Jahr zu Jahr auftretende Änderungen in der Struktur der Folgeproduktketten des NEV zu berücksichtigen, werden für folgende Prozesse oder Stoffströme **jährlich separate Daten** ermittelt und bei der Bilanzierung der Kohlenstoffbindung im NEV berücksichtigt:
 - Ammoniaksynthese (Produktion von Ammoniak und Harnstoff)
 - Abfallverbrennung (Verbrennungsanteil am Aufkommen an Siedlungsabfällen).

(4) Wesentliche **Datengrundlage** für die Struktur der Folgeproduktketten des NEV ist die Studie „Daten zur Behandlung des nicht-energetischen Verbrauchs unter Aspekten der Treibhausproblematik“ des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) /ISI 1996/. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich diese Untersuchung auf 1989 bezieht. Die Ergebnisse werden z.Zt. aktualisiert. Zwischenergebnisse dieser Aktualisierung konnten hier ebenfalls als Grundlage verwendet werden.

Die Abschätzung des Anteiles kurz- und langlebiger Produkte erfolgt auf Basis vorhandener Literatur, v.a /Gielen 97/ und /Patel et al E 97/.

Als weitere Datenbasis für die deutschlandspezifische verfeinerte Methode werden soweit möglich nur periodisch revidierte, öffentlich zugängliche Daten verwendet:

- Bundesamt für Statistik: Produktionsstatistik, Aussenhandelsstatistik, Abfallstatistik,
- Amtliche Mineralölstatistik des BAW
- Statistik der Kohlewirtschaft
- Statistiken der Energie-und Chemiewirtschaft
- Prognos-Datenbasen zu Energie
- Literatur zu und Verfahrenstechnik der betreffenden Prozesse

¹⁴ Zweckmässig wäre ein periodisches up-date dieser Konstanten, wie sie derzeit vom ISI im Auftrag des BMBF durchgeführt wird.

3.3.4 Ergebnisse

(1) Die Ergebnisse der mit der vereinfachten Materialflussanalyse durchgeführten Abschätzungen und Berechnungen zur Kohlenstoffbindung in den Folgeproduktketten des NEV sind nach der IPCC-Systematik in Anhang 1 zusammengestellt.

Ermittelte Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“

(2) Die ermittelten Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ liegen in den Jahren 1990 bis 1994 im **Gesamtdurchschnitt** (über den gesamten NEV) bei ca. **73% - 79%** (siehe Tabelle 3.6).

- Für den gesamten NEV und die gesamte Kohlenstoffbindung spielen die **Flüssigbrennstoffe** mengenmässig die bei weitem wichtigste Rolle (Anteil von 80% - 90% am gesamten gebundenen Kohlenstoff), wobei der Folgeproduktast „Steamcracker - Kunststoffe“ am bedeutendsten ist (siehe oben). Der gebundene Kohlenstoffanteil liegt bei den Flüssigbrennstoffen zwischen **72% und 77%**. Der freigesetzte Kohlenstoffanteil von 23% - 28% ist zu etwa 90% auf den internen Brennstoffverbrauch der Steamcracker und die Abfallverbrennung von Folgeprodukten der Steamcracker (Kunststoffe) zurückzuführen. Darin spielt der interne Brennstoffverbrauch der Steamcracker mit einem Anteil von 55% - 65% die grössere Rolle. Der als „gebundener Kohlenstoff“ ausgewiesene Anteil des NEV enthält auch Emissionen von kurzlebigen Produkten (Lösemittel, die etwa 10% der gesamten „gebundenen“ Kohlenstoffmenge im Bereich Flüssigbrennstoffe ausmachen), die nicht als verbrennungsbedingte Emissionen bilanziert werden (siehe 3.3.1).
- Die mengenmässige Bedeutung der **Kohleprodukte** als Chemierohstoff ist zwischen 1990 und 1994 deutlich gesunken: Der Anteil am gesamten NEV sank von 7% auf 3%. Der „gebundene“ Kohlenstoffanteil liegt hier bei **80% - 86%**. Dieser Anteil enthält auch prozessbedingte Emissionen (aus der Methanolherstellung) und Emissionen von kurzlebigen Produkten (etwa 15% der gesamten gebundenen Kohlenstoffmenge im Bereich Festbrennstoffe). Der restliche freigesetzte Anteil des Kohlenstoffs ist auf die Abfallverbrennung der einzelnen Folgeprodukte zurückzuführen.
- Der Anteil von **Erdgas** am NEV liegt bei 6 - 7%. Der „gebundene“ Kohlenstoffanteil ist hier mit **90% - 94%** am höchsten. Davon sind allerdings nur etwa 30% auf die Einbindung in langfristigen Produkten zurückzuführen. Die restlichen etwa 60% sind Prozessmissionen aus der Ammoniaksynthese (ca. 50%) und kurzlebige Produkte (Lösemittel und Düngemittel), die nicht als verbrennungsbedingte Emissionen bilanziert werden (siehe 3.3.1). Der verbleibende Anteil von 6 - 10% freigesetzter Kohlenstoff ist auf die Abfallverbrennung von Folgeprodukten zurückzuführen.

(3) Zwischen 1990 und 1994 ist der Anteil des „gebundenen Kohlenstoffs“ am gesamten NEV von ca. 79% auf ca. 73% **kontinuierlich zurückgegangen**. Dieser Rückgang ist auf die **Veränderungen bei der Abfallentsorgung** zurückzuführen: Der Anteil der Abfallverbrennung ist in diesem Zeitraum gegenüber der Deponierung angestiegen.

Tabelle 3.6: Ergebnisse für die Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“

	„Fraction of Carbon Stored“ (% von Gesamt-NEV) ^{a)}				
	1990	1991	1992	1993	1994
Liquid Fuels					
Gas/Diesel Oil	64.7%	64.7%	57.9%	57.0%	57.0%
Residual Fuel Oil	93.1%	93.1%	88.6%	88.6%	88.6%
LPG	64.7%	64.7%	57.9%	57.0%	57.0%
Naphtha	64.7%	64.7%	57.9%	57.0%	57.0%
Bitumen	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Lubricants	94.1%	94.1%	92.2%	92.2%	92.2%
Petroleum Coke	88.3%	88.3%	84.4%	84.4%	84.4%
Refinery Gas	64.7%	64.7%	57.9%	57.0%	57.0%
Other fuels	64.7%	64.7%	57.9%	57.0%	57.0%
Other Oil Products	86.0%	86.0%	76.7%	76.7%	76.7%
Liquid Fuels Total	77.2%	77.1%	72.5%	71.1%	71.8%
Solid Fuels					
Lignite	89.1%	89.1%	81.8%	81.8%	81.8%
Coke (Hard Coal)	91.2%	91.2%	85.3%	85.3%	85.3%
Coke (Lignite)	92.2%	92.2%	87.1%	87.1%	87.1%
Tar	88.3%	88.3%	84.4%	84.4%	84.4%
Coal Oils	74.5%	74.5%	74.5%	74.5%	74.5%
Solid Fuels Total	86.4%	83.8%	79.5%	80.5%	80.7%
Gaseous Fuels					
Natural Gas (dry)	94.3%	94.2%	90.4%	90.2%	90.3%
TOTAL	79.2%	78.4%	73.8%	72.4%	73.1%

a) Gew-% bezogen auf den Kohlenstoffanteil

(4) In der folgenden Tabelle sind die in dieser Untersuchung ermittelten Korrekturfaktoren den vom IPCC vorgeschlagenen **Default-Werte** gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die **Abweichungen im Gesamtdurchschnitt relativ gering** sind.

Bei den **einzelnen Energieträgern** bestehen aber z.T. deutliche Abweichungen, die sich in der Summe ausgleichen. Die Unterschiede beruhen zu einem grossen Anteil auf **systemati-**

schen Differenzen. Insbesondere wird in den vom IPCC vorgeschlagenen Default-Werten offenbar nicht zwischen verbrennungsbedingter und nicht-verbrennungsbedingter Kohlenstofffreisetzung unterschieden, d.h. auch nicht-verbrennungsbedingte Emissionen (Prozessemissionen, Lösemittel, etc.) werden dem freigesetzten Kohlenstoffanteil zugerechnet. Dies spielt besonders bei **Erdgas** eine grosse Rolle, wo unsere Werte die prozessbedingten Emissionen aus der Ammoniaksynthese mitenthalten (siehe oben).

