

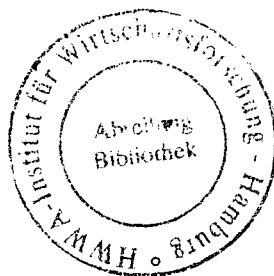


# Möglichkeiten und Grenzen der Erstellung regionaler Emittentenstrukturen in Deutschland – Das Beispiel Baden-Württemberg –

von

Dipl.-Vw. Stefan Vögele

Dagmar Nelissen



K99-3709

Mannheim, den 22. März 1999

## Das Wichtigste in Kürze

Eine wesentliche Voraussetzung für die Planung und Durchführung umweltpolitischer Maßnahmen ist die Ermittlung zuverlässiger Daten über die Auswirkungen ökonomischer Handlungen auf die Umwelt. Zu diesen Zweck geeignet ist eine Emittentenstruktur, wie sie gemeinsam vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung und vom Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung für die Bundesrepublik Deutschland erstellt wurde. Da die ökologischen, ökonomischen und technischen Strukturen auf regionaler Ebene in der Regel vom Bundesdurchschnitt abweichen, eignet sich dieses Modell jedoch nur einschränkt zur Untersuchung von Entwicklungen auf regionaler Ebene.

Wie das Beispiel von Baden-Württemberg zeigt, liegen auf Länderebene eine Vielzahl von Statistiken vor, die als Basis für die Ermittlung der durch ökonomische Aktivitäten induzierten Emissionen verwendet werden könnten. Die Statistiken eignen sich jedoch nur eingeschränkt für den Aufbau von regionalen Emittentenstrukturen, da aus Datenschutzgründen viele Angaben nur in aggregierter Form ausgewiesen werden bzw. völlig fehlen. Hinzu kommt noch, daß die einzelnen Statistiken i.d.R. nach unterschiedlichen Kriterien gegliedert sind, so daß eine Verknüpfung der verschiedenen Datenquellen erschwert wird. Baden-Württemberg ist hierbei das einzige Bundesland, für das regelmäßig Input-Output-Tabellen erstellt werden. Da nur durch die Verwendung von Input-Output-Tabellen neben den direkten auch die induzierten Effekte erfaßt werden können, ist die Erstellung regionaler Emittentenstrukturen für andere Bundesländer zur Zeit nur äußerst eingeschränkt möglich.

Eine auf Input-Output-Tabellen basierende regionale Emittentenstruktur kann grundsätzlich für eine Vielzahl von Fragestellungen eingesetzt werden. So können mit ihrer Hilfe neben den direkt und indirekt durch ökonomische bzw. technische Veränderungen verursachten Effekte auch historische Entwicklungen analysiert und mit Entwicklungen auf Bundesebene verglichen werden. Des weiteren können „Was-wäre-wenn“-Analysen durchgeführt werden. In dieser Studie werden die Einsatzmöglichkeiten einer für Baden-Württemberg erstellten, regionalen Emittentenstruktur anhand verschiedener Beispiele verdeutlicht. Im ersten Beispiel werden die Beiträge der einzelnen Emittenten in Baden-Württemberg mit dem Bundesdurchschnitt verglichen. Hier zeigt es sich, daß die privaten Haushalte in Baden-Württemberg die größten Kohlendioxidemittenten sind. Im Bundesdurchschnitt rangieren sie dagegen hinter der Elektrizitätswirtschaft auf Rang zwei. In einem weiteren Beispiel werden die Einflüsse von Wirtschaftswachstum, Strukturveränderungen und technischen Weiterentwicklungen auf die Entwicklung von Luftschadstoffen untersucht. Wie die Beispiele zeigen, kann der Rückgang der Emissionen in Baden-Württemberg vorwiegend auf die Veränderungen der technischen Emissionsfaktoren (z.B. durch verbesserte bzw. neue End-of-Pipe-Technologien) und die Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs zurückgeführt werden. Negativ auf die Emissionen hat sich das Wirtschaftswachstum ausgewirkt. Die Veränderungen der Vorleistungen in den einzelnen Produktionsbereichen haben dagegen nur einen geringen Einfluß auf die Emissionen ausgeübt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN EINE EMITTENTENSTRUKTUR .....</b>	<b>2</b>
2.1	DEFINITION UND ABGRENZUNG VON EMISSIONEN UND EMITTENTEN.....	2
2.1.1	<i>Emissionen</i> .....	2
2.1.2	<i>Emittenten</i> .....	2
2.2	ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN EINE EMITTENTENSTRUKTUR .....	3
2.3	ANFORDERUNGEN AN DIE DATEN .....	5
2.3.1	<i>Allgemeine Anforderungen an die Daten</i> .....	5
2.3.2	<i>Ökonomische Daten</i> .....	6
2.3.3	<i>Umweltdaten</i> .....	6
2.4	ZUR KOPPLUNG ZWISCHEN ÖKONOMISCHEN AKTIVITÄTEN UND SCHADSTOFFEMISSIONEN .....	10
2.4.1	<i>Das zentrale Input-Output-Modell</i> .....	10
2.4.2	<i>Die Erweiterung der Input-Output-Analyse um Emissionskoeffizienten</i> ..	12
2.5	SCHLUßFOLGERUNGEN.....	15
<b>3</b>	<b>MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER ERSTELLUNG REGIONALER EMITTENTENSTRUKTUREN .....</b>	<b>16</b>
3.1	ÖKONOMISCHE DATEN .....	16
3.2	UMWELTDATEN .....	17
3.2.1	<i>Luft</i> .....	17
3.2.2	<i>Abfall</i> .....	21
3.2.3	<i>Abwasser</i> .....	22
3.3	SCHLUßFOLGERUNGEN.....	22
<b>4</b>	<b>DAS BEISPIEL BADEN-WÜRTTEMBERG.....</b>	<b>24</b>
4.1	ABGRENZUNG DER SEKTOREN .....	24
4.2	ENERGIEDATEN LUFT.....	25
4.2.1	<i>Die Energiebilanz Baden-Württemberg</i> .....	25
4.2.2	<i>Das Landesinformationssystem Baden-Württemberg</i> .....	27

---

4.2.3	„Statistik von Baden-Württemberg“ .....	28
4.2.4	„Statistische Berichte Baden-Württemberg“ .....	30
4.2.5	Energiebericht des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg.....	30
4.3	SCHLUBFOLGERUNGEN.....	31
<b>5</b>	<b>ANWENDUNGSBEISPIELE FÜR EINE EMITTENTENSTRUKTUR.....</b>	<b>34</b>
5.1	ERMITTLUNG DER ANTEILE DER EINZELNEN EMITTENTEN AN DEN GESAMTEMISSIONEN .....	34
5.1.1	Einsatzmöglichkeiten .....	34
5.1.2	Beispiel .....	35
5.2	ANALYSE HISTORISCHER ENTWICKLUNGEN .....	36
5.2.1	Einsatzmöglichkeiten .....	36
5.2.2	Beispiele.....	37
5.3	ANALYSE DIREKTER UND INDIREKTER EMISSIONEN .....	42
5.3.1	Einsatzmöglichkeiten .....	42
5.3.2	Beispiel .....	42
5.4	ÖKONOMISCHE VERÄNDERUNGEN.....	44
5.4.1	Einsatzmöglichkeiten .....	44
5.4.2	Beispiel .....	44
<b>6</b>	<b>EINSCHRÄNKUNGEN.....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>51</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Die um die spezifischen Emissionskoeffizienten der Produktionsbereiche erweiterte Input-Output-Tabelle .....	12
<b>Abbildung 2:</b> Berechnung der Emissionskoeffizienten .....	13
<b>Abbildung 3:</b> Anteil einzelner Wirtschaftsbereiche an den Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg (1990).....	35
<b>Abbildung 4:</b> Anteil einzelner Wirtschaftsbereiche an den Kohlendioxidemissionen in der Bundesrepublik Deutschland (1990) .....	36
<b>Abbildung 5:</b> Auswirkung des ökonomischen Wachstums von 1978 bis 1990 auf die SO <sub>2</sub> -, NO <sub>2</sub> -, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t) .....	38
<b>Abbildung 6:</b> Auswirkung der Veränderung der ökonomischen Struktur zwischen 1978 und 1990 auf die SO <sub>2</sub> - und NO <sub>2</sub> -, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t) .....	39
<b>Abbildung 7:</b> Technikeffekt zwischen 1978 und 1990 bezüglich der SO <sub>2</sub> -, NO <sub>2</sub> -, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t) .....	40
<b>Abbildung 8:</b> Auswirkungen der Veränderungen des Energieträgermixes, des Energieverbrauches und der technischen Emissionskoeffizienten auf die SO <sub>2</sub> -, NO <sub>2</sub> -, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t).....	41
<b>Abbildung 9:</b> Verhältnis der direkten zu den indirekten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Baden-Württemberg bei einer Nachfrage nach den Gütern des jeweiligen Sektors in Höhe von 1 Mio. DM.....	43
<b>Abbildung 10:</b> Veränderung der Emissionen bei einer Zunahme der Nachfrage nach den Gütern des Produzierenden Gewerbes um 5 % und der restlichen Nachfrage um 20 % im Vergleich zu einer Veränderung der Emissionen bei einem gleichmäßigen Nachfrageanstieg um 12% (in 1000 t) .....	45

---

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Energieträgerspezifische Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes für das Jahr 1990 (alte Bundesländer/ohne Prozeß-Feuerung).....	7
<b>Tabelle 2:</b>	Verfügbarkeit von Input-Output-Tabellen für einzelne Bundesländer .....	17
<b>Tabelle 3:</b>	Einteilung der Verbrauchergruppen in den Energiebilanzen .....	18
<b>Tabelle 4 :</b>	Einteilung der Energieträger in den Energiebilanzen .....	19
<b>Tabelle 5:</b>	Abgrenzung der Sektoren in den Input-Output-Tabellen von Baden-Württemberg.....	24
<b>Tabelle 6:</b>	Verbrauchergruppen in den Energiebilanzen Baden-Württemberg ab 1995 .....	26

## 1 Einleitung

Durch die weltweit ansteigenden wirtschaftlichen Aktivitäten entstehen in zunehmendem Maße Umweltprobleme. Eine wesentliche Voraussetzung für die Planung und Durchführung sinnvoller umweltpolitischer Maßnahmen ist die Ermittlung zuverlässiger Daten über die Auswirkungen ökonomischer Aktivitäten auf die Umwelt. Diese Auffassung wird beispielsweise im Bericht des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen von 1987, im Brundtlandbericht und in den Deklarationen von Rio vertreten.

Mit der Überprüfung und der Zusammenstellung des für Deutschland vorhandenen Datenmaterials wurde 1988 das FRAUNHOFER INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK UND INNOVATIONSFORSCHUNG (ISI) betraut. Durch die Verknüpfung von Energie-, Abwasser und Abfallstatistiken mit technischen bzw. ökonomischen Informationen entstand am ISI ein wirtschaftspolitisches Instrument, mit dem die Auswirkungen der wirtschaftlichen Aktivitäten einzelner Wirtschaftsbereiche auf die Umwelt analysiert und Szenarien bzgl. zukünftiger Entwicklungen erstellt werden können. Dieses Instrument wurde als „Emittentenstruktur“ bezeichnet.

Die für die Bundesrepublik erstellte Emittentenstruktur eignet sich jedoch nur eingeschränkt zur Untersuchung der Zusammenhänge auf regionaler Ebene, da die ökologischen, ökonomischen und technischen Strukturen auf regionaler Ebene i.d.R. vom Bundesdurchschnitt abweichen. So wird beispielsweise in Baden-Württemberg deutlich mehr Elektrizität mit Wasserkraftwerken erzeugt als im Bundesdurchschnitt (vgl. dazu WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1997: 42).

Im folgenden soll überprüft werden, inwieweit sich auf regionaler Ebene Emittentenstrukturen erstellen lassen. Hierzu werden die Anforderungen an eine Emittentenstruktur erläutert und auf die Grenzen und Einschränkungen regionaler Emittentenstrukturen eingegangen. Am Beispiel von Baden-Württemberg wird eine regionale Emittentenstruktur erstellt und anschließend Anwendungsmöglichkeiten einer solchen beschrieben.



## **2 Anforderungen an eine Emittentenstruktur**

Im folgenden werden die Anforderungen, denen eine Emittentenstruktur genügen sollte, erläutert. Zuvor aber werden die Begriffe Emission und Emittent definiert, da diese von zentraler Bedeutung für den weiteren Verlauf der Arbeit sind.