Tabelle 3.7: Vergleich der Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ mit den „Default-Werten“ des IPCC

	„Fraction of Carbon Stored“ ^(a)	
	Deutschlandspezifische Werte	IPCC-Default-Werte
Liquid Fuels		
Gas/Diesel Oil	57 - 65%	50%
Residual Fuel Oil	89 - 93%	50%
LPG	57 - 65%	80%
Naphtha	57 - 65%	75%
Bitumen	100%	100%
Lubricants	92 - 94%	50%
Petroleum Coke	84 - 88%	75%
Refinery Gas	57 - 65%	80%
Other fuels	57 - 65%	50%
Other Oil Products	77 - 86%	75%
Liquid Fuels Total	71 - 77%	73 - 76%
Solid Fuels		
Lignite	77 - 86%	100%
Coke (Hard Coal)	85 - 91%	100%
Coke (Lignite)	87 - 92%	100%
Tar	84 - 88%	100%
Coal Oils	75%	100%
Solid Fuels Total	80 - 86%	100%
Gaseous Fuels		
Natural Gas (dry)	90 - 94%	33%
TOTAL	72 - 79%	73 - 75%

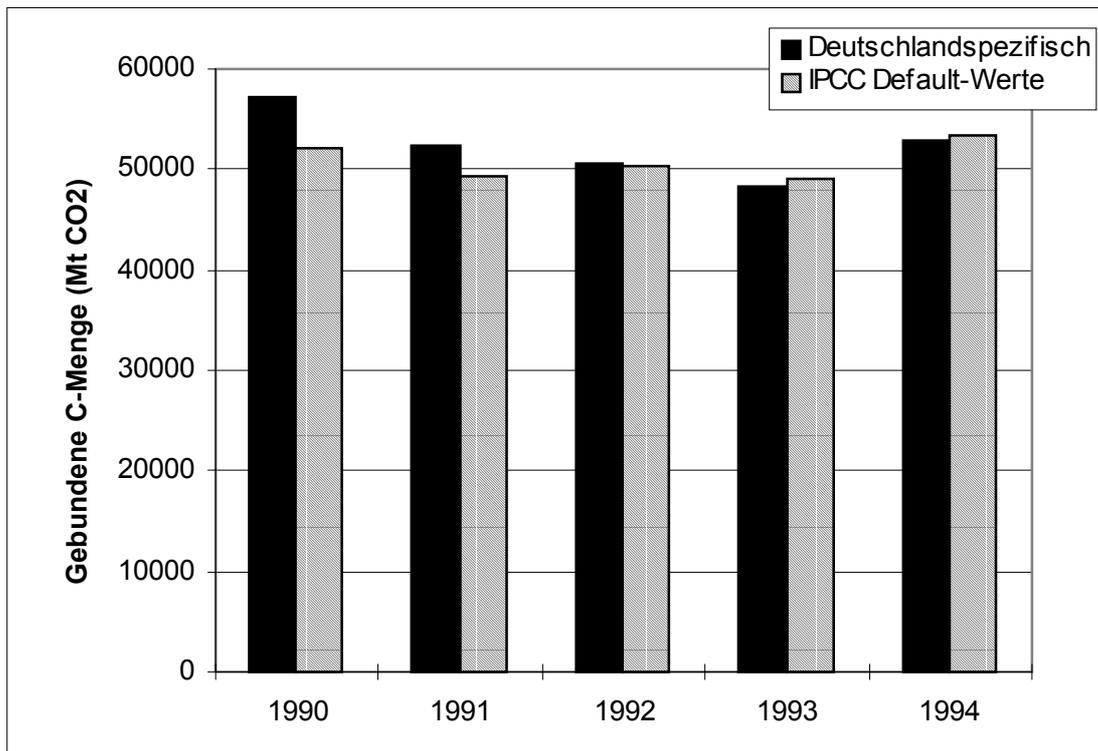
a) Spannbreiten für die Jahre 1990 - 1994

Bei dem mengenmässig bedeutendsten Energieträger Naphtha liegt der Default-Wert über dem deutschlandspezifischen Wert. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass im Default-Wert die Abfallverbrennung der Folgeprodukte nicht berücksichtigt ist. Das gleiche gilt für den Bereich Kohle. Auch im „Reference Manual“ der „IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (S. I.27) wird darauf hingewiesen, dass der Default-Wert aus diesem Grund möglicherweise eine Überschätzung darstellt.

Gesamtmenngen an gebundenem Kohlenstoff

(5) Die Gesamtmenngen an gebundenem Kohlenstoff, wie sie mit den oben dargestellten Korrekturfaktoren ermittelt wurden, sind zwischen 1990 gesunken und 1994 wieder etwas angestiegen (siehe Abbildung 3-2).¹⁵⁾

Abbildung 3-2: Entwicklung der Gesamtmenngen an gebundenem CO₂; Vergleich mit IPCC-Default-Werten



- Der gesamte nicht-energetische Verbrauch an Energieträgern ist zwischen 1990 und 1991 deutlich gesunken (- 7%). Gleichzeitig sank der durchschnittliche Korrekturfaktor „Fraction of carbon stored“ von 79,2% auf 78,4% (siehe oben).
- Zwischen 1991 und 1993 ist der NEV relativ konstant geblieben. Der Rückgang der gebundenen CO₂-Mengen beruht auf dem Rückgang des „Fraction of carbon stored“ (siehe oben).
- Der Wiederanstieg der gebundenen CO₂-Mengen 1994 beruht überwiegend auf dem Anstieg des gesamten NEV (+ 9%) und zu einem geringeren Anteil auf dem Anstieg des „Fraction of carbon stored“ (siehe oben).

¹⁵⁾ In der Abbildung wurden die gebundenen Kohlenstoffmengen stöchiometrisch in CO₂ umgerechnet.

(6) Die Aufteilung der gebundenen Kohlenstoffanteile nach Energieträgergruppen zeigt, dass die Gesamtentwicklung durch die Entwicklung bei den Flüssigbrennstoffen dominiert wird.

Tabelle 3.8: Entwicklung der Mengen an gebundenem CO₂ nach Energieträgergruppen

	Gebundener Kohlenstoff (Mt CO ₂)			
	Liquid fuels	Solid fuels	Gaseous fuels	Gesamt
1990	46'600	5'500	5'000	57'100
1991	45'700	3'500	3'300	52'500
1992	44'100	3'000	3'400	50'500
1993	42'900	2'600	2'800	48'300
1994	47'200	2'500	3'200	52'900

(7) Es zeigt sich weiterhin, dass die **Abweichungen** zwischen den mit den deutschland-spezifischen Korrekturfaktoren ermittelten Ergebnissen und den Ergebnissen, die sich bei Anwendung der vom IPCC vorgeschlagenen **Default-Werte** ergeben würden, **gering** sind (Abbildung 3-2). Sie liegen (entsprechend den oben diskutierten Unterschieden bei den Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“) **unter 10%**.

(8) Daraus kann jedoch nicht auf die „Güte“ oder die Genauigkeit der IPCC Default-Werte geschlossen werden, da im Detail deutliche Abweichungen zu den deutschlandspezifischen Werten bestehen (siehe oben). Bei Anwendung der Default-Faktoren in anderen Ländern könnten die Abweichungen gegenüber der tatsächlichen Kohlenstoffbindung durchaus erheblich sein.