### **2.1 Definition und Abgrenzung von Emissionen und Emittenten**

#### **2.1.1 Emissionen**

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) definiert in seinem Gutachten Emission als *„... jede den Produktionsbetrieb, den privaten Haushalt usw. verlassende Abgabe von Schadstoffen, Geräuschen, Strahlung, usw. ..., ohne daß mit ihnen unbedingt direkte Schadwirkungen verbunden sein müßten“* (SRU, 1987:111f.). Aufgrund des mangelnden Datenmaterials und zeitlicher Restriktionen können i.d.R. nur die stofflichen Emissionen in die Datenbasis aufgenommen werden. Diese lassen sich, in Bezug auf die sie aufnehmenden Medien, den Bereichen Luft, Boden und Abwasser zuordnen. Was den Bereich Boden betrifft, können nur diejenigen Emissionen berücksichtigt werden, die als Abfall anfallen. Andere Bodenemissionen, wie z.B. der Einsatz von Dünger und Pestiziden, können nicht erfaßt werden.

#### **2.1.2 Emittenten**

Um die Zusammenhänge zwischen ökonomischen Aktivitäten und Emissionen abschätzen zu können, werden die Emissionen einzelnen Emittenten zugeordnet. Als „Emittenten“ werden die einzelnen Produktionsbereiche bezeichnet, innerhalb deren die Emissionen entstehen (vgl. dazu SRU, 1987: 108). Zusätzlich werden noch die privaten Haushalte als Emittenten erfaßt.

Da bei einer Gliederung nach institutionellen Gesichtspunkten die Identifizierung der eigentlichen Emissionsquellen erschwert wird, ist eine Einteilung der Produktionsbereiche in funktionale Einheiten erforderlich (vgl. dazu HOHMEYER ET AL. 1998: 14). Eine Unterteilung einer Volkswirtschaft in homogene, nach funktionalen Gesichtspunkten gegliederte Produktionsbereiche auf einem relativ hohen disaggregierten Niveau erfolgt beispielsweise in den amtlichen Input-Output-

Tabellen des Statistischen Bundesamtes (vgl. dazu STATISTISCHES BUNDESAMT, 1990a: 23): Diese Tabellen sind nach 58 Sektoren gegliedert, wobei jeder Produktionsbereich unter streng fachlichen Gesichtspunkten abgrenzt wird, d.h. jede einzelne Produktionstätigkeit eines Unternehmens wird unabhängig von institutionellen Kriterien dem Produktionsbereich zugeordnet, zu dem sie nach ihrem fachlichen Charakter gehört.

Die Einteilung der Emittenten nach funktionalen Kriterien ermöglicht es, die Wirkungszusammenhänge zwischen Umweltbelastungen und ökonomischen Aktivitäten zu analysieren, ohne daß die Analyse durch Verzerrungen, die durch die Zuordnung branchenuntypischer Produktionsanteile entstehen, beeinträchtigt wird.

## **2.2 Allgemeine Anforderungen an eine Emittentenstruktur**

Nach Meinung des SRU (1987) sind zuverlässige und aktuelle Daten über den Zustand der verschiedenen Umweltbereiche eine wichtige Voraussetzung für eine rationale Umweltpolitik. Die ausschließliche Orientierung an Gesamtdaten reicht dabei nicht aus, da *„[d]ie Emissionen ... von den Wirtschaftsstrukturen und -prozessen beeinflusst [werden], wobei diese jedoch nicht stabil sind. Unternehmen ändern beispielsweise den Zuschnitt ihrer Produktionsbetriebe, indem sie die Produktion erweitern, reduzieren oder an einen anderen Standort im Inland oder auch im Ausland verlagern. Auch auf der Konsumtionsebene finden laufend Veränderungen z.B. im Verbraucherverhalten statt. Beides kann zu quantitativen und qualitativen Emissionsverschiebungen und zu Verlagerungen von Emissionen in andere Umweltbereiche wie z.B. Luft oder Wasser führen. Deshalb lassen sich aus bereichsspezifischen oder regionalen Emissionsdaten allein keine für die Gesamtentwicklung der Emissionen in einer Volkswirtschaft gültigen Schlüsse ziehen“* (SRU, 1987: 91). Weder kurz- noch langfristige ökonomische Veränderungen lassen sich *„... umweltpolitisch zuverlässig bewerten, wenn nicht über Niveau und Struktur der Emissionen der verschiedenen Emittentengruppen ausreichend viel bekannt ist“* (SRU, 1987: 91). Eine Emittentenstruktur, d.h. eine Zuordnung von Emissionen zu Emittenten unter Beachtung bestehender Abhängigkeiten, soll dabei behilflich sein, bestehende Informationslücken zu schließen. Die Hauptaufgabe einer Emittentenstruktur besteht hierbei

- in der Darstellung des Anteils der einzelnen Emittenten an den Emissionen,
- in der Darstellung der Emissionsschwerpunkte und
- in der zur Verfügungstellung von Daten als Grundlage für die Planung von Umweltschutzmaßnahmen

(vgl. dazu SRU, 1987: 93). Hieraus ergeben sich folgende Anforderungen an eine Emittentenstruktur (vgl. dazu HOHMEYER ET AL., 1992: 14 ff.):

1. Das Modell sollte die Zusammenführung von disaggregierten ökonomischen Daten über Konsum, Produktion und Außenhandel mit Emissionsdaten der betreffenden Branchen sowohl auf der Basis von Unternehmensangaben über Emissionen (ökonomische Erfassungseinheit) als auch auf der Basis anlagenspezifischer, technisch basierter Emissionsdaten (technische Erfassungseinheit) erlauben.
2. Das Modell sollte es langfristig zulassen, den Problemkomplex der stofflichen Emissionen ganzheitlich zu erfassen, so daß weder Verschiebungen zwischen verschiedenen emittierten Schadstoffen, Umweltmedien, Branchen oder Sektoren noch zwischen Staaten als vermeintliche Erfolge bei der Emissionsverminderung ausgewiesen werden, nur weil der vom Analyseinstrument erfaßte Ausschnitt der Realität zu klein ist.
3. Neben der ganzheitlichen Erfassung des Problembereichs ist es notwendig, Emissionen auf disaggregiertem Niveau zu erfassen. Dies gilt zum einen für eine Disaggregation der Produktion auf Branchenebene, einer notwendigen Voraussetzung für die Analyse von Struktureffekten, und gilt zum anderen für die Disaggregation der Emissionen nach den wichtigsten emittierten Stoffen.
4. Das Instrumentarium soll es erlauben, auch die indirekten Umweltwirkungen von Produktion und Konsum zu erfassen, da ansonsten die Gefahr besteht, die Umweltwirkungen ökonomischer Aktivitäten sowohl absolut als auch relativ zueinander falsch einzuschätzen. Da solche indirekten Wirkungen auf der Vorleistungsebene umfassend nur mit Hilfe der Input-Output-Analyse erfaßt werden können, erzwingt diese Anforderung, den zentralen Teil des ökonomischen Analyseinstruments in Form eines Input-Output-Modells auszugestalten (vgl. dazu SRU, 1987: 94).
5. Das Instrumentarium soll es erlauben, neben Informationen über Emissionen auf Unternehmens- oder Branchenebene auch technik-spezifische Informationen auf der Ebene einzelner Anlagen und Produktionsprozesse einzuführen. Hierdurch wird eine Voraussetzung geschaffen, um die Auswirkungen von technischen Veränderungen auf die Emissionssituation einer Branche und der ganzen Volkswirtschaft analysieren zu können.
6. Mittelfristig soll es möglich sein, alle in der Emittentenstruktur enthaltenen Informationen auch als Zeitreihe verfügbar zu machen. Nur auf der Basis von Zeitreiheninformationen ist es möglich, die historische Bedeutung des Einflusses einzelner Parameter auf die Emissionen zu analysieren. Dies gilt sowohl für die verschiedenen ökonomischen Parameter als auch für die technischen Einflußgrößen.

7. Nach den Vorstellungen des SRUs sollte langfristig eine räumliche Disaggregation des Modells und seiner Ergebnisse möglich sein, da die ökonomische Entwicklung nicht in allen Teilräumen der Bundesrepublik in gleichem Maße erfolgt (vgl. dazu SRU, 1987: 105 f.).

Um eine Emittentenstruktur erstellen zu können, sind sowohl ökonomische Daten als auch Emissionsdaten erforderlich. Diese müssen bestimmten Anforderungen standhalten, um die Aufgaben einer Emittentenstruktur sinnvoll erfüllen zu können. Im folgenden werden diese erläutert. Anschließend wird auf den Datenbedarf, der für die Erstellung einer Emittentenstruktur erforderlich ist, eingegangen.

## **2.3 Anforderungen an die Daten**

### **2.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Daten**

Um die oben genannten Anforderungen an eine Emittentenstruktur erfüllen zu können, müssen die Daten für die einzelnen Umweltbereiche sowie die ökonomischen Angaben

- möglichst zuverlässig sein, d.h. die Daten sollten die tatsächliche Situation widerspiegeln,
- einen hohen Disaggregationsgrad aufweisen, bzw. sich disaggregieren lassen,
- möglichst genau sein bzw. es sollten Informationen über Schwankungsbreiten der Angaben vorliegen,
- möglichst vollständig sein, d.h. es sollten nur wenige Daten geschätzt werden müssen, um die Emissionen einer gesamten Volkswirtschaft zu erhalten,
- möglichst aktuell sein,
- außerdem sollten die Daten allgemein verfügbar sein, damit sie verifiziert werden können

(vgl. dazu HOHMEYER ET AL., 1992: 50 f.). Um historische Entwicklungen analysieren zu können, sollten die Daten zudem möglichst häufig bzw. kontinuierlich erhoben werden.

### 2.3.2 Ökonomische Daten

Voraussetzung für eine Emittentenstruktur mit der sich auch die indirekten Wirkungen von ökonomischen Veränderungen erfassen lassen, sind nach funktionalen Gesichtspunkten gegliederte ökonomische Input-Output-Tabellen (vgl. dazu HOHMEYER et al., 1998: 20 f.). Um historische Entwicklungen darstellen und analysieren zu können, müssen die Tabellen nicht nur intratemporal sondern auch intertemporal konsistent und vergleichbar sein. Ein Beispiel hierfür stellen die Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes dar, die seit 1978 in einer zeitlich konsistenten Systematik erstellt werden. Zwar wurden immer wieder einzelne Tabellen revidiert, wodurch die intertemporale Vergleichbarkeit eingeschränkt ist, jedoch stellen die Tabellen, wie die Arbeiten von STAHRER (1979) und HOHMEYER ET AL. (1998) zeigen, eine ausreichend fundierte Datengrundlage für die Erstellung einer Emittentenstruktur und für die Durchführung von Analysen dar.

### 2.3.3 Umweltdaten

Eine Emittentenstruktur kann nur erstellt werden, wenn neben Angaben über die ökonomischen Aktivitäten der einzelnen Produktionsbereiche auch Informationen über die verursachten Umweltbelastungen vorliegen. Wie unter Abschnitt 2.1.1 beschrieben, lassen sich diese den Bereichen Luft, Wasser und Boden zuordnen. Im folgenden wird beschrieben, welche Informationen vorliegen müssen, damit die in den einzelnen Umweltbereichen durch ökonomische Aktivitäten induzierten Belastungen erfaßt werden können.

#### 2.3.3.1 Luft

Die an die Luft abgegebenen Stoffe lassen sich in Abhängigkeit der Ursache ihrer Entstehung in energiebedingte und nicht-energiebedingte Emissionen einteilen. Energiebedingte Emissionen entstehen fast ausschließlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe, während die nicht-energiebedingten Emissionen nicht bzw. nur teilweise bei der Nutzung fossiler Energieträger freigesetzt werden (vgl. dazu UMWELTBUNDESAMT, 1997: 127 ff.). Beispiele für energiebedingte Emissionsarten sind Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxid und Schwefeldioxid, für nicht-energiebedingte Emissionen die luftgängigen Schwermetalle Blei, Quecksilber, Cadmium und das Halbmetall Arsen.

Um die energiebedingten Emissionen berechnen zu können, benötigt man Informationen über den Einsatz der fossilen Energieträger in den einzelnen Sektoren. Solche Informationen liefern beispielsweise die Energietabellen des Statistischen Bundesamtes (vgl. dazu STATISTISCHES BUNDESAMT, 1989, 1990a, 1994c) bzw. die Energiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGE).

Zusätzlich werden Angaben über die energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren benötigt.