Aufgrund der Struktur der Folgeproduktketten des NEV in Deutschland können zur „Güte“ der Default-Faktoren folgende **Schlussfolgerungen für die internationale Anwendung** des IPCC-Referenzverfahrens gezogen werden:

- **Geringere Abweichungen** zwischen den mit den Default-Faktoren ermittelten gebundenen Kohlenstoffmengen und den tatsächlichen Mengen sind in den Ländern zu erwarten,
 - wo der Anteil des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern am gesamten Endenergieangebot gering ist;
 - wo (wie in Deutschland) innerhalb der Folgeproduktketten des NEV der **Ast „Steamcracker-Kunststoffe“ dominiert** und gleichzeitig ein relativ **geringer**

- Anteil** der dabei erzeugten Produkte via **Abfallverbrennung** entsorgt wird (die Default-Werte berücksichtigen die CO₂-Freisetzung bei der Abfallverbrennung nicht ausreichend);
- wo (wie in Deutschland) die Herstellung von **Lösemitteln** innerhalb der Folgeproduktketten des NEV eine geringe Rolle spielt oder die resultierenden VOC-Emissionen üblicherweise als nicht-verbrennungsbedingte Emissionen bilanziert werden (Lösemittelmmissionen werden in den IPCC-Default-Werten offenbar als freigesetzter Kohlenstoff behandelt, während sie hier als nicht-verbrennungsbedingte Emissionen formal dem gebundenen Kohlenstoff zugerechnet wurden).
 - wo der Erdgaseinsatz zur **Ammoniaksynthese** bezogen auf den gesamten NEV eine relativ geringe Rolle spielt bzw. die dabei entstehenden prozessbedingten CO₂-Emissionen üblicherweise unter den verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen ausgewiesen werden.
- Umgekehrt sind in den Ländern **grössere Abweichungen** zu erwarten,
- wo innerhalb der Folgeproduktketten des NEV der **Ast „Steamcracker-Kunststoffe“ dominiert** und gleichzeitig ein relativ **grosser Anteil** der dabei erzeugten Produkte via **Abfallverbrennung** entsorgt wird;
 - wo der Erdgaseinsatz zur **Ammoniaksynthese** bezogen auf den gesamten NEV eine relativ grosse Rolle spielt bzw. die dabei entstehenden prozessbedingten CO₂-Emissionen üblicherweise nicht unter den verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen ausgewiesen werden;
 - wo innerhalb der Folgeproduktketten des NEV die Herstellung von **Lösemitteln** eine grosse Rolle spielt oder die resultierenden VOC-Emissionen üblicherweise den verbrennungsbedingten Emissionen zugerechnet werden.

4. CO₂-Bilanzen für Deutschland nach der IPCC-Referenzmethode 1991 - 1994

4.1 Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen 1990 bis 1994

Zwei Varianten der Anwendung der IPCC-Referenzverfahrens

(1) Wie in 2.3 ausgeführt, besteht die Zielsetzung des IPCC-Verfahrens in der Ermittlung des CO₂-Potentials der eingesetzten Energieträger auf der Basis einer möglichst „anspruchlosen“ und daher in vielen Länder verfügbaren Datenbasis. Der Zweck der Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ und „Fraction of carbon oxidised“ besteht in der Verfeinerung der Berechnung. Die Anwendung der Korrekturfaktoren ist daher u.E. als optional anzusehen. Um diesen „Rahmenbedingungen“ gerecht zu werden, werden bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens zwei Varianten betrachtet:

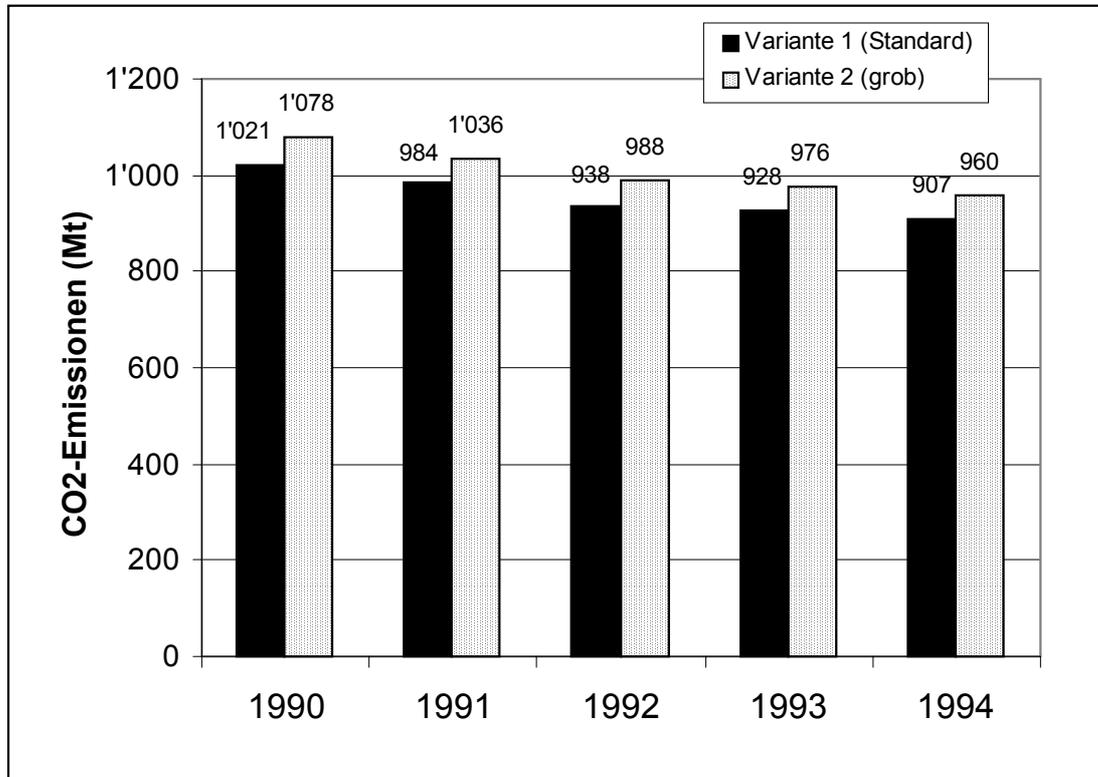
- **„Standard“-Variante 1 mit Anwendung eines Korrekturfaktors „Fraction of carbon stored“ (verfeinertes Verfahren):** In diesem Fall wird der Korrekturfaktor auf der Grundlage einer möglichst genauen Abschätzung der tatsächlichen „Kohlenstoffbindung“ in den Folgeproduktketten des NEV ermittelt; d.h. des Anteils der im nicht-energetischen Verbrauch enthaltenen Kohlenstoffmengen, der *nicht* zu verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen führt.
- **Variante 2 ohne Anwendung eines Korrekturfaktors „Fraction of carbon stored“ (grobes Verfahren):** In diesem Fall wird der gesamte nicht-energetische Verbrauch von kohlenstoffhaltigen Energieträgern im CO₂-Emissionspotential ausgewiesen.

Basis für die CO₂-Berichterstattung der Bundesrepublik Deutschland ist das verfeinerte Verfahren nach **Variante 1**.

(2) Die nach der **Standard-Variante 1** berechneten verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen sind im Detail in Anhang 2 nach der IPCC-Systematik dargestellt. Von 1990 bis 1994 sind sie von 1'021 Mt auf 907 Mt gesunken (- 11%, siehe Abbildung 4-1). Die Abnahme beruht auf der Abnahme des Verbrauchs von festen Brennstoffen um fast 30%. Bei den flüssigen Brennstoffen und den Gasen stiegen dagegen mit dem Verbrauch auch die CO₂-Emissionen.

Durch die Behandlung des gesamten nicht-energetischen Verbrauchs als CO₂-Potential sind die mit **Variante 2** berechneten CO₂-Emissionen naturgemäss grösser als die Ergebnisse von Variante 1. Die **Abweichung** ist aber **relativ gering**. Sie liegt im betrachteten Zeitraum in einem engen Band von **5,2% - 5,8%** der Ergebnisse nach Variante 1.