Tabelle 1: **Energieträgerspezifische Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes für das Jahr 1990 (alte Bundesländer / ohne Prozeß-Feuerung)**

	Emissionsfaktoren [kg/TJ]					
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Stb	CO	VOC	CO <sub>2</sub>
<b>Feste fossile Energieträger</b>						
Steinkohle	313-600	50-320	42-250	17-5000	3-363	92.000 - 94.000
Braunkohle	137-500	100-260	30-85	11-4500	3-450	100.000-110.000
Briketts	220-650	50-320	42-250	17-5000	3-300	92.000-100.000
Steinkohlenkoks	500	50-320	42-50	17-5000	1-5	105.000
<b>Flüssige fossile Energieträger</b>						
Erdöl	930	180	50	10	8	80.000
Motorenbenzin,Flugkraftstoffe	4,6*	90*-964*	3,1*	5306*-15000*	562*-9700*	72000*
Dieselmotoren	70*-600*	331*-1500*	70*-190*	330*-481*	140*-200*	74000*
Heizöl, leicht	85	50-100	1,5	3-45	5-7	74.000
Heizöl, mittelschwer u. schwer	490-1445	180-190	16-50	3-10	7-8	78.000
Flüssiggas	1,7	60-126	0,1	1-60	1-5	65.000
<b>Gasförmige fossile Energieträger</b>						
Dampf	0	0	0	0	0	0
Erdgas, Erdölgas	0,5	40-126	0,1	1-60	1-8	58.000
Verteilte Gase	0,5-0,9	40-126	0,1	1-60	1-5	56.000
Kokereigas	4,1-12	40-126	0,1	1-60	1-5	44.000
Grubengas	0,5	73-126	0,1	1-10	1-5	55.000
Raffineriegas	9	73-126	0,1	1-100	1-5	60.000
Hochofengas	2	126	0,1	1	1	105.000
Klärgas	0,1-0,5	1-73	0,1	1-100	1-5	44.000
<b>Sonstige nicht-fossile Energieträger</b>						
Elektrizität	0	0	0	0	0	0
Kernbrennstoffe	0	0	0	0	0	0

Quelle: UMWELTBUNDESAMT (1991, 1998)

\*Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 1988.

Da die Emissionsfaktoren je nach Einsatzbereich der Energieträger schwanken, ist eine entsprechende Differenzierung der Emissionsfaktoren nach Einsatzbereichen notwendig (s. Tabelle 1). Das Umweltbundesamt differenziert die Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger bzgl. der Kohlendioxid- ( $\text{CO}_2$ ), Kohlenmonoxid- ( $\text{CO}$ ), Stickoxid- ( $\text{NO}_x$ ), Schwefeldioxidemissionen ( $\text{SO}_2$ ) sowie bzgl. der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) nach den Bereichen „Kraftwerke“, „Restliche Umwandlung“ (ohne Prozesse), „Verarbeitendes Gewerbe“, „Feuerungen im Kleinverbrauch“, „Haushaltsfeuerungen“, „Verkehr“, „Prozesse Energie“ (z.B. Hochofen, Kalk, Zement, Glas) sowie „Prozesse Material“ (z.B. Stein- und Braunkohleaufbereitung bzw. Brikettierung, Schwefelsäure-, Salpetersäure-, Düngemittel-, Brot-, Bier-, Wein- und Zuckerherstellung).

Während für die Ermittlung der energiebedingten Emissionen lediglich Informationen über den Einsatz fossiler Energieträger erforderlich ist, bedarf es i.d.R. technischer Prozeßanalysen, um die nicht-energiebedingten Emissionen abschätzen zu können (vgl. dazu HOHMEYER ET AL., 1992: 57). So stammen beispielsweise die in die Emittentenstruktur des ISI/ZEW aufgenommenen Daten über die nicht-energiebedingten luftgängigen Schwermetalle Blei, Cadmium, Quecksilber sowie über Arsen aus speziellen Untersuchungen des ISI (vgl. dazu z.B. ANGERER ET AL., 1990). Das ISI differenziert hierbei zwischen Emissionsfaktoren der Bereiche „Feuerungsanlagen“, „Verkehr“ und „Prozesse Material“ (z.B. Zementherstellung, Eisen- und Stahlerzeugung, diverse chemische Prozesse und Müllverbrennung).

Die Erstellung einer Datenbasis für den Bereich Luft kann nur erfolgen, wenn alle Daten konsistent miteinander verbunden werden können. Dazu ist es notwendig, die verschiedenen Daten einheitlich zu systematisieren. Doppelzählungen, die bei der Verknüpfung entstehen können, müssen rechtzeitig erkannt und das Datenmaterial entsprechend korrigiert werden.

So ist beispielsweise bei der Verwendung der Energiebilanzen der AGE in Verbindungen mit den Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes eine Umschlüsselung beider Statistiken auf die Systematik der Input-Output-Tabellen (SIO) und eine Korrektur der sektoralen Energieverbräuche um den nicht-emissionsrelevanten Energieträgereinsatz notwendig (vgl. dazu HOHMEYER ET AL., 1992: 100).

### **2.3.3.2 Abfall**

Um Abfälle in eine Emittentenstruktur mit aufnehmen zu können, sind Informationen über den sektoralen Anfall der verschiedenen Abfallarten notwendig. Eine Aggregation der verschiedenen Abfallarten zu einer Größe ist i.d.R. nicht sinnvoll, da die einzelnen Abfallarten eine unterschiedliche Toxizität aufweisen und entsprechend die Umwelt in unterschiedlicher Weise belasten. So wird die Umwelt durch den Anfall einer Tonne Quecksilber i.d.R. mehr belastet als durch eine Tonne Kompost.

Eine Aggregation verschiedener Abfallarten zu Abfallhauptgruppen ist dann sinnvoll, wenn sich die zu einer Abfallhauptgruppe zusammengefaßten Abfallarten hinsichtlich der von ihnen ausgehenden Umweltbelastungen nicht wesentlich unterscheiden. Grundsätzlich sollten zumindest die Abfälle, die als besonders umweltgefährlich einzustufen sind, als einzelne Abfallart und nicht in aggregierter Form erfaßt werden. Insbesondere im Bereich der Abfälle muß man sich der Entsorgungsnachweislücken bzw. der Qualität der zur Verfügung stehenden Daten bewußt sein, da diese teilweise einen erheblichen Einfluß auf die Aussagekraft einer Emittentenstruktur haben können (vgl. dazu SRU, 1987: 153).

Zu beachten ist zudem, daß, um die Emissionen im Abfallbereich mit ökonomischen Daten verknüpfen zu können, beide nach der selben Systematik gegliedert sein müssen. Außerdem muß bei der Durchführung von Analysen und Prognosen die Abhängigkeit bzw. Unabhängigkeit des Anfalls der einzelnen Abfallarten von Veränderungen der Produktion berücksichtigt werden.

### **2.3.3.3 Abwasser**

Zu einer vorsorglichen Umweltpolitik gehört auch die Berücksichtigung der Entwicklung des Abwasseraufkommens bzw. der Entwicklung der Wasserinhaltsstoffe. In eine Emittentenstruktur sollten entsprechende Informationen hierüber aufgenommen werden, wobei zu beachten ist, daß diese den einzelnen Produktionsbereichen zuordbar sein müssen. Zusätzlich sollten sie die unter Abschnitt 2.2 aufgeführten Anforderungen wie beispielsweise Zuverlässigkeit möglichst vollständig erfüllen.



## 2.4 Zur Kopplung zwischen ökonomischen Aktivitäten und Schadstoffemissionen

Nach HOHMEYER ET AL. (1998: 20) führen „... die Forderungen nach einer möglichst disaggregierten ‘Emittentenstruktur’, die die Erfassung der Emissionen auf Branchen- oder Produktgruppenebene erlaubt und eine Analyse indirekter Emissionswirkungen gestattet, ... unmittelbar zu einem input-output-analytischen Modellansatz. Mit Ausnahme der einzelprozeßorientierten Prozeßkettenanalyse, auf der auch die Lebenszyklusanalyse (LCA) und die Ökobilanz aufbauen, ist die Input-Output-Analyse das einzige Instrumentarium zur Analyse indirekter ökonomischer und bei Ergänzung um Emissionsdaten auch ökologischer Auswirkungen von Wirtschaftsprozessen.“

Die Einsatzfähigkeit von Input-Output-Modellen zur Darstellung und Analyse der Entwicklung des Zusammenhangs von ökonomischen Aktivitäten und Emissionen wurde beispielsweise von HOHMEYER ET AL. (1998), GRASKAMP ET AL. (1992), MAYER, STAHER (1989), und HÄRTEL ET AL. (1987) aufgezeigt. Die besondere Eignung dieser Modelle für die Analyse der Auswirkungen von ökonomischen Aktivitäten auf die Umwelt resultiert u.a. aus dem hohen Disaggregationsgrad der Input-Output-Tabellen, die die Basis der Modelle darstellen, aus der leichten Erweiterbarkeit um prozeßspezifische Informationen und aus der Kontinuität mit der die Input-Output-Tabellen erstellt werden.

Im folgenden werden die den Input-Output-Modellen zugrundeliegenden Annahmen und die Grundstruktur der Modelle erläutert. Anschließend wird gezeigt, wie das Grundmodell so erweitert werden kann, daß die Auswirkungen ökonomischer Aktivitäten auf die Umwelt erfaßt werden können.

### 2.4.1 Das zentrale Input-Output-Modell

Die Input-Output-Modelle basieren grundsätzlich auf folgenden Annahmen:

- Jeder Sektor erzeugt ein homogenes Gut.
- Jedes Gut bzw. Güterbündel wird nur in einem Sektor produziert.
- Die Produktion der Güter bzw. des Güterbündels erfolgt mittels einer linearen Technologie, d.h. zur Produktion einer Outputeinheit wird unabhängig von der Höhe des Outputs stets die gleiche Inputkombination eingesetzt. Es gilt somit

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} = \textit{konstant},$$

- mit  $X_j$ : Output des Sektors  $j$ , wobei  $X_j > 0$ ,  
 $x_{ij}$ : Güter, die Sektor  $j$  von Sektor  $i$  bezieht, um seinen Output produzieren zu können.

In den Input-Output-Modellen wird davon ausgegangen, daß jeder der  $n$  Produktionssektoren eine bestimmte Menge an Output produziert. Ein Teil dieses Outputs wird an die anderen Sektoren abgegeben, die diesen dann als Input zur Produktion ihres eigenen Outputs einsetzen. Ein weiterer Teil wird in dem Sektor selbst verbraucht. Der Rest wird entweder von den privaten Haushalten konsumiert, vom Staat nachgefragt, exportiert oder als Investitionsgut eingesetzt. Der Teil des Outputs, der nicht als Vorleistung in einem Produktionssektor eingesetzt wird, wird als Endnachfrage  $Y$  bezeichnet. Hierdurch ergibt sich folgende Identität:

$$X_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i \quad (1)$$

- mit  $X_i$ : Bruttoproduktionswerte des Sektors  $i$ ,  
 $X_j$ : Bruttoproduktionswerte des Sektors  $j$ ,  
 $a_{ij}$ : Inputs, die Sektor  $j$  für die Produktion einer Einheit von Sektor  $i$  benötigt,  
 $Y_i$ : Güter von Sektor  $i$ , die als Endnachfrage anfallen,

bzw. in Matrixschreibweise:

$$X = A X + Y \quad (2)$$

- mit  $X$ : Vektor der Bruttoproduktionswerte  $X_i$ ,  
 $A$ : Matrix der Inputkoeffizienten  $a_{ij}$ ,  
 $Y$ : Vektor der Endnachfrage,

für  $i, j = 1, \dots, n$ .