Abbildung 4-1: Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren 1990 -1994



(3) Differenziert man die Ergebnisse nach den einzelnen **Brennstoffgruppen**, so sind die Abweichungen zwischen den Ergebnissen beider Varianten naturgemäss bei den Flüssigbrennstoffen am grössten, da sie den mengenmässig grössten Anteil am nicht-energetischen Verbrauch aufweisen (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Vergleich der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach Brennstoffgruppen in den Varianten 1 und 2 für 1994

	CO ₂ -Emissionen 1994 (Mt)		Abweichung (%)
	Variante 1 (Standard)	Variante 2 (grob)	
Liquid Fuels	360	407	+ 13,1%
Solid Fuels	406	408	+ 0,6%
Gaseous Fuels	141	144	+ 2,3%
Total	907	959	+ 5,8%

Abweichungen der Ergebnisse bei Anwendung der IPCC Default-Werte

(4) Im Vergleich zwischen der Rechnung nach der deutschlandspezifischen Standardvariante 1 und der Rechnung mit IPCC-Default-Werten für Kohlenstoffgehalte („Carbon emission factor“) und „Kohlenstoffbindung“ in den Folgeprodukten des nicht-energetischen Verbrauchs („Fraction of carbon stored“) liegen die Ergebnisse mit Default-Werten um **3,5 – 4,5% unter den Ergebnissen der Standardvariante** (siehe Tabelle 4.2).

Die Unterschiede sind auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Der grösste Teil der Abweichungen ist darauf zurückzuführen, dass die IPCC-Default-Werte für den **Kohlenstoffgehalt** die deutschen **Kohlesorten** nicht angemessen widerspiegeln. Insbesondere sind die „Carbon Emission Factors“ für Braunkohle höher als die IPCC-Default-Werte (siehe 3.1). Daher sind die Abweichungen bei der Rechnung mit Defaultwerten bei den Festbrennstoffen auch am grössten.
- Auch bei den Flüssigbrennstoffen liegen die Ergebnisse der Rechnung mit Defaultwerten unter den deutschen Werten. Dies ist vor allem das Resultat geringerer „**Carbon emission factors**“ für **Rohöl und Motorenbenzin**. Diese Effekte werden in den Jahren 1990 und 1991 teilweise durch geringere Werte für den „gebundenen“ Kohlenstoff kompensiert.
- Etwa 1%-Punkt der Abweichung ist darauf zurückzuführen, dass bei der Anwendung des Referenzverfahrens Kohlenstoffverluste durch unvollständige Verbrennung nicht berücksichtigt werden (siehe 3.2). Das IPCC schlägt für den Ausbrandgrad „Fraction of carbon oxidised“ Default-Werte von 99%, teilweise von 98% vor.

Tabelle 4.2: Vergleich der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen nach Brennstoffgruppen in den Varianten 1 und 2 für 1994

	CO ₂ -Emissionen (Mt)		Abweichung (%)
	Variante 1 (Standard)	IPCC-Default-Werte	
1990	1'021	976	4,4 %
1991	984	943	4,2 %
1992	938	899	4,2 %
1993	928	888	4,3 %
1994	907	876	3,4 %

4.2 Vergleich mit den Ergebnissen auf der Basis der IEA-Energiebilanzen

(1) Da die Energiebilanzen der Internationalen Energieagentur (IEA) für internationale Vergleiche eine wichtige Rolle spielen, interessiert die Frage, welche Abweichungen sich bei der Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens ergeben, wenn statt der „deutschen Energiebilanz“ der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGE) die IEA-Energiebilanz als Grundlage verwendet wird.

Hierzu wurde die „Standardvariante“ des IPCC-Referenzverfahrens für Deutschland (verfeinertes Verfahren mit Berücksichtigung der „Kohlenstoffbindung“ in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern) für das Jahr 1993 mit der IEA-Energiebilanz als Grundlage durchgerechnet.¹⁶⁾

(2) Der **Unterschied** zwischen den mit der IEA-Energiebilanz errechneten Ergebnissen und den mit der AGE-Energiebilanz errechneten Ergebnissen ist **in der Summe gering**:

- Die Abweichung der **CO₂-Gesamtemissionen** beträgt **1,4%**, wobei mit der IEA-Energiebilanz die geringeren Werte errechnet wurden (Siehe Tabelle 4.3).
- Dabei sind die Abweichungen bei den Festbrennstoffen am geringsten (0,2%) und bei Flüssigbrennstoffen mit 3,1% am höchsten. Bei Erdgas liegen sie bei 1,9% (Tab. 4.3).

Tabelle 4.3: Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren („Standardvariante“) auf der Basis der Energiebilanzen von AGE und IEA für 1993

	CO ₂ -Emissionen 1993 (Mt)		Abweichung (%)
	Basis: AGE-Energiebilanz	Basis: IEA-Energiebilanz	
Liquid Fuels	368	356	- 3,1%
Solid Fuels	421	422	+ 0,2%
Gaseous Fuels	139	136	- 1,9%
Total	928	914	- 1,4%

16) Dabei wurden die gleichen Korrekturfaktoren „Fraction of carbon stored“ verwendet wie bei der „Standardvariante“. Aufgrund der aggregierteren Bilanzierung der Energieträger in der IEA-Energiebilanz waren dabei bei einigen Energieträgern Aggregationen der Faktoren erforderlich.

(3) Die Unterschiede sind auf die in Kapitel 3.1.1 dargestellten Unterschiede in den Energiebilanzdaten von AGE und IEA zurückzuführen:

- Ein Grund für die grösseren Abweichungen bei den **Flüssigbrennstoffen** sind die grossen Differenzen in den von IEA und AGE ausgewiesenen **Bestandsänderungen** der Energieträger: Für die Flüssigbrennstoffe weist die IEA-Bilanz für 1993 einen Netto-Bestandsaufbau von zusammen 2 PJ aus, während in der AGE-Bilanz ein Netto-Bestandsabbau von 133 PJ ausgewiesen wird. Aufgrund der grossen mengenmässigen Relevanz schlagen dabei vor allem die Unterschied bei „Gas oil/Diesel oil“ zu Buche.
- Der zweite Grund für die Abweichungen bei den Flüssigbrennstoffen liegt in der unterschiedlichen Systematik der **Verbuchung des Wiedereinsatzes von Mineralölprodukten in den Mineralölraffinerien**: Die AGE-Bilanz weist diese Mengen unter den Importen aus; sie erhöhen daher die Energiebezugsgrösse des IPCC-Referenzverfahrens („Apparent Consumption“). In der IEA-Bilanz werden diese Mengen unter „Refinery Feedstocks“ als interne Produkttransfers innerhalb des Umwandlungssektors verbucht; sie haben keine Auswirkungen auf die Energiebezugsgrösse des Referenzverfahrens. Im Ergebnis weist die AGE-Energiebilanz systematisch höhere Importwerte aus als die AGE-Bilanz (1993: 50 PJ).
- Die Abweichungen bei **Erdgas** sind wie bei den Flüssigbrennstoffen zu einem grossen Teil auf die grossen Differenzen bei den **Bestandsänderungen** zurückzuführen (ausgewiesene Netto-Bestandserhöhungen 29,6 PJ bei AGE gegenüber 60,6 PJ bei IEA).

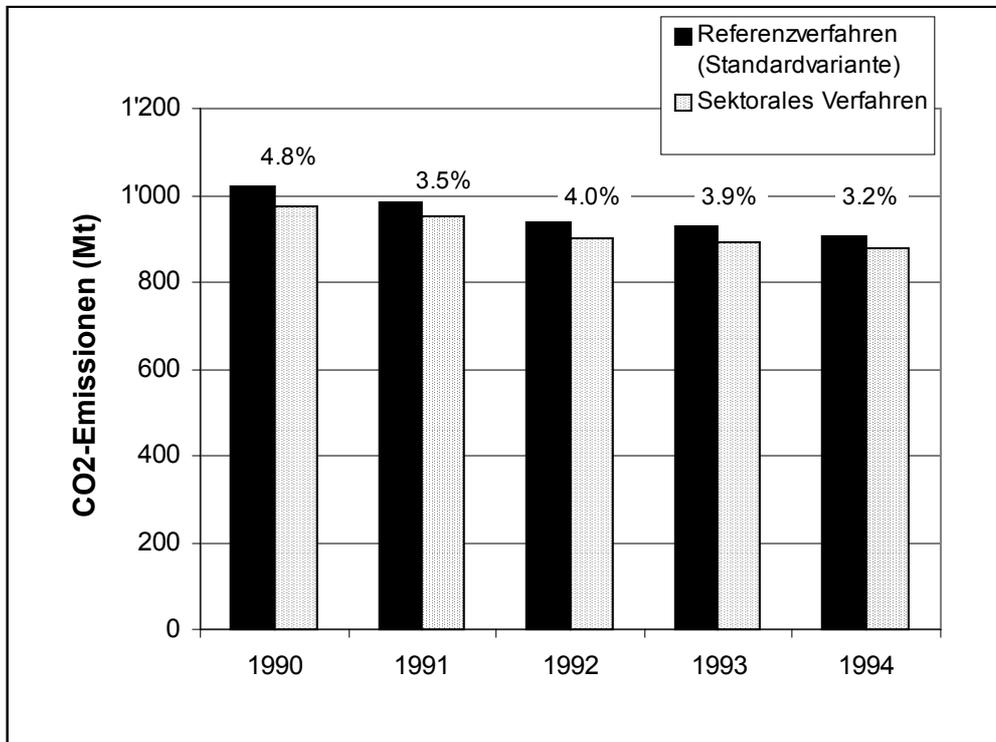
4.3 Vergleich zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektorialem Verfahren

(1) Das sektorale Verfahren stellt in Deutschland das „Standardverfahren“ zur nationalen Berichterstattung dar. In Kapitel 2.2 wurde das sektorale Verfahren hinsichtlich der Methodik mit dem IPCC-Referenzverfahren verglichen. Auf dieser Grundlage werden hier die Unterschiede in den Ergebnissen für die CO₂-Emissionen analysiert.

Die **Abweichungen** zwischen den **CO₂-Gesamtemissionen** nach der „**Standardvariante**“ des IPCC-Referenzverfahrens (verfeinertes Verfahren mit Berücksichtigung der „Kohlenstoffbindung“ in den Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern) und dem Ergebnis des sektoralen Verfahrens liegen in einem Bereich von **3 – 5%** (siehe Abbildung 4-2).

Würde man beim Referenzverfahren statt der Standardvariante die „**Variante 2**“ anwenden (siehe oben, 4.1), bei der der gesamte nicht-energetische Verbrauch von Energieträgern als emissionsrelevant bilanziert wird, so läge die Abweichung gegenüber dem sektoralen Verfahren bei **9 – 11%**.

Abbildung 4-2: Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen 1990 – 1994 nach Referenzverfahren und sektorialem Verfahren



Die Abweichungen sind bei den Flüssigbrennstoffen am grössten. Dies gilt vor allem beim Referenzverfahren nach „Variante 2“, da der Grossteil des nicht-energetischen Verbrauchs aus Flüssigbrennstoffen besteht (siehe Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4: Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren und dem sektorialem Verfahren für 1990

	CO ₂ -Emissionen 1990 (Mt)			Abweichung gegenüber sektorialem Verfahren (%)	
	Sektorales Verfahren ^{a)}	IPCC-Referenzverfahren		„Standardvariante“	„Variante 2“
		„Standardvariante“	„Variante 2“		
Liquid Fuels	313	330	377	+ 5,4%	+ 20,4%
Solid Fuels	541	567	572	+ 4,8%	+ 5,7%
Gaseous Fuels	120	124	129	+ 3,3%	+ 7,5%
Total	974	1'021	1'078	+ 4,8%	+ 10,7%

a) Die Daten für das sektorale Verfahren basieren auf den Angaben in /BMU 1997/. Bei der Aggregation der Daten wurden einzelne Anpassungen vorgenommen, um die Konsistenz gegenüber dem Referenzverfahren sicherzustellen. Es bestehen daher geringe Differenzen gegenüber anderen Angaben.

(2) Da die Berechnung der CO₂-Emissionen nach dem Muster

$$\text{Emission} = \text{Aktivität (Energieverbrauch)} \times \text{Emissionsfaktor}$$

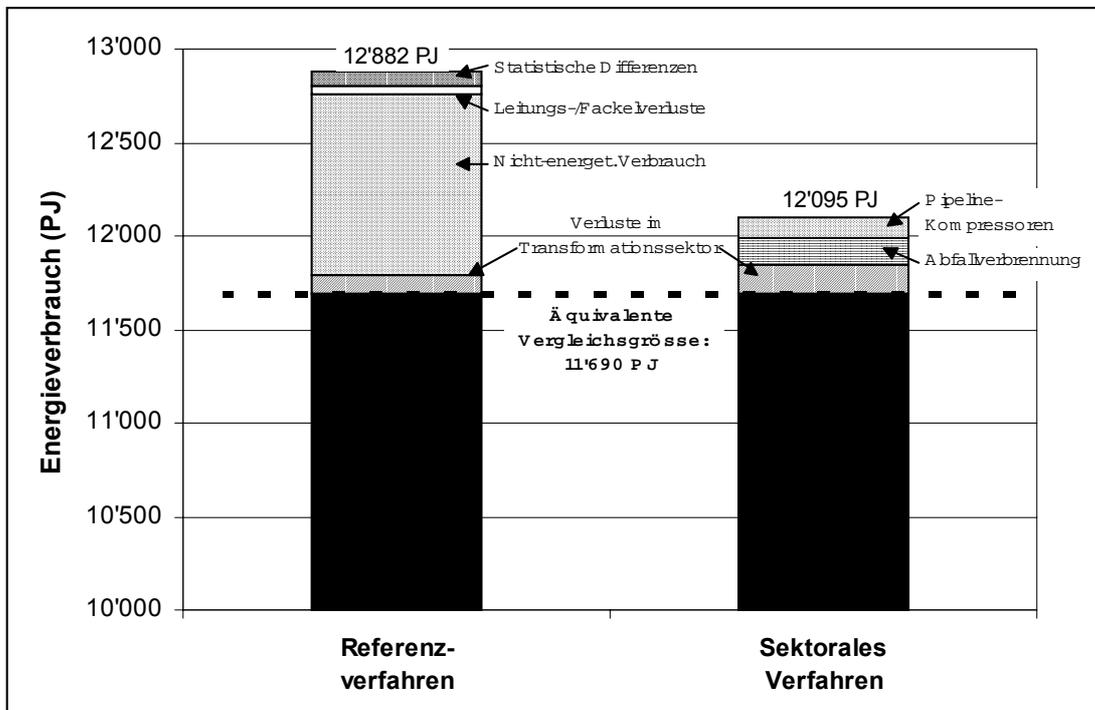
erfolgt, können die beschriebenen Unterschiede zwischen den Ergebnissen von Referenzverfahren und sektoralem Verfahren auf **zwei prinzipielle Ursachenbereiche** zurückgeführt werden:

- Systematische Unterschiede auf der Ebene der zugrundeliegenden Energieverbräuche (siehe Kapitel 2.2) und
- Differenzen in den Emissionsfaktoren bzw. den Kohlenstoffgehalten der Energieträger.

(3) Die **systematischen Unterschiede** zwischen IPCC-Referenzverfahren und sektoralem Verfahren wurden für das Jahr 1990 wie folgt quantifiziert (siehe Abbildung 4-3):

- Die **Energiebezugsgröße** („Apparent Consumption“ = inländischer Primärenergieverbrauch fossiler Energieträger) für „Variante 2“ des IPCC-Referenzverfahrens liegt bei ca. 12'900 PJ. Dies ist 6,5% höher als die Energiebezugsgröße des sektoralen Verfahrens (Endenergieverbrauch + Energieverbrennung im Umwandlungssektor). Bei der „Standardvariante“ des Referenzverfahrens ist die Abweichung aufgrund der Korrektur durch nicht-emissionsrelevante Teile des nicht-energetischen Verbrauchs geringer.