Durch das Auflösen der Gleichung nach  $X$  erhält man

$$X = (I - A)^{-1} Y, \quad (3)$$

wobei  $I$ : Einheitsmatrix mit der Dimension  $n$ .<sup>1</sup>

---

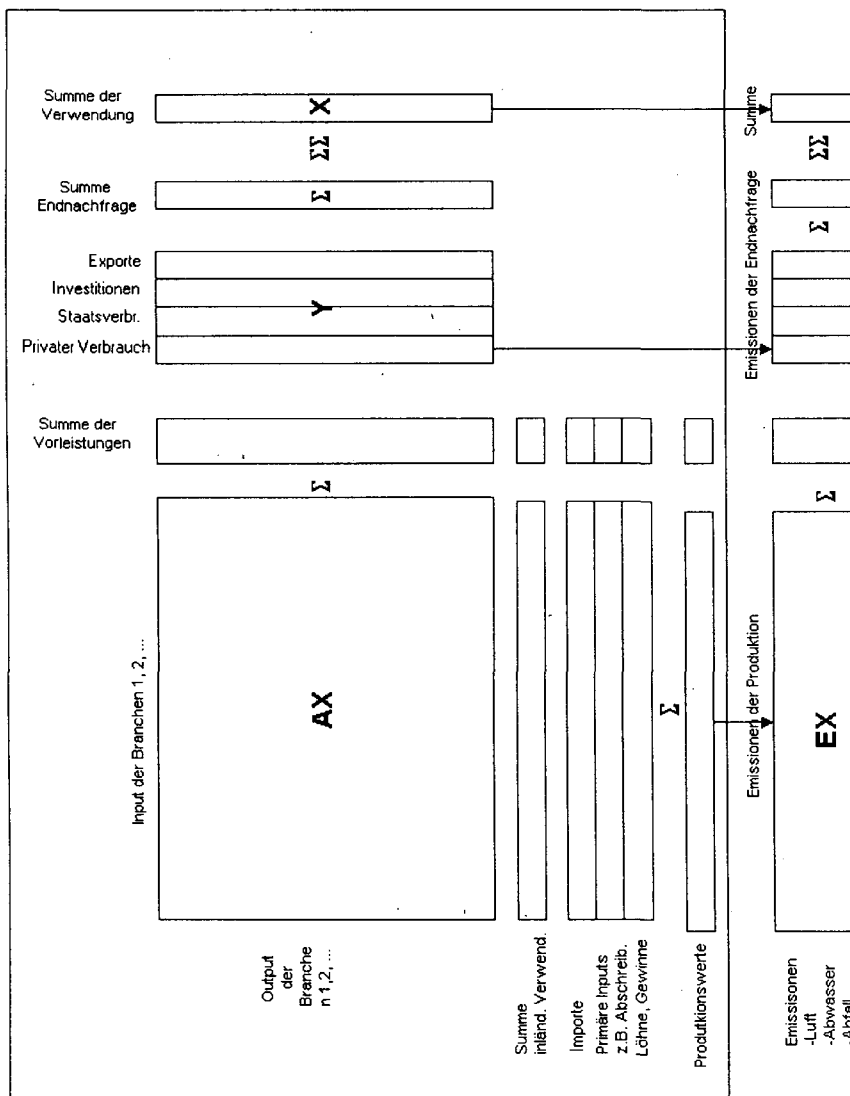
<sup>1</sup> Die Umformung nach  $X$  ist nur möglich, wenn die Determinante der Matrix  $(I-A)$  ungleich Null ist.

Um die Endnachfrage befriedigen zu können, müssen somit  $(I-A)^{-1}Y$  Outputeinheiten produziert werden.

## 2.4.2 Die Erweiterung der Input-Output-Analyse um Emissionskoeffizienten

Durch die Erweiterung der Matrix der wirtschaftlichen Branchenverflechtung (A) um eine Matrix mit branchenspezifischen Emissionskoeffizienten (E) können Emissionen in dem Modell berücksichtigt werden. Abbildung 1 stellt das Schema der erweiterten Input-Output-Matrix dar.

Abbildung 1: Die um die spezifischen Emissionskoeffizienten der Produktionsbereiche erweiterte Input-Output-Tabelle



Die einzelnen Emissionskoeffizienten  $e_{ji}$  der Emissionskoeffizientenmatrix  $E$  geben an, wieviel Einheiten eines Schadstoffes  $j$  (z.B.  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , etc.) bei der Herstellung einer Produktionseinheit in dem Sektor  $i$  durchschnittlich freigesetzt werden. Die Berechnung der branchenspezifischen Emissionskoeffizienten unter Berücksichtigung des Einsatzes einzelner Prozesse und Energieträger ist durch die in Abbildung 2 dargestellte Formel möglich.

Abbildung 2: Berechnung der Emissionskoeffizienten

$$e_{ji} = \left( \left( \sum_{a=1}^l et_{ia} * q_i * g_{ia} + \sum_{p=1}^k \sum_{a=1}^l et_{pa} * q_{pa} + \sum_{b=1}^m et_b * q_{bi} \right) + s_i \right) / BPW_i$$

**Anmerkung:** Alle Emissionsfaktoren beziehen sich auf den Schadstoff  $j$

Mittels der ersten in Abbildung 2 aufgeführten Summe werden die Emissionen berechnet, die durch den energetischen Einsatz der Energieträger entstehen. Diese Emissionen erhält man durch die Multiplikation der technischen Emissionsfaktoren mit dem Anteil des entsprechenden Energieträgers an dem eingesetzten Energieträgermix und dem gesamten Energieverbrauch. Die zweite Summe bezieht sich auf die Emissionen, die durch energieintensive Prozesse in dem Sektor  $i$  entstehen. Um diese Emissionen erfassen zu können, werden technische Emissionsfaktoren mit der entsprechenden Prozeßmenge multipliziert.

Da auch durch andere als den energieintensiven Prozessen Emissionen freigesetzt werden, ist noch eine weitere Summe erforderlich. In dieser werden die materialprozeßspezifischen Emissionsfaktoren mit der entsprechenden Produktionsmenge verknüpft.

Um die Emissionen erfassen zu können, für die keine prozeßspezifischen Informationen vorliegen, ist noch ein zusätzlicher Term erforderlich. Dieser gibt die Menge an Emissionen des Schadstoffes  $j$  wieder, die aus sonstigen statistischen Angaben (z.B. der Abfallstatistik) stammen.

Die Addition der energieträgerspezifischen Emissionen, der prozeßspezifischen Emissionen und der auf sonstigen statistischen Angaben beruhenden Emissionen ergibt die insgesamt anfallenden Emissionen. Teilt man diese durch den sektoralen Produktionswert erhält man die sektorspezifischen Emissionskoeffizienten. Diese geben an, wieviel Emission eines Schadstoffes bei der Produktion einer Produktionseinheit (Mio. DM) in einem Sektor freigesetzt wird.

Erweitert man Gleichung (3) um die Emissionskoeffizientenmatrix  $E$ , erhält man für die Emissionen aus der Produktion ( $E_{Prod}$ ):

$$E_{Prod} = E X = E (I - A)^{-1} Y. \quad (4)$$

Gleichung (4) läßt sich auch als unendliche geometrische Reihe schreiben:

$$E_{Prod} = E (I - A)^{-1} Y = E Y + E A Y + E A^2 Y + E A^3 Y + \dots \quad (5)$$

Hierbei entspricht  $E \cdot Y$  den Emissionen aufgrund der Produktion der Güter, die direkt an die Endnachfrage geliefert werden. Bei der Erstellung der direkten Inputs für die Produktion dieser Güter entstehen Emissionen in Höhe von  $E \cdot A \cdot Y$ . Der nächste Term  $E \cdot A^2 \cdot Y$  gibt die Emissionen an, die bei der Produktion der direkten Vorleistungen für diese Produktionsstufe emittiert werden, usw.. Mit Gleichung (4) respektive Gleichung (5) können die Emissionen auf sämtlichen Produktionsstufen erfaßt werden. Neben den Produktionssektoren verursachen jedoch auch die Haushalte (z.B. durch die Verbrennung fossiler Energieträger) Emissionen. Die Emissionen der Haushalte ( $E_{Haus}$ ) werden innerhalb der Input-Output-Modelle i.d.R. durch

$$E_{Haus} = E_{HH} \cdot Y \quad (6)$$

mit  $E_{HH}$ :  $m$ -dimensionaler Vektor der Emissionskoeffizienten der privaten Haushalte. Jedes Element dieses Vektors gibt an, wieviel Emissionen des Schadstoffes  $j$  im Verhältnis zu einer Einheit der gesamten Nachfrage der privaten Haushalte freigesetzt wird,

$Y$ : Vektor mit der Nachfrage der privaten Haushalte

berechnet.

Insgesamt werden

$$E_{Ges} = E_{Prod} + E_{Haus} \quad (7)$$

Emissionen während eines bestimmten Zeitraumes durch die direkte bzw. indirekte Nachfrage nach Gütern verursacht.

## 2.5 Schlußfolgerungen

Die Hauptaufgabe einer Emittentenstruktur besteht in der Darstellung des Anteils der einzelnen Emittenten an den Emissionen, in der Darstellung der Emissionsschwerpunkte und in der zur Verfügungstellung von Daten als Grundlage für die Planung von Umweltschutzmaßnahmen. Hierzu sind eine Vielzahl zuverlässiger Daten über die einzelnen Emittenten, ihre Aktivitäten und den dadurch ausgelösten Emissionen erforderlich.

Informationen über die wirtschaftlichen Aktivitäten von Emittenten und über wirtschaftliche Verflechtungen in einer Volkswirtschaft liefern Input-Output-Tabellen. Durch die Verknüpfung dieser Tabellen mit Emissionsdaten lassen sich Modelle erstellen, mit denen die durch wirtschaftliche Aktivitäten ausgelösten direkten und indirekten, d.h. die durch die wirtschaftlichen Aktivitäten in einen Wirtschaftsbereich induzierten Umweltbelastungen, analysiert werden können.

### **3 Möglichkeiten und Grenzen der Erstellung regionaler Emittentenstrukturen**

Im folgenden wird untersucht, inwieweit Emittentenstrukturen für einzelne Bundesländer unter Zuhilfenahme von offiziellen und allgemein zugänglichen Statistiken erstellt werden können.

#### **3.1 Ökonomische Daten**

Funktionale Input-Output-Tabellen liegen auf regionaler Ebene für die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Schleswig Holstein, Saarland, Hessen und Baden-Württemberg vor. In regelmäßigen Abständen werden allerdings nur für Baden-Württemberg Input-Output-Tabellen erstellt (s. Tabelle 2).

Die regionalen Input-Output-Tabellen werden i.d.R. auf Basis von Angaben aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung und unter Zuhilfenahme bundesdeutscher Input-Output-Tabellen erstellt (vgl. dazu z.B. MÜNZENMAIER, 1993a: 31, WESSEL, 1968: 284, GRETZ-ROTH, 1989: 347). Zusätzlich wird auf die Material- und Wareneingangserhebung des Statistischen Bundesamtes sowie auf Außenhandels- und Fachstatistiken zurückgegriffen. Um regionale Besonderheiten berücksichtigen zu können, werden bzw. wurden teilweise zusätzlich noch Unternehmensbefragungen durchgeführt (vgl. dazu z.B. GRETZ-ROTH, 1989: 347).

In der Regel weisen die regionalen Input-Output-Tabellen aus Datenschutzgründen einen relativ hohen Aggregationsgrad auf. So werden beispielsweise die baden-württembergischen Input-Output-Tabellen grundsätzlich nur in einer Gliederung nach 27 Produktionssektoren veröffentlicht.

Da Input-Output-Tabellen die Grundlage für die Erstellung einer Emittentenstruktur bilden, können nur für die oben genannten Bundesländer Emittentenstrukturen erstellt werden, mit denen die indirekten Effekte unter Berücksichtigung der regionalen strukturellen Besonderheiten erfaßt werden können. Für andere Bundesländer ist die Erstellung einer Emittentenstruktur nur möglich, wenn wie z.B. im Falle der Tabelle von Nordrhein-Westfalen eine regionale Input-Output-Tabelle auf Basis z.B. der Tabellen des DIW bzw. der bundesdeutschen Input-Output-Tabelle geschätzt werden

bzw. wenn auf die Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten bei der Berechnung der indirekten Effekte verzichtet wird.

Tabelle 2: **Verfügbarkeit von Input-Output-Tabellen für einzelne Bundesländer**

Bundesland	IO-Tabelle für die Jahre	Literatur
Baden-Württemberg	1972, 1978, 1982, 1984, 1986, 1988, 1990	MÜNZENMAIER (1993b, 1995)
Nordrhein-Westfalen	1982	STÄGLIN (1990)
Schleswig Holstein	1962, 1966	LEHBERT (1970)
Saarland	1960	MÜLLER ET AL. (1967)
Hessen	1962, 1976, 1980	GRETZ-ROTH (1989)

Zu beachten ist, daß bei einer Gliederung der Input-Output-Tabellen nach institutionellen Gesichtspunkten, wie es bei der für das Jahr 1976 für Hessen erstellten Tabelle der Fall ist (vgl. dazu GRETZ-ROTH, 1989: 349), die eigentlichen Emissionsquellen nicht exakt erfaßt werden. Entsprechend vorsichtig sind dann die mittels einer Emittentenstruktur durchgeführten Analysen zu werten.