Abbildung 4-3: Systematische Unterschiede zwischen Referenzverfahren und sektoralem Verfahren im Jahr 1990



- Um die CO₂-Emissionsberechnungen „kompatibel“ zu machen, wurden die Energiebe-

zugrößen um die systematischen Unterschiede bereinigt:

- Die Energiebezugsgröße des Referenzverfahrens enthält die **statistischen Differenzen** aus der Energiebilanz, **Fackel- und Leitungsverluste** sowie den **nicht-energetischen Verbrauch** von Energieträgern (NEV), die jeweils in der Energiebezugsgröße des sektoralen Verfahrens nicht enthalten sind. Eine Ausnahme bildet der Anteil der Abfallverbrennung, der auf Folgeprodukte des NEV zurückzuführen ist (z.B. Kunststoffanteil in verbrannten Abfällen). Hinzu kommen nicht-verbrennungsrelevante stoffliche **Verluste im Transformationssektor** (Brikettfabriken, Kokereien, usw.).
- Die Energiebezugsgröße des sektoralen Verfahrens enthält den Brennstoffverbrauch der **Erdgas-Pipeline-Kompressoren** und die **Abfallverbrennung**, die (mit Ausnahme der Abfallverbrennung von Folgeprodukten des NEV) beim Referenzverfahren nicht enthalten sind. Weiterhin wird bei den Berechnungen des Umweltbundesamtes mit dem sektoralen Verfahren ein zusätzlicher Verbrauch von Braunkohle im Transformationssektor bilanziert, der in der Energiebilanz nicht enthalten ist (**Verluste im Transformationssektor**).

Der bei weitem grösste Anteil an den systematischen Differenzen ist auf den nicht-energetischen Verbrauch zurückzuführen (siehe Abbildung 4-3).

Nach jeweiligem Abzug der systematischen Differenzen ergibt sich (erwartungsgemäss) für beide Verfahren die gleiche Energiebezugsgröße („**äquivalente Vergleichsgröße**“) von ca. 11'700 PJ.

- (4) Nach Abzug der Anteile der CO₂-Emissionen, die mit den systematischen Differenzen verbunden sind, ergibt sich eine verbleibende Differenz der CO₂-Emissionen (bei gleicher Energiebezugsgröße) von **2,5%**. Diese Abweichung ist allein auf **Unterschiede in den Kohlenstoffgehalten bzw. Emissionsfaktoren** zurückzuführen.

Als Ursache ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Kohlenstoffgehalte auf der Ebene der Primärenergieträger, wo das Referenzverfahren ansetzt, unsicherer sind als auf der Ebene der Endenergie, wo das sektorale Verfahren ansetzt: Die Zusammensetzungen der Sekundärenergieträger (z.B. Mineralölprodukte) sind in relativ engen Grenzen spezifiziert, während bei den Primärenergieträgern (z.B. Rohöl) grössere Schwankungen bestehen können.

- (5) Somit ergibt sich als **Ergebnis des systematischen Vergleichs** zwischen Referenzverfahren und sektorialem Verfahren **für das Jahr 1990**:

- Die nach „**Variante 2**“ des IPCC-Referenzverfahrens ermittelten CO₂-Emissionen liegen um **10,7%** über dem Ergebnis des sektoralen Verfahrens. Von dieser Gesamtabweichung sind
 - **2,5%-Punkte** (oder etwa ein Viertel) auf Unterschiede in den zugrundeliegenden **Emissionsfaktoren bzw. Kohlenstoffgehalten** zurückzuführen,
 - die restlichen **8,2%-Punkte** (oder etwa drei Viertel) auf **systematische Abwei-**

chungen in den zugrundeliegenden Energie-Bezugsgrössen, vor allem der Mitbilanzierung des nicht-energetischen Verbrauchs beim Referenzverfahren.

- Da bei der „**Standardvariante**“ des **IPCC-Referenzverfahrens** nicht CO₂-relevante Kohlenstoffmengen im nicht-energetischen Verbrauch vom gesamten CO₂-Potential abgezogen werden, verringert sich die Gesamtabweichung der CO₂-Emissionen gegenüber dem sektoralen Verfahren auf **4,8%**. Davon sind
 - **2,5%-Punkte** (oder etwa die Hälfte) auf Unterschiede in den zugrundeliegenden **Emissionsfaktoren bzw. Kohlenstoffgehalten**,
 - die restlichen **2,3%-Punkte** auf **systematische Abweichungen** zurückzuführen.

(6) Abschliessend ist noch darauf hinzuweisen, dass die Ergebnisse des Referenzverfahrens bei Anwendung der **IPCC-Default-Faktoren** (siehe oben, 4.1) deutlich näher an den Ergebnissen des sektoralen Verfahrens liegen würden als bei Anwendung der hier ermittelten Deutschland-spezifischen Faktoren: Die Abweichung läge unter 1%.

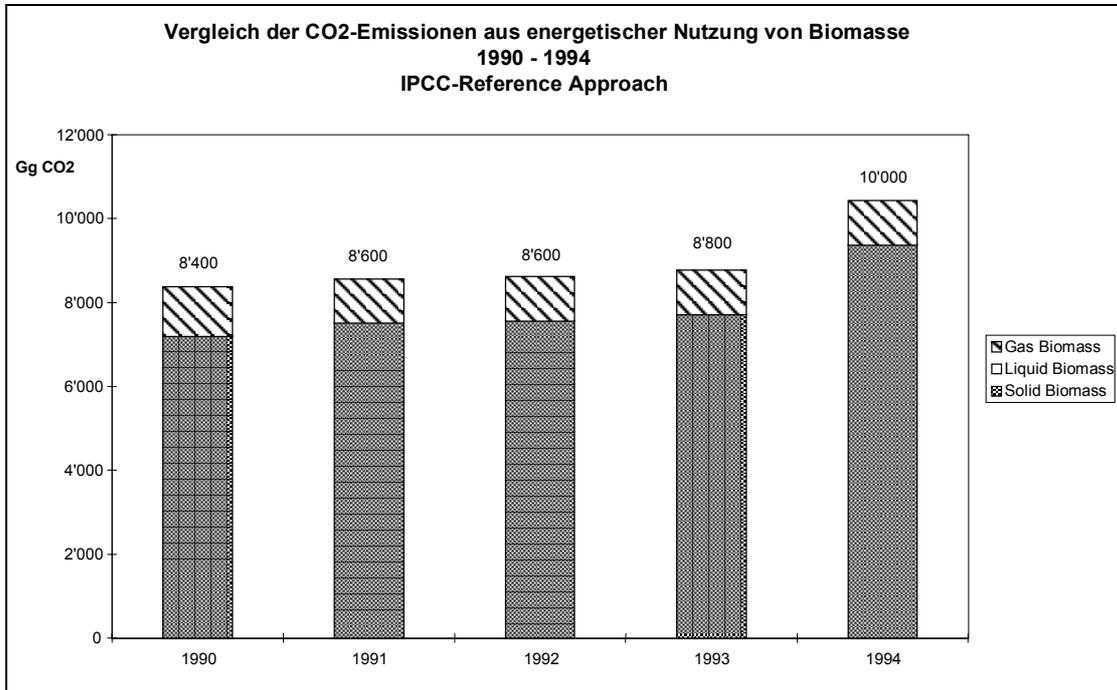
Diese gute Übereinstimmung ist allerdings kein Zeichen grösserer Genauigkeit, sondern „**zufallsbedingt**“: Die systematischen Unterschiede zwischen sektoralen Verfahren und Referenzverfahren werden „zufällig“ zum grössten Teil durch die gegenläufige Abweichung der Default-Faktoren für die Kohlenstoffgehalte der Brennstoffe von den tatsächlichen deutschen Werten ausgeglichen.

4.4 Verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen aus nachwachsenden Energieträgern

(1) Die ausgewiesenen verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen aus nachwachsenden Energieträgern stiegen von 1990 bis 1994 um 1'600 Gg CO₂. Die Zunahme beträgt knapp 25%. Der Zuwachs erfolgte bei den festen Energieträgern, insbesondere auch durch die Erweiterung der Datenbasis der Energiebilanz Deutschland.

(2) Der Anteil der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen aus nachwachsenden Energieträgern an den gesamten verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen beträgt rund 1% mit steigender Tendenz (bis 1993: 0,9%, 1994: 1,1%).

Abbildung 4-4: Entwicklung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen aus nachwachsenden Energieträgern, 1990 – 1994



5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Schlussfolgerungen

(1) Für die zukünftige Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens in Deutschland und international resultieren aus den Ergebnissen dieser Untersuchung folgende **Fragestellungen**:

- Welche Konsequenzen ergeben sich für die Anwendung des Referenzverfahrens aufgrund der Abweichungen gegenüber dem sektoralen Verfahren?
- Welche Sinn machen bei der Anwendung des Referenzverfahrens im nationalen und internationalen Rahmen Verfeinerungen der Daten?

(2) Zum **Verhältnis zwischen sektoralem Verfahren und Referenzverfahren** ist hervorzuheben,

- dass beide Verfahren im Detail unterschiedliche Ziele erfüllen (Ermittlung des CO₂-Potentials des Energieträgereinsatzes beim Referenzverfahren, Ermittlung der tatsächlichen CO₂-Emissionen beim sektoralen Verfahren) und systematische Unterschiede aufweisen.
- **Eine volle Übereinstimmung der Ergebnisse beider Verfahren kann daher von vornherein nicht erwartet werden.**

Damit ergibt sich die Schwierigkeit, dass zumindest in der breiteren Öffentlichkeit ein Nebeneinander zweier nicht-identischer CO₂-Emissionswerte für Deutschland schwer vermittelbar ist.

Die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens sollte daher **auf Berichterstattungsaufgaben im internationalen Rahmen beschränkt** bleiben, insbesondere für Ländervergleiche.

(3) Im Hinblick auf die zweite Fragestellung nach dem Sinn der Verfeinerung des Datenbasis bei der Anwendung des Referenzverfahrens sind zwei Datengruppen relevant,

- die „Carbon emission factors“ (Kohlenstoffgehalte der Brennstoffe) und
- die „Fraction of carbon stored“ („Kohlenstoffbindung“ in den Folgeproduktketten des NEV).

Das IPCC sieht vor, dass diese Faktoren vom Grundsatz her für das einzelne Land, in dem das Verfahren angewendet wird, erhoben werden.

Für die Anwendung in Deutschland bringen die Deutschland-spezifischen „**Carbon emission factors**“ eine **Verbesserung der Genauigkeit**: Die mit den Default-Werten des IPCC errechneten CO₂-Emissionen weichen um etwa 4% vom Ergebnis mit den für Deutschland ermittelten Faktoren ab.

Dieser „Genauigkeitsgewinn“ ist aber **nicht in allen Ländern** gegeben, sondern vorwiegend dort, wo die Kohle als Energieträger eine grosse Rolle spielt: Hier bestehen zwischen den einzelnen Fördergebieten weltweit relativ grosse Unterschiede in den Zusammensetzungen der Kohlen. Diese werden durch die pauschalen IPCC-Default-Werte nur ungenügend genau repräsentiert. Für Erdöl, Erdgas und Sekundärenergieträger stimmen dagegen die Default-Werte in den meisten Ländern relativ gut mit den tatsächlichen Kohlenstoffgehalten überein, da die Unterschiede zwischen den verschiedenen Sorten bzw. Fördergebieten relativ gering sind.

- In **Ländern mit einem geringen Anteil von Kohle** am fossilen Primärenergieverbrauch dürfte daher die Verwendung **der IPCC-Default-Werte für die „Carbon emission factors“ ausreichend genaue Ergebnisse** liefern.

In dieser Untersuchung wurde für die Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens in Deutschland eine **weitere Differenzierung der Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas nach Fördergebieten bzw. Herkunftsländern** vorgenommen, um den Einfluss von Änderungen in der Zusammensetzung der eingesetzten Brennstoffsorten auf den durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt zu berücksichtigen. Bei Erdöl und Erdgas ist der „Genauigkeitsgewinn“ dieser Verfeinerung gering, da die Unterschiede im Kohlenstoffgehalt zwischen den einzelnen Sorten gering sind (siehe oben). Bei Kohle ist eine solch differenzierte „Sonderrechnung“ nur bei deutlichen Schwankungen in der Herkunftsstruktur des Kohleverbrauchs sinnvoll. In Deutschland waren diese Schwankungen zwischen 1990 und 1994 so gering, dass nur geringe Änderungen der durchschnittlichen Kohlenstoffgehalte resultierten.

- (4) Neben den „Carbon emission factors“ stellt der Korrekturfaktor **„Fraction of carbon stored“** das zweite Element zur Verfeinerung der Ergebnisse des Referenzverfahrens dar.

Die Ermittlung dieses Korrekturfaktors erfordert allerdings einen erheblichen Aufwand, da Materialflussanalysen der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs erforderlich sind. Vollständige Materialflussanalysen liegen auch in Deutschland bisher nicht vor.

Bei der Ermittlung des „Fraction of carbon stored“ bestehen darüber hinaus eine Reihe von **Abgrenzungsfragen**, für die international einheitliche Festlegungen getroffen werden müssten, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen:

- Insbesondere wäre festzulegen, welche Kohlenstoffmengen als gebundener und daher nicht-emissionsrelevanter Anteil und welche als „freigesetzter“ Anteil bilanziert werden. Da das Referenzverfahren auf die Ermittlung der verbrennungsbedingten Emissionen abzielt, sollten neben der **Kohlenstoffbindung im eigentlichen Sinne** (langlebige Produkte) auch **die nicht-verbrennungsbedingten Kohlenstoffemissionen** (beson-

ders Lösemittlemissionen, Prozessemissionen) unter „Fraction of carbon stored“ bilanziert werden.

- Weiterhin wäre festzulegen, wie **Importe und Exporte** von kohlenstoffhaltigen Folgeprodukten des NEV zu bilanzieren sind. Das IPCC-Referenzverfahren zielt auf die Ermittlung der CO₂-Potentiale des Energieträgereinsatzes ab. Importe von Produkten, die keine Energieträger darstellen, sollten deshalb in der CO₂-Bilanz auch nicht berücksichtigt werden. Aus Konsistenzgründen müssten dann Exporte vom Grundsatz her entsprechend ihrer tatsächlichen Weiterverwendung (in den Empfängerländern) bilanziert werden.
- Hinzu kommt, dass der nicht-energetische Verbrauch in verschiedenen Ländern z.T. unterschiedlich definiert ist. Beispielsweise ist der Energieverbrauch der Steamcracker in einigen Ländern im NEV enthalten, in anderen nicht.

Das IPCC-Referenzverfahren wurde als Methode vorgeschlagen, um auch für Länder mit begrenzter Verfügbarkeit von Energiedaten die Ermittlung der CO₂-Emissionen zu ermöglichen. Eigenständige Berechnungen der „Fraction of carbon stored“ mittels Materialflussanalysen stehen diesem Ziel entgegen. Stattdessen könnten in diesen Ländern **Default-Werte**, wie sie vom IPCC vorgeschlagen werden, verwendet werden. Allein schon aufgrund der obengenannten Abgrenzungsprobleme, aber auch aufgrund relativ grosser Unterschiede der Struktur der Folgeproduktketten des nicht-energetischen Verbrauchs zwischen den einzelnen Ländern (allein schon im Bereich der Abfallentsorgung), können die Default-Werte die tatsächlichen Verhältnisse in einem bestimmten Land nur sehr grob abbilden. Grundsätzlich ist daher unklar, ob hierdurch in den meisten Ländern eine tatsächliche Verfeinerung der Ergebnisse erreicht werden kann.

- Unseres Erachtens wäre es daher sinnvoll, **auf die Anwendung des Korrekturfaktors „Fraction of carbon stored“ gänzlich zu verzichten, und als Ergebnis das gesamte CO₂-Potential, einschliesslich des gesamten nicht-energetischen Verbrauchs, auszuweisen.**

Aufgrund der methodischen und datenseitigen Probleme bei der Ermittlung des „gebundenen Kohlenstoffs“ würde sich dadurch die Möglichkeit einer international möglichst einheitlichen Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens und damit der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wesentlich verbessern.