## 3.2 Umweltdaten

### 3.2.1 Luft

Wie unter Abschnitt 2.3.3.1 beschrieben, benötigt man, um die energiebedingten Emissionen berechnen zu können, Informationen über den Einsatz der jeweiligen Energieträger in den einzelnen Wirtschaftsbereichen. Detaillierte Informationen über das Aufkommen und die Verwendung von Energieträgern liefern beispielsweise die Energiebilanzen, die i.d.R. jährlich von den Statistischen Landesämtern veröffentlicht werden (vgl. dazu z.B. STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG, 1998). Die Energiebilanzen bestehen aus der Primärenergiebilanz, in der u.a. die Gewinnung und Importe der einzelnen Energieträger erfaßt werden, aus der Umwandlungsbilanz mit Angaben über den Einsatz und Ausstoß der verschiedenen Umwandlungsprozesse und aus der Bilanz des Endenergieverbrauchs, in der der Einsatz der einzelnen Energieträger in verschiedenen Verbrauchergruppen zur Erzeugung von Nutzenergie aufgeführt wird (vgl. dazu AGE, 1994: Tab. 3.1). Die Einteilung der wirtschaftlichen



Einheiten in Verbrauchergruppen erfolgt in Anlehnung an die Systematik der Wirtschaftszweige für das Produzierende Gewerbe (SYPRO) nach institutionellen Kriterien, wobei i.d.R. nur zwischen den 25 in Tabelle 3 aufgeführten Verbrauchergruppen (Wirtschaftshauptgruppen und -gruppen) unterschieden wird.

Tabelle 3: **Einteilung der Verbrauchergruppen in den Energiebilanzen**

<b>Bergbau</b>
<b>Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe</b>
Steine und Erden NE-Metallerzeugung, -halbzeugwerke Gießerei Chemische Industrie Zellstoff-, Holzschliff-, Papier- u. Pappeerzeugung Übriges Grundstoff- u. Produktionsgütergewerbe
<b>Investitionsgüter produzierendes Gewerbe</b>
Maschinenbau Straßenfahrzeugbau Elektrotechnik Übriges Investitionsgüter prod. Gewerbe
<b>Verbrauchsgüter produzierendes Gewerbe</b>
Herstellung von Kunststoffwaren Textilgewerbe Übriges Verbrauchsgüter produzierendes Gewerbe
<b>Nahrungs- und Genußmittelgewerbe</b>
<b>Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe</b>
Schienenverkehr Straßenverkehr Luftverkehr Binnenschifffahrt
<b>Verkehr insgesamt</b>
<b>Haushalte und sonstige Verbraucher</b>

Die Verbrauchergruppe „Haushalte und sonstige Verbraucher“ umfaßt hierbei u.a. die Gewerbebetriebe mit weniger als 20 Beschäftigten, die Unternehmen des Baugewerbes, die privaten Haushalte, die öffentlichen Einrichtungen, die Landwirtschaft, Handelsunternehmen und militärische Dienststellen.

Normalerweise wird in den Energiebilanzen zwischen den Tabelle 4 aufgelisteten Energieträgern unterschieden.

Tabelle 4 : Einteilung der Energieträger in den Energiebilanzen

<b>Steinkohlen</b>
Kohle Koks Briketts
<b>Braunkohlen</b>
Briketts Staub- und Trockenkohle
<b>Sonstige Brennstoffe</b>
Brennholz Müll u.ä.
<b>Mineralöle</b>
Erdöl (roh) Motorenbenzin Rohbenzin Flugturbinenkraftstoff (leicht, schwer) Dieselkraftstoff Heizöl (leicht, schwer) Petrolkoks Andere Mineralölprodukte
<b>Gase</b>
Flüssiggas Raffineriegas Stadtgas Erdgas und Erdölgas Klärgas
<b>Elektrischer Strom und andere Energieträger</b>
Strom Wasserkraft Kernenergie Fernwärme

Während in den Energiebilanzen zwischen 24 verschiedenen Energieträgern unterschieden wird, wird in den Statistiken der Statistischen Landesämter (vgl. dazu z.B. STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1997) und den Energieberichten der Wirtschaftsministerien (vgl. dazu z.B. THÜRINGER MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND INFRASTRUKTUR, 1998, WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 1997) vorwiegend nur zwischen den Energieträgern Kohle, Gas, Heizöl (schwer/leicht) und Strom unterschieden. In den Energiestatistiken der Statistischen Landesämter werden i.d.R. die Verbrauchergruppen stärker disaggregiert als in den Energiebilanzen. So wird beispielsweise in der Statistik „Verarbeitendes Gewerbe“ des Statistischen Landesamtes von Baden-Württemberg neben den

Wirtschaftshauptgruppen und -gruppen des Verarbeitenden Gewerbes auch der Energieverbrauch ausgewählter Wirtschaftszweige aufgeführt.

Neben Angaben über den Einsatz der Energieträger in den Produktionsbereichen und in den privaten Haushalten benötigt man, um die energiebedingten Emissionen berechnen zu können, Angaben über die Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger. Eine große Datenbank mit Emissionsfaktoren besitzt das Umweltbundesamt. Das Umweltbundesamt differenziert seine Emissionsfaktoren nicht nur nach der Art der Energieträger sondern auch nach deren Herkunft, so daß z.B. die standortspezifischen Schwankungen des Schwefelgehalts von Kohle berücksichtigt werden können.

Zudem benötigt man Angaben darüber, in welchen Prozessen die einzelnen Energieträger eingesetzt werden. Hierzu sind Informationen über die technische Situation der Region, für die eine Emittentenstruktur erstellt werden soll, notwendig. Hilfestellung können hierzu die länderspezifischen Produktionsstatistiken liefern. Weitere Informationen über technische Emissionsfaktoren sind z.B. dem „Atmospheric Emission Inventory Guidebook“ von EMEP/CORINAIR (1996) zu entnehmen, wobei auch die dort angegebenen Emissionsfaktoren an die gegebene technische Situation angepaßt werden müssen.

Schwieriger als die energiebedingten lassen sich die nicht-energiebedingten Emissionen erfassen, da mehr Informationen über die einzelnen Prozesse benötigt werden als im Falle der energiebedingten Luftschadstoffe. Um diese Emissionen in eine Emittentenstruktur aufnehmen zu können, benötigt man Angaben über den Umfang, in dem die einzelnen Prozesse eingesetzt werden und über die Emissionen, die pro Produktionseinheit freigesetzt werden. Während die Angaben über Produktionsmengen größtenteils den Produktionsstatistiken entnommen werden können, ist man bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren auf technische Einzelinformationen, über die i.d.R. keine offiziellen Statistiken vorliegen, angewiesen.

Zu beachten ist, daß die Emissionsfaktoren normalerweise schwanken (z.B. mit der Verbrennungstemperatur). Information über Schwankungsbreiten der ausgewiesenen Emissionsfaktoren finden sich bei HOHMEYER ET AL. (1992: 117 ff.).

### 3.2.2 Abfall

Informationen über das Aufkommen und die Beseitigung von Abfall in einzelnen Wirtschaftsbereichen liefert beispielsweise die Statistik „Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern“ und die Statistik „Öffentliche Abfallbeseitigung“ des Statistischen Bundesamtes bzw. der Statistischen Landesämter (vgl. dazu z.B. STATISTISCHES BUNDESAMT, 1991a, 1991b, 1994a, 1994b). In den Statistiken „Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern“ werden u.a. die in den einzelnen Wirtschaftszweigen anfallenden Abfälle nach ca. 140 verschiedenen Abfallarten aufgeschlüsselt erfaßt. Die Zuordnung der Betriebe zu Wirtschaftszweigen erfolgt nach institutionellen und nicht nach funktionalen Gesichtspunkten, wobei Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten nicht berücksichtigt werden. Um die Statistik „Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern“ mit den nach funktionalen Kriterien erstellten Input-Output-Tabellen verknüpfen zu können, ist eine entsprechende Umschlüsselung auf eine funktionale Systematik und die Ergänzung der Statistiken um das Abfallaufkommen industrieller Kleinbetriebe erforderlich.

Um diejenigen Abfälle der Emittenten erfassen zu können, die nicht in der Statistik „Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern“ ausgewiesen werden, muß auf die Statistiken „Öffentliche Abfallbeseitigung“ zurückgegriffen werden. Hier werden die Abfallmengen in 17 verschiedene Hauptabfallarten untergliedert. Da diese jedoch nicht einzelnen Emittenten zugeordnet werden, benötigt man spezielle Umrechnungsschlüssel.

Auch müssen die Statistiken um Doppelzählungen bereinigt werden, da sowohl in den Statistiken „Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern“ als auch in den Statistiken „Öffentliche Abfallbeseitigung“ die mittels der öffentlichen Abfallentsorgung beseitigten Abfälle des Produzierenden Gewerbes erfaßt werden (vgl. dazu HOHMEYER ET AL., 1992: 147).

Grundsätzlich ist zu beachten, daß die Angaben in den Abfallstatistiken aufgrund von fehlerhaften Angaben in den Abfallerhebungen der Unternehmen teilweise ungenau und unzuverlässig sind. Zudem sind die Angaben in den regionalen Statistiken oftmals aus Datenschutzgründen lückenhaft. Ferner liegen im Bereich der Abfälle Entsorgungsnachweislücken vor. So wurden laut SRU (1991: 153) 6,7 Mio. t

Hausmüll mehr entsorgt als in der Abfallstatistik ausgewiesen wird. Weitere Entsorgungsnachweislücken bestehen auch im Bereich Bodenaushub.

### 3.2.3 Abwasser

Im Gegensatz zu den Abfall- und Luftemissionen liegen für den Bereich Abwasser nur geringe Informationen über die von den einzelnen Produktionsbereichen emittierten Schadstoffe vor. Zwar werden in regelmäßigen Abständen sowohl auf Bundes- als auch Landesebene die Statistiken „Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“ und „Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe“ und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung“ veröffentlicht (vgl. dazu z.B. STATISTISCHES BUNDESAMT, 1986a, 1986b, 1990b, 1990c, 1995a, 1995b), diese beinhalten jedoch nur Angaben über die Abwasserkategorien „Kühlwasser“, „Ungenutzt abgeleitetes Abwasser“ und „Produktionsspezifisches Abwasser“. Koeffizienten für die Emissionen von Abwasserinhaltsstoffen lassen sich nach HOHMEYER ET AL. (1992: 331) zur Zeit nicht flächendeckend ermitteln. In die Emittentenstruktur des ISI/ZEW wurden deshalb nur die drei genannten Abwasserkategorien sowie das Abwasseraufkommen insgesamt aufgenommen.

Aufgrund der in den verschiedenen Statistiken vorhandenen Redundanz, müssen, bevor die Abwassermengen den einzelnen Produktionsbereichen zugeordnet bzw. berechnet werden können, Bereinigungen und Umschlüsselungen vorgenommen werden. Zudem muß eine Hochrechnung der auf die industriellen Kleinbetriebe entfallenden Abwassermengen erfolgen, da in den Ausgangstabellen keine Angaben hierüber enthalten sind. Außerdem ist eine Umschlüsselung von der Systematik für Umweltstatistiken (SYUM) auf die SIO-Systematik notwendig.

### 3.3 Schlußfolgerungen

In den Bereichen Abfall und Abwasser liegen für die einzelnen Sektoren unterschiedlich viele Informationen vor. Während für das Verarbeitende Gewerbe umfangreiche Statistiken existieren, sind für die restlichen Wirtschaftsbereiche relativ wenig Umweltdaten vorhanden. Auch problematisch ist die unterschiedliche Systematik bei Abgrenzung der Wirtschaftsbereiche. Nur mittels spezieller Schlüssel

ist eine Verknüpfung der unterschiedlichen Statistiken bzw. eine Umgliederung in die Systematik der Input-Output-Tabellen möglich. Die durch die Kombination verschiedener Statistiken auftretenden Doppelzählungen lassen sich größtenteils relativ einfach beseitigen. Große Unsicherheiten entstehen allerdings durch Entsorgungsnachweislücken, die insbesondere im Abwasser- und Abfallbereich bestehen.

## 4 Das Beispiel Baden-Württemberg

In den vorangehenden Kapiteln sind die für die Erstellung einer regionalen Emittentenstruktur benötigten Daten und die zur Verfügung stehenden Datenquellen beschrieben worden. In diesem Kapitel soll nun am Beispiel von Baden-Württemberg untersucht werden, inwieweit diese Datenquellen die Erstellung einer solchen ermöglichen. Dabei wird sich auf die Ermittlung der Emissionen im Luftbereich beschränkt.

### 4.1 Abgrenzung der Sektoren

Als Grundlage für eine Emittentenstruktur Baden-Württemberg dienen die funktionalen Input-Output-Tabellen von Baden-Württemberg (vgl. Abschnitt 3.1). Tabelle 5 gibt die dort verwendete Abgrenzung der Sektoren, die somit auch für die Emittentenstruktur ausschlaggebend ist, wieder.

Tabelle 5: **Einteilung der Sektoren in den Input-Output-Tabellen von Baden-Württemberg**

- |  |
|--|
| 1. Land- und Forstwirtschaft           |
| 2. Energie, Bergbau                    |
| 3. Chemie, Mineralöl                   |
| 4. Kunststoff, Gummi                   |
| 5. Steine und Erden, Feinkeramik, Glas |
| 6. Eisen, NE-Metalle, Gießereien       |
| 7. Stahl-, Maschinenbau, ADV           |
| 8. Fahrzeuge                           |
| 9. Elektrotechnik, Feinmechanik        |
| 10. EBM-Waren, Musikinstrumente        |
| 11. Holz                               |
| 12. Papier, Druck                      |
| 13. Leder, Textilien, Bekleidung       |
| 14. Nahrungsmittel, Tabak              |
| 15. Bau                                |
| 16. Handel                             |
| 17. Eisenbahnen, Schifffahrt           |
| 18. Postdienstleistungen               |
| 19. Übriger Verkehr                    |
| 20. Kreditinstitute, Versicherungen    |
| 21. <i>Wohnungsvermietung</i>          |
| 22. Gastgewerbe                        |
| 23. Wissenschaft, Verlage              |
| 24. Gesundheits- und Veterinärwesen    |
| 25. Sonstige Dienstleistungen          |
| 26. Staat                              |
| 27. Private Organisationen o.E.        |

In Spalte 29 der Input-Output-Tabellen wird zusätzlich die Nachfrage der privaten Haushalte nach den einzelnen Gütern aufgelistet.

## **4.2 Energiedaten Luft**

Für die Berechnung der energiebedingten Emissionen im Luftbereich werden, wie unter Abschnitt 2.3.3.1 beschrieben, neben den Emissionskoeffizienten auch Angaben über den sektoralen Energieverbrauch benötigt. Im folgenden soll überprüft werden, inwieweit die auf baden-württembergischer Ebene zur Verfügung stehenden verschiedenen statistischen Quellen eine Ermittlung der Energieverbräuche der oben aufgelisteten Sektoren ermöglicht.

### **4.2.1 Die Energiebilanz Baden-Württemberg**

Die Energiebilanz Baden-Württemberg, die erstmals für das Jahr 1965 erstellt worden ist, wird jährlich vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg herausgegeben. Seit ihrem ersten Erscheinen ist sie mehrmals revidiert worden. So führte beispielsweise die seit dem Jahr 1982 greifende Bilanzierungsvorschrift zur einheitlichen Anschreibung von Energieträgern auf Bundes- und Landesebene zu einer Revision der Energiebilanzen ab dem Jahre 1973 (vgl. dazu OLGEMANN, 1984: 185). Auch bestand Harmonisierungsbedarf hinsichtlich Methodik und Datenbasis nachdem 1983 erstmals von allen Bundesländern eine Energiebilanz erstellt wurde (vgl. dazu BECK, 1989: 66). Derzeit liegen die Energiebilanzen Baden-Württemberg für die Jahre 1973 bis 1994 in einheitlicher Form vor. Sie weisen hierbei die unter Abschnitt 3.2.1 beschriebene Struktur auf.

Zusätzlich zu den in Tabelle 4 aufgelisteten Energieträgern werden in den Energiebilanzen ab 1995 erneuerbare Energieträger explizit ausgewiesen. Zudem werden die berücksichtigten Verbrauchergruppen, wie in Tabelle 6 dargestellt, umstrukturiert bzw. erweitert:



Tabelle 6: **Verbrauchergruppen in den Energiebilanzen Baden-Württemberg ab 1995**

Gew. v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau
Ernährungsgewerbe
Tabakverarbeitung
Textilgewerbe
Bekleidungsgewerbe
Ledergewerbe
Holzgewerbe
Papiergewerbe
Verlags-, Druckgew., Vervielfältig. v. bsp. Ton-, Bild- u. Datenträgern
Herstellung von chemischen Grundstoffen
Sonstige chemische Industrie
Herstellung v. Gummi- und Kunststoffwaren
Glasgewerbe, Keramik
Verarbeitung v. Steinen und Erden
Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen (EGKS)
NE-Metalle, Gießereiindustrie
Sonstige Metallbearbeitung
Herstellung von Metallerzeugnissen
Maschinenbau
Herstellung v. Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten u. -einrichtungen
Herstellung v. Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.ä.
Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik
Medizin-, Meß-, Steuer- u. Regelungstechnik, Optik
Herstellung v. Kraftwagen u. Kraftwagenteilen
Sonstiger Fahrzeugbau
Herst. v. Möbeln, Schmuck, Musikinstr., Sportger., Spielw. und sonst. Erzeugn.
Recycling
<b>Gewinnung v. Steinen u. Erden, sonst. Bergbau u. Verarb. Gewerbe insg.</b>
Schienenverkehr
Straßenverkehr
Luftverkehr
Küsten- und Binnenschifffahrt
<b>Verkehr insgesamt</b>
<b>Haushalte und sonstige Verbraucher</b>

Die Energieträgereinsätze in den Sektoren „Elektrizitätswirtschaft“ und „Mineralölwirtschaft“ sind weiterhin nicht in der Bilanz des Endenergieverbrauchs, sondern in der Umwandlungsbilanz erfaßt. Der Energieverbrauch im Sektor „Elektrizitätswirtschaft“ entspricht dem Umwandlungseinsatz abzüglich dem Umwandlungsausstoß der verschiedenen Kraftwerke und der sonstigen Energieerzeuger. Für den Sektor „Mineralölwirtschaft“ ist der Energieverbrauch bei der Umwandlung in den Raffinerien ausschlaggebend.

Ein Vergleich der Tabellen 5 und 4 bzw. 6 zeigt, daß hinsichtlich der für die Emittentenstruktur relevanten Sektoren des Produzierenden Gewerbes in den Energiebilanzen vor 1995 deutliche Lücken bestehen. Diese werden mit der erweiterten Energiebilanz ab 1995 größtenteils geschlossen.

Was den Verkehr betrifft, so besteht weiterhin das Problem, daß der Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs den Verbrauch an Dieselmotorenbenzin sowohl der privaten Haushalte als auch der Wirtschaftsgruppen des Verarbeitenden Gewerbes erfaßt. Die Ermittlung der einzelnen sektoralen Verbräuche ist mittels der für Baden-Württemberg zur Verfügung stehenden Statistiken nicht möglich. Zu diesem Zweck müssen Angaben aus anderen Quellen herangezogen werden. So liefern z.B. die Energiestatistiken des Statistischen Bundesamt (vgl. dazu z.B. STATISTISCHES BUNDESAMT, 1990a). Informationen über den Mineralöleinsatz in den einzelnen Wirtschaftsbereichen auf Bundesebene. Mit Hilfe dieser Daten können unter der Annahme, daß die einzelnen Wirtschaftsbereiche auf Bundeslandebene pro Outputeinheit die gleiche Menge an Dieselmotorenbenzin verbrauchen wie im Bundesdurchschnitt, die Angaben aus den Energiebilanzen Baden-Württemberg auf die einzelnen Wirtschaftsbereiche des Landes aufgeschlüsselt werden.

Ebenfalls von Nachteil für die Erstellung einer Emittentenstruktur ist, daß der Energieverbrauch der Kleinverbraucher lediglich in aggregierter Form im Sektor „Haushalte und sonstige Verbraucher“ erfaßt wird sowie die Dienstleistungssektoren keinerlei Berücksichtigung finden.

Als sehr positiv ist dagegen zu werten, daß in den Energiebilanzen eine Vielzahl von Energieträgern erfaßt wird und, daß deren Verbräuche sowohl in spezifischen Mengeneinheiten als auch in SKE und TJ angegeben sind. Dies läßt eine genaue Bestimmung der Emissionen der einzelnen Sektoren zu.

#### **4.2.2 Das Landesinformationssystem Baden-Württemberg**

Neben den Energiebilanzen liefert das vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg betriebene Landesinformationssystem Baden-Württemberg, kurz LIS genannt, Informationen über den sektoralen Einsatz von Energieträgern: Die sogenannte Branchendatenbank (BDB) des LIS gibt Auskunft über den

Energieverbrauch der nach SYPRO-Gruppen gegliederten Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes.

Im Vergleich zu der Energiebilanz Baden-Württemberg erweist sich das LIS insofern als vorteilhaft, als daß es alle relevanten Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes erfaßt und deren Energieverbräuche einheitlich in SKE angibt. Von Nachteil dagegen ist, daß nur sehr wenige Energieträger (Kohle, Heizöl - leicht/schwer -, Stadt- und Ferngas, Erdgas ) berücksichtigt werden sowie die Energieverbräuche der privaten Haushalte, der Kleinverbraucher und der Dienstleistungssektoren nicht ausgewiesen werden. Ferner weist das Datenmaterial des LIS aus Gründen des Datenschutzes Lücken auf, die mittels anderer Datenquellen bzw. durch Plausibilitätsüberlegungen geschlossen werden müssen. Im Hinblick auf die Erstellung einer Emittentenstruktur Baden-Württemberg sind die Daten des LIS somit nicht ausreichend, können aber diejenigen der Energiebilanz Baden-Württemberg sinnvoll ergänzen.

#### 4.2.3 „Statistik von Baden-Württemberg“

Informationen über den sektoralen Energieträgereinsatz liefern des weiteren Veröffentlichungen aus der Schriftenreihe „Statistik von Baden-Württemberg“, die ebenfalls vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg herausgegeben werden.

In diesem Zusammenhang von Interesse ist zum einen die Reihe „Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe“ (bis 1981) bzw. „Verarbeitendes Gewerbe“ (für die Jahre 1982 bis 1989) und zum anderen die Reihe „Energieversorgung und -verbrauch“ (ab dem Jahre 1973).

Für ausgewählte Wirtschaftszweige, sämtliche Wirtschaftsgruppen und -bereiche des Verarbeitenden Gewerbes finden sich in ersteren :

- Anteile der Energieträger Kohle, Heizöl, Gas am Gesamtenergieverbrauch, welcher in t SKE gegeben ist,
- Kohleverbrauch in t (bis einschließlich 1984 aufgeschlüsselt nach Steinkohle/-briketts, Steinkohlekoks, Braunkohlebriketts/-koks),
- gesamter Heizölverbrauch und Verbrauch an schwerem Heizöl in t,
- Verbrauch von Stadt-, Fern-, Erdgas als aggregierte Größe in m<sup>3</sup>.

Somit erfaßt die Statistik „(Bergbau und) Verarbeitendes Gewerbe“ zwar ebenso wie das LIS sämtliche für die Emittentenstruktur ausschlaggebenden Wirtschaftsgruppen

des Verarbeitenden Gewerbes, doch auch hier wird nur eine geringe Anzahl von Energieträgern berücksichtigt. Als positiv zu werten ist einerseits, daß die Angabe des Kohleverbrauchs, allerdings nur bis einschließlich 1984, differenziert erfolgt und andererseits die Möglichkeit besteht, in vereinzelt Fällen Datenlücken des LIS schließen zu können. Auch von Nutzen ist, daß die Statistik Informationen über die Umsätze der Kleinbetriebe liefert. Diese sind insofern von Interesse, als daß in den Statistiken, im Gegensatz zu den Input-Output-Tabellen, die Kleinbetriebe nicht in den jeweiligen Wirtschaftsgruppen mit erfaßt werden. Geht man vereinfachend davon aus, daß in den Kleinbetrieben und den Betrieben mit mehr als 20 Beschäftigten einer Wirtschaftsgruppe der gleiche Energieträgermix eingesetzt und gleichviel Energie je DM-Umsatz verbraucht wird, kann mittels der Umsatzzahlen der baden-württembergischen Kleinbetriebe auf deren Energieverbrauch geschlossen und die in den Statistiken ausgewiesenen Energieverbräuche der einzelnen Wirtschaftsgruppen entsprechend korrigiert werden.