Länder mit einer grossen Bedeutung der petrochemischen Industrie (z.B. Niederlande) wären dadurch gewissermassen benachteiligt, da hier die tatsächlichen CO₂-Emissionen deutlich unter dem gesamten CO₂-Potential liegen können. Das IPCC-Referenzverfahren würde daher zu „zu hohen“ Emissionen führen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Referenzverfahren auf die Ermittlung des **CO₂-Potentials**, und nicht der tatsächlichen Emissionen abzielt. Als solches sollten die Ergebnisse auch international verstanden und bezeichnet werden. Weiterhin könnte im IPCC-Referenzverfahren die Möglichkeit eröffnet werden, den **Anteil des CO₂-Potentials, der auf den NEV entfällt, informatorisch auszuweisen**. Dies könnte dann bei internationalen Vergleichen berücksichtigt werden.

(5) Für Länder mit einer ausreichenden Grundlage an Energiedaten und an den für die Ermittlung der Kohlenstoffbindung im nicht-energetischen Verbrauch benötigten Daten kann das „verfeinerte Referenzverfahren“ mit Ermittlung des „Fraction of carbon stored“ verwendet werden, um damit die Ergebnisse des sektoralen Verfahrens zu validieren. Hierzu wären allerdings die systematischen Unterschiede zwischen beiden Verfahren (siehe oben, Punkt 2) zu eliminieren.

Ausblick

(6) Einen wesentlichen Zweck der CO₂-Bilanzen bildet ihre Funktion als **Informationsinstrument für die internationale Klimaschutzpolitik**. Auch vor diesem Hintergrund erscheint uns der zusätzliche Informationsnutzen einer möglichst grossen Verfeinerung des Referenzverfahrens durch Materialflussanalysen als gering, zumal sich die CO₂-Potentiale im Bereich des nicht-energetischen Verbrauchs üblicherweise in einer Grössenordnung von maximal 10%¹⁷⁾ bewegen.

Wenn eine Weiterentwicklung der IPCC-Verfahren sinnvoll ist, dann wäre der **Ermittlung der sektoralen Beiträge** an den CO₂-Emissionen ein Schwerpunkt beizumessen, da hiermit substantiell neue Informationen für die internationale Klimaschutzpolitik geschaffen werden könnten, nämlich eine Differenzierung nach den Haupt-Verursachergruppen der Emissionen, die Ansatzpunkte für Reduktionsmassnahmen aufzeigen kann. Diese Informationen liefert das sektorale Verfahren, das allerdings aufgrund der relativ hohen Datenanforderungen an die Energiedatenbasis für viele Länder nicht angewendet werden kann.

(7) Zu denken wäre daher an eine **Weiterentwicklung des Referenzverfahrens in Richtung des sektoralen Verfahrens** für Länder mit begrenzter Verfügbarkeit an Energiedaten. Eine solches weiterentwickeltes Schätzverfahren könnte grob folgendermassen skizziert werden:

- Ausgangspunkt wären die (nicht nach Sektoren differenzierten) Ergebnisse des Referenzverfahrens auf der Grundlage der verfügbaren Energiedatenbasis.
- Davon ausgehend wird anschliessend die sektorale Aufteilung der Energieverbräuche und Emissionen auf die Hauptsektoren Kraftwerke/Umwandlungssektor, Industrie, Haushalte/Kleinverbrauch und Verkehr abgeschätzt.
- Diese Abschätzung kann anhand von „Verteilungsfaktoren“ erfolgen, die aus der Verknüpfung verfügbarer Wirtschaftsdaten (z.B. branchenbezogene Wertschöpfungsdaten, Produktionsmengen einzelner Produkte) und Energieindikatoren abgeleitet werden.

17) In Deutschland liegt der „Genauigkeitsgewinn“ durch eine möglichst genaue Berücksichtigung der „Kohlenstoffbindung“ in den Folgeproduktketten des NEV bei 5- 6% (bezogen auf die errechneten CO₂-Gesamtemissionen). In Ländern mit sehr grosser Bedeutung der petrochemischen Industrie kann er evtl. höher liegen.

Energieindikatoren, wie z.B. Energieintensitäten einzelner Produktionszweige oder Wirtschaftsbereiche, können dafür aus internationalen Energie- und Wirtschaftsdaten ermittelt werden.

Abbildung 5-1 enthält ein fiktives Beispiel für ein mögliches Vorgehen im Teilbereich „Kohle“. Für die Entwicklung eines konkreten anwendbaren Schätzverfahrens müsste zunächst die Verfügbarkeit von Energiedaten und sektoralen Wirtschaftsdaten überprüft werden (insbesondere bei internationalen Organisationen wie Weltbank oder IEA). Möglich wäre sodann die Bildung verschiedener Ländergruppen mit jeweils vergleichbaren Bedingungen hinsichtlich Datenverfügbarkeit, Entwicklungsstand und „energetischen Rahmenbedingungen“ (z.B. Klima). Für jede Ländergruppe könnte dann ein speziell auf diese Bedingungen angepasstes Schätzverfahren festgelegt werden.

Abbildung 5-1: Fiktives Beispiel eines Schätzverfahrens für die sektorale Aufteilung der CO₂-Emissionen als Weiterentwicklung des IPCC-Referenzverfahrens (Annahme: Kraftwerksdaten verfügbar)

<p>1. Ergebnis IPCC-Referenzverfahren: CO₂-Emissionen aus Steinkohle: 20 Mt; Annahme: In dem betreffenden Land wird Steinkohle in den Sektoren Kraftwerke und Industrie eingesetzt</p>
<p>2. Steinkohlekraftwerke:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 3'000 MW_{elektrisch} • geschätzter Wirkungsgrad: 25% • geschätzte Auslastung: 4'000 Vollast-Betriebsstunden pro Jahr <p>Daraus errechnet sich ein Steinkohleverbrauch von 48 TWh bzw. 173 PJ</p>
<p>3. Bei Verwendung des IPCC Default-Emissionsfaktors von 25.8 tC pro TJ ergibt sich für die Emissionen aus Steinkohlekraftwerken ein Schätzwert von 4.5 Mt Kohlenstoff bzw. 16 Mt CO₂</p>
<p>4. Somit ergibt sich die sektorale Aufteilung der CO₂-Emissionen aus Steinkohle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 16 Mt aus dem Sektor Kraftwerke • der Rest von 4 Mt resultiert aus dem Sektor Industrie

6. Literaturverzeichnis

- BMU 97 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Klimaschutz in Deutschland. Zweiter Bericht der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen, Bonn 1997.
- Gielen 97 Gielen, D.J.: Potential CO₂-emissions in the Netherlands due to carbon storage in materials and products. In: Royal Swedish Academy of Sciences 1997, Ambio Vol. 26 No. 2, March 1997.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume I - III. Genf 1995.
Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Workbook Genf 1996.
- ISI 96 Patel, M., E. Jochem, F. Marscheider-Weidemann, P. Radgen: Daten zur Behandlung des nicht-energetischen Verbrauchs unter Aspekten der Treibhausproblematik. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe 1996.
- Marland, Rotty 83: Marland, G.; Rotty, R.M.: Carbon dioxide emissions from fossil fuels: A procedure for estimation and results for 1950-1982; Oak Ridge Associated University, Institute for Energy Analysis; Report to Department of Energy (Washington D.C.), 1983.
- Patel et al 97 E: Patel, M., E. Jochem, F. Marscheider-Weidemann, E. Worrell: A discussion of the IPCC-method and alternative approaches for calculating the CO₂-emissions from non-energy use. - A case study for Germany . Skript für Veröffentlichung in Ambio. 1997

Anhang

Anhang 1: Beschreibung des IPCC-Referenz- verfahrens

Kopie aus: Workbook of the IPCC 1996 Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Genf 1996

**Anhang 2: Ergebnisse zur Kohlenstoffbindung
(„Carbon stored“) 1990 - 1994**

Anhang 3: CO₂-Emissionen nach dem IPCC-Referenzverfahren 1990 - 1994

**Anhang 4: Handbuch zum Tabellenkalkulations-
schema zur Anwendung des IPCC-
Referenzverfahrens**