Von Nachteil ist, daß das Datenmaterial des „(Bergbau und) Verarbeitenden Gewerbes“ ebenso wie im LIS aus Datenschutzgründen Lücken aufweist und ferner, daß die prozentuale Angabe des Energieverbrauchs bzw. die Angabe des Energieverbrauchs in spezifischen Einheiten zu einem Umrechnungsaufwand führt. Was die Dienstleistungssektoren und die Kleinverbraucher betrifft, so sind hier ebenfalls keine Angaben zu finden.

Die Statistik „(Bergbau und) Verarbeitendes Gewerbe“ vermag also geringfügig die Daten des LIS zu ergänzen, da sie allerdings für das Jahr 1989 letztmals erschienen ist, ist sie auch nur von beschränkter Relevanz.

Die Statistik „Energieversorgung und -verbrauch“ stellt unter der Überschrift „Struktur und Entwicklung des Energieverbrauchs nach Verbrauchergruppen“ die Daten der Energiebilanzen Baden-Württemberg in einer lediglich veränderten Übersicht dar. Dabei werden jedoch nicht alle in den Energiebilanzen berücksichtigten Energieträger aufgeführt (lediglich Steinkohle, Heizöl, Erdgas- und Erdöl). Somit kann diese Statistik nur alternativ, nicht aber ergänzend verwendet werden.

#### 4.2.4 „Statistische Berichte Baden-Württemberg“

Zu erwähnen sind schließlich noch die „Statistischen Berichte Baden-Württemberg - Produzierendes Gewerbe“, vormals „Statistische Berichte - Produzierendes Gewerbe“, ebenfalls vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg veröffentlicht. Sie geben sowohl in spezifischen Mengeneinheiten als auch in t SKE Auskunft über Kohle-, Heizöl-, Gas- und Stromverbrauch einzelner Wirtschaftszweige, der Wirtschaftsgruppen und -bereiche des Verarbeitenden Gewerbes. Da im Vergleich zum LIS eine geringere Anzahl von Verbrauchergruppen und auch keine weiteren Energieträger berücksichtigt werden und zudem die Energieverbräuche mit den im LIS angegebenen exakt übereinstimmen, führen die Statistischen Berichte zu keinen neuen Erkenntnissen.

#### 4.2.5 Energiebericht des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg

Der „Energiebericht“, erstmals für die Jahre 1975/76 erschienen, wird regelmäßig vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg herausgegeben. Zwar gibt der „Energiebericht“ nicht detailliert Aufschluß über den Energieverbrauch der Wirtschaftsgruppen des Produzierenden Gewerbes, doch stellt er die einzige statistische Quelle dar, die den Energieverbrauch von privaten Haushalten und Kleinverbrauchern, wenn auch nicht für alle Energieträger, einzeln aufführt. Angaben werden sowohl über den Strom-, als auch den Erdgasverbrauch gemacht. Unter Zuhilfenahme der aggregierten Verbrauchswerte der Energiebilanzen (Sektor „Haushalte und sonstige Verbraucher“) wird es dadurch möglich, approximativ auf die Verbräuche der anderen Energieträger und somit auch auf den jeweiligen Gesamtverbrauch der Haushalte und der Kleinverbraucher zu schließen:

Ermittelt man beispielsweise für jedes Jahr, wieviel Prozent der Erdgasverbrauch am Gesamtenergieverbrauch der privaten Haushalte und Kleinverbraucher ausmacht (1973: rund 6,94%) und nimmt man an, daß dies dem Anteil entspricht, den Erdgas am Gesamtenergieverbrauch sowohl der privaten Haushalte als auch der Kleinverbraucher ausmacht, so kann man über die Erdgasdaten des Energieberichts auf den Gesamtenergieverbrauch der Haushalte (1973: 18.552 TJ / 6,94% = 276.319 TJ) und auf den Gesamtenergieverbrauch der Kleinverbraucher (1973: 12.573 TJ / 6,94%=181.176 TJ) schließen. Wendet man die Anteile, die die Gesamtenergie-

verbräuche der privaten Haushalte respektive der Kleinverbraucher am aggregierten Gesamtenergieverbrauch ausmachen (1973: HH: rund 60%, KV: rund 40%) auf die einzelnen Energieträger an, so läßt sich auf deren Verbrauch bei den privaten Haushalten und bei den Kleinverbrauchern schließen.<sup>2</sup>

Ist der Gesamtenergieverbrauch der Kleinverbraucher bekannt, so läßt dies auch Rückschlüsse auf den der Dienstleistungssektoren zu:

Der um den Energieverbrauch der Kleinbetriebe (Berechnung s. Abschnitt 4.2.3) verminderte Gesamtverbrauch der Kleinverbraucher ergibt den gesamten Energieverbrauch der Dienstleistungssektoren (Militärische Dienststellen, die nicht klar zuordenbar sind, werden am sinnvollsten als Dienstleistungssektor behandelt).

Eine Aufschlüsselung dieses Gesamtverbrauchs ermöglicht keine der hier aufgeführten Statistiken. Zu diesem Zweck muß auf bundesdeutsche Daten zurückgegriffen werden. Hier liegen Angaben über den Energieverbrauch und den Umsatz der einzelnen Dienstleistungssektoren vor. Geht man davon aus, daß in den jeweiligen Dienstleistungssektoren auf Bundes- und Landesebene der gleiche Energieträgermix eingesetzt wird und daß die gleiche Menge an Energie je DM-Umsatz verbraucht wird, läßt sich mittels der Angaben, die die Input-Output-Tabellen Baden-Württembergs zu den Umsätzen der Dienstleistungssektoren liefern, auf deren Energieverbräuche schließen. Da allerdings die Input-Output-Tabellen nur für die oben genannten Jahre vorliegen, ist die Disaggregation der Dienstleistungssektoren auf diese Jahre beschränkt.

### 4.3 Schlußfolgerungen

In diesem Abschnitt sind die offiziell zur Verfügung stehenden Datenquellen des Landes Baden-Württembergs daraufhin geprüft worden, inwiefern sie, was die Emissionen des Luftbereichs betrifft, die Erstellung einer regionalen

---

<sup>2</sup> Dabei muß vereinfachend davon ausgegangen werden, daß alle Energieträger innerhalb eines Jahres in eben diesem Verhältnis in den privaten Haushalten und bei den Kleinverbraucher eingesetzt werden.

Für die Verwendung der Erdgas- statt der Stromdaten des Energieberichts zur Ermittlung der Energieverbräuche der privaten Haushalte und der Kleinverbraucher spricht, daß die Erdgasdaten insofern repräsentativer sind als die Stromdaten, als daß Erdgas zur Wärmeerzeugung verwendet wird und die privaten Haushalte und die Kleinverbraucher Energie in erster Linie zu diesem Zweck einsetzen.

Emittentenstruktur ermöglichen. Die zu diesem Zweck benötigte Statistik müßte idealer Weise wie folgt gestaltet sein:

- die Daten sollten einheitlich in Terajoule vorliegen,
- es sollten möglichst viele Energieträger berücksichtigt werden,
- die Statistik sollte über die Jahre hinweg in ihrer Methodik und Datenbasis konsistent sein und
- sämtliche Verbrauchergruppen sollten gemäß der Abgrenzung der Input-Output-Tabellen Baden-Württembergs einfließen.

Den sektoralen Energieverbrauch einheitlich, d.h. in nur einer Mengeneinheit vorliegen zu haben, ist, allein schon des Vergleichs wegen, sinnvoll. Da die technischen Emissionsfaktoren in der Regel in Tonnen pro Terajoule gegeben sind, bietet sich deshalb die Verwendung von Terajoule (TJ) als Basiseinheit an. Dieser Anforderung genügt lediglich die Energiebilanz Baden-Württemberg, wobei die Umrechnung von SKE in TJ nicht immer schlüssig erscheint.

Was die Konsistenz der Statistiken anbetrifft, so wird es sich nie vermeiden lassen, daß es zu Aktualisierungen und Angleichungen kommt: neue Energieträger werden nutzbar gemacht, die Gesetzeslage verändert sich, das Zusammenwachsen der europäischen Länder schafft Harmonisierungsbedarf, etc.. Revisionen werden dadurch erforderlich, die soweit als sinnvoll zurückgreifen sollten.

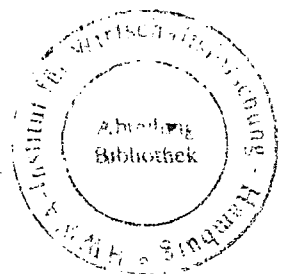
Um die Emissionen der einzelnen Sektoren genau ermitteln zu können, sollten die Statistiken idealerweise den Verbrauch möglichst vieler Energieträger erfassen. Ein Blick auf die baden-württembergischen Statistiken zeigt, daß lediglich die Energiebilanzen diesem Anspruch genügen.

Mit der Forderung alle für die Emittentenstruktur benötigten Verbrauchergruppen auszuweisen, stößt man auf das eigentliche Dilemma: Einerseits kann man den Weg beschreiten, wie es im LIS getan wird, d.h. möglichst viele Verbrauchergruppen anzugeben und dadurch Datenlücken in Kauf zu nehmen oder aber, wie es in den Energiebilanzen der Fall ist, vollständige Daten bei aggregierten Verbrauchergruppen anzubieten. Nur so kann dem Datenschutz Rechnung getragen werden.

Somit erweisen sich die Energiebilanz Baden-Württemberg und das LIS als sehr hilfreich, was die Erstellung einer regionalen Emittentenstruktur betrifft. Sie können

vereinzelt durch Statistiken wie beispielsweise dem „Energiebericht Baden-Württemberg“ sinnvoll ergänzt werden.

Deutlich wird aber auch, daß man bei der Erstellung einer regionalen Emittentenstruktur, was das Datenmaterial betrifft, auf Grenzen stößt. Erhebungstechnische Gründe, der Datenschutz, die mangelnde Berücksichtigung aller relevanten Energieträger und Verbrauchergruppen sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Zwar kann man, wie oben beschrieben, häufig die fehlenden Daten ergänzen, indem man auf bundesdeutsche Daten oder auf Umsatzzahlen zurückgreift, doch wird dies immer mit Ungenauigkeiten verbunden sein.





## 5 Anwendungsbeispiele für eine Emittentenstruktur

Grundsätzlich kann eine wie oben beschriebene Emittentenstruktur zur Bearbeitung der folgenden Problemkreise eingesetzt werden:

1. Ermittlung der Anteile der einzelnen Emittenten an den Gesamtemissionen,
2. Analyse historischer Entwicklungen,
3. Analyse direkter und indirekter Emissionen,
4. Analyse der Auswirkungen von ökonomischen Veränderungen,
5. Analyse der Auswirkungen von technischen Veränderungen (z.B. Verminderung des Kraftstoffverbrauchs von Fahrzeugen),
6. Analyse der Auswirkungen bestimmter umweltpolitischer Maßnahmen (z.B. Einführung der Großfeuerungsanlagenverordnung) und
7. Vergleich der Strukturen und Entwicklungen auf regionaler Ebene mit den Entwicklungen in anderen Untersuchungsgebieten.

Im folgenden werden zu den Problemkreisen 1 bis 5 Anwendungsbeispiele gegeben.<sup>3</sup>

### 5.1 Ermittlung der Anteile der einzelnen Emittenten an den Gesamtemissionen

#### 5.1.1 Einsatzmöglichkeiten

In einer wie in den Kapiteln zuvor beschriebenen Emittentenstruktur wird die Volkswirtschaft anhand der den Input-Output-Tabellen zugrundeliegenden Systematiken in Emittenten eingeteilt. Für Baden-Württemberg bedeutet dies, daß für 28 verschiedene Wirtschaftsbereiche Emissionen ausgewiesen werden. Setzt man die Emissionen der einzelnen Sektoren ins Verhältnis zu den insgesamt freigesetzten Emissionen, so läßt sich die Bedeutung der einzelnen Wirtschaftsbereich an den Gesamtemissionen ermitteln.

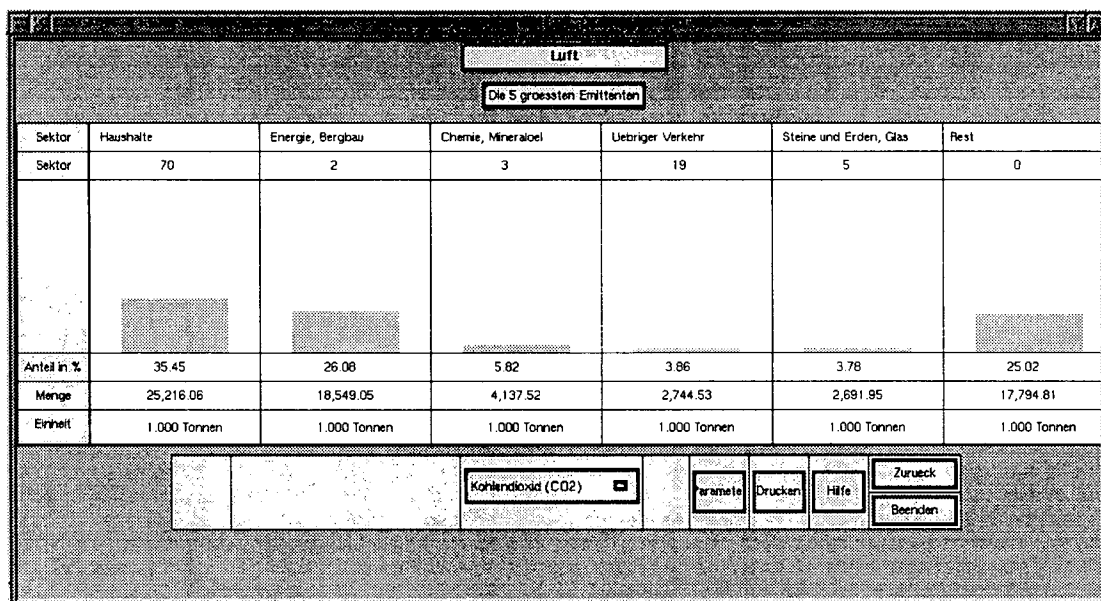
---

<sup>3</sup> Zu beachten ist, daß die Berechnungen i.d.R. auf sektoralen Durchschnittswerten basieren. Für technikspezifische Fragestellungen ist man entsprechend auf Zusatzinformationen angewiesen.

### 5.1.2 Beispiel

Der Einsatz einer Emittentenstruktur zur Ermittlung der Anteile der einzelnen Emittenten an den Gesamtemissionen wird im folgenden anhand der Emittentenstruktur Baden-Württemberg verdeutlicht werden.

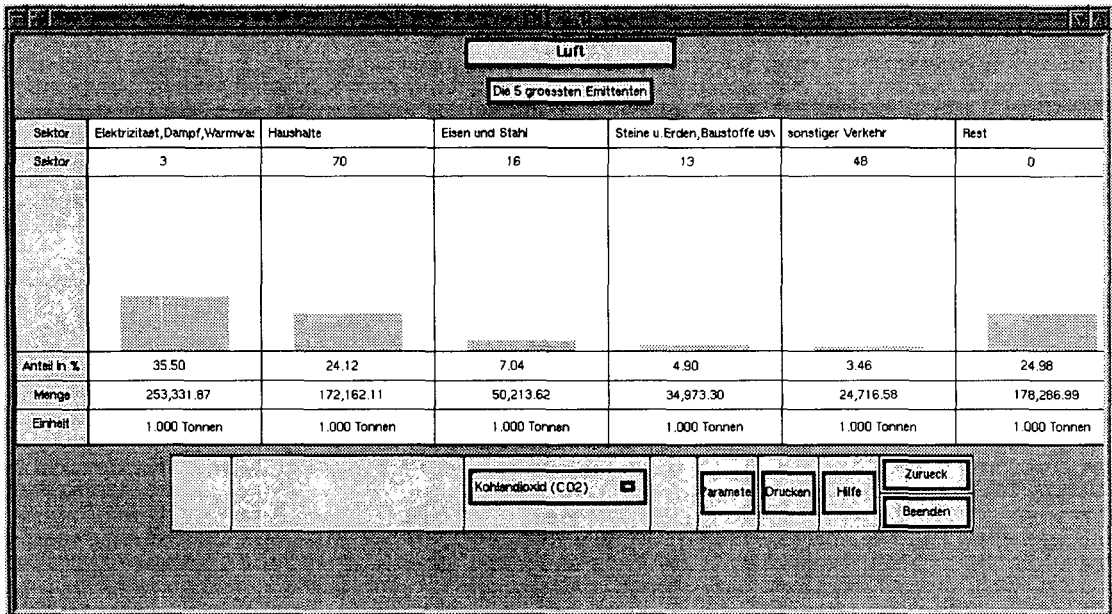
Abbildung 3: Anteil einzelner Wirtschaftsbereiche an den Kohlendioxidemissionen in Baden-Württemberg (1990)



Wie man anhand von Abbildung 3 erkennt, wurden 1990 durch die Aktivitäten der privaten Haushalte deutlich mehr Kohlendioxidemissionen verursacht als durch die Produktionssektoren. Die Emissionen der privaten Haushalte lagen hierbei deutlich über den Emissionen des Sektors „Energie und Bergbau“, durch dessen Aktivitäten ca. 26 % der Gesamtemissionen freigesetzt wurden. Wesentlich weniger Emissionen wurden durch die nächst größten Emittenten verursacht.

Im Bundesdurchschnitt hingegen lag der Anteil der privaten Haushalte an den Gesamtemissionen bei ca. 24 %, während durch die Aktivitäten der „Elektrizitätswirtschaft“ ca. 35 % der Kohlendioxidemissionen verursacht wurden (siehe Abbildung 4). Die Unterschiede in den Anteilen der einzelnen Emittenten an den Gesamtemissionen beruhen insbesondere auf dem unterschiedlichen Einsatz nuklearer und fossiler Energieträger in den unterschiedlichen Regionen.

Abbildung 4: Anteil einzelner Wirtschaftsbereiche an den Kohlendioxidemissionen in der Bundesrepublik Deutschland (1990)



## 5.2 Analyse historischer Entwicklungen

### 5.2.1 Einsatzmöglichkeiten

Da eine Emittentenstruktur i.d.R. auf historischen Daten beruht, können durch den Vergleich der Daten zu verschiedenen Zeitpunkten historische Entwicklungen analysiert werden. So ist es beispielsweise möglich, die Auswirkungen von strukturellen Veränderungen der Nachfrage der privaten Haushalte sowie der Nachfrage seitens der Produktionssektoren nach Vorleistungsgütern auf ökonomische und ökologische Größen zu untersuchen. Neben Struktureffekten lassen sich durch den komparativ-statischen Vergleich verschiedener historischer Nachfrageszenarien auch die Auswirkungen ökonomischen Wachstums erfassen.

Durch den Vergleich verschiedener Perioden können des weiteren Rückschlüsse auf den historischen Einfluß technischer Veränderungen auf die Emissionen gezogen werden. So ist eine Analyse des Einflusses historischer Veränderungen in der Produktionstechnik möglich, indem man die Nachfrage und die Input-Output-Tabelle (also die Verflechtungsstruktur der Volkswirtschaft) für ein Ausgangsjahr konstant hält, während die Emissionsfaktoren über den zu untersuchenden Zeitraum

fortgeschrieben werden. Vergleicht man die historischen Emissionen des Ausgangsjahres mit den Emissionen, die die Wirtschaftsaktivitäten dieses Jahres mit fortgeschriebenen Emissionsfaktoren verursacht hätten, kann man den Beitrag verbesserter Technik zur Emissionsverminderung bestimmen. Bedingung hierfür ist allerdings, daß auch der Energieträgermix des Ausgangsjahres beibehalten wird.

Durch den komparativ-statischen Vergleich verschiedener Perioden lassen sich zudem die Einflüsse von historischen Veränderungen der sektorspezifischen Energieträgermixe, der Energieverbräuche sowie die Auswirkungen historischer umweltpolitischer Rahmenbedingungen, die die technischen Emissionsfaktoren direkt beeinflussen, auf die Freisetzung von Luftschadstoffen ermitteln.

Grundsätzlich können ökonomische und ökologische Auswirkungen aufgrund von historischen:

1. ökonomischen Strukturveränderungen, durch Verschiebungen zwischen Produktionsbereichen,
2. strukturellen Nachfrageveränderungen,
3. Veränderungen der Nachfragemengen,
4. technologischen Entwicklungen, wie
  - Veränderungen in der Struktur des Energieträgereinsatzes und
  - sonstige emissionsrelevante technische Veränderungen (Effizienzsteigerungen, verbesserte Abgasreinigung etc.) und
5. Veränderungen bestimmter umweltpolitischer Rahmenbedingungen (z.B. veränderte Grenzwerte)

erfaßt werden (vgl. dazu HOHMEYER, 1998: 127).

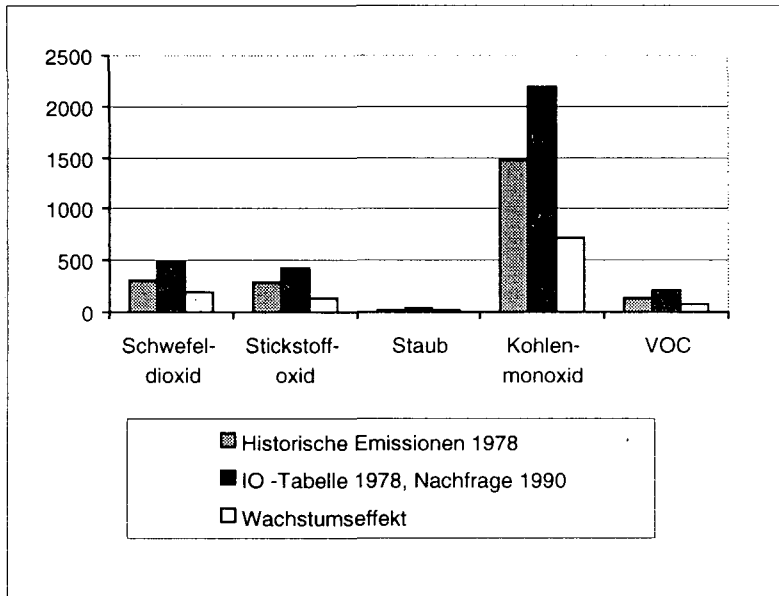
## 5.2.2 Beispiele

### **Beispiel 1: Auswirkungen des historischen ökonomischen Wachstums auf die Emissionen**

Im folgenden wird mit Hilfe der Emittentenstruktur Baden-Württemberg der Einfluß des ökonomischen Wirtschaftswachstums auf die Emissionen berechnet. Hierzu wird der historischen Situation von 1978 ein Szenario gegenübergestellt, in dem die Emissionen berechnet werden, die entstanden wären, wenn 1978 die gleiche Gütermenge wie 1990 nachgefragt worden wäre. Durch den Vergleich mit den

Emissionen von 1978 werden die Auswirkungen des ökonomischen Wachstums einschließlich der Strukturverschiebungen innerhalb der nachgefragten Güter von 1978 bis 1990 auf die Emissionen sichtbar. Der Effekt des historischen Nachfragewachstums von nominal 103% auf die Emissionen ist in der Abbildung 5 für fünf Luftschadstoffe dargestellt.<sup>4</sup>

Abbildung 5: **Auswirkung des ökonomischen Wachstums von 1978 bis 1990 auf die SO<sub>2</sub>-, NO<sub>2</sub>-, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t)**



Wie man anhand von Abbildung 5 erkennt, hat die gestiegene Güternachfrage bei allen ausgewählten Emissionsarten zu einer deutlichen Emissionssteigerung geführt. Dieser Effekt wird bei einer Betrachtung der historischen Emissionsdaten nicht voll sichtbar, da er durch Fortschritte im Bereich der emissionsrelevanten Technologien und Energieträgersubstitution zum Teil kompensiert worden ist.

### Beispiel 2: **Auswirkungen der historischen strukturellen Veränderungen auf die Emissionen**

In diesem Beispiel erfolgt die Berechnung der Emissionen, die entstanden wären, wenn 1978 in Baden-Württemberg c.p. die Vorleistungsstruktur von 1990 vorgelegen

<sup>4</sup> Hierbei wurde lediglich die Nachfrage nach den in Baden-Württemberg produzierten Gütern berücksichtigt.

hätte. Durch den Vergleich des Szenarios bei Unterstellung der Input-Output-Tabelle von 1978, mit demjenigen, in dem die Input-Output-Tabelle von 1990 verwendet wird, können die Auswirkungen der Veränderungen der Vorleistungsstruktur zwischen den Produktionsbereichen auf die Emissionen aufgezeigt werden. Für fünf Luftschadstoffe zeigt Abbildung 6 die Ergebnisse diesbezüglich.

Abbildung 6: **Auswirkung der Veränderung der ökonomischen Struktur zwischen 1978 und 1990 auf die SO<sub>2</sub>- und NO<sub>2</sub>-, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t)**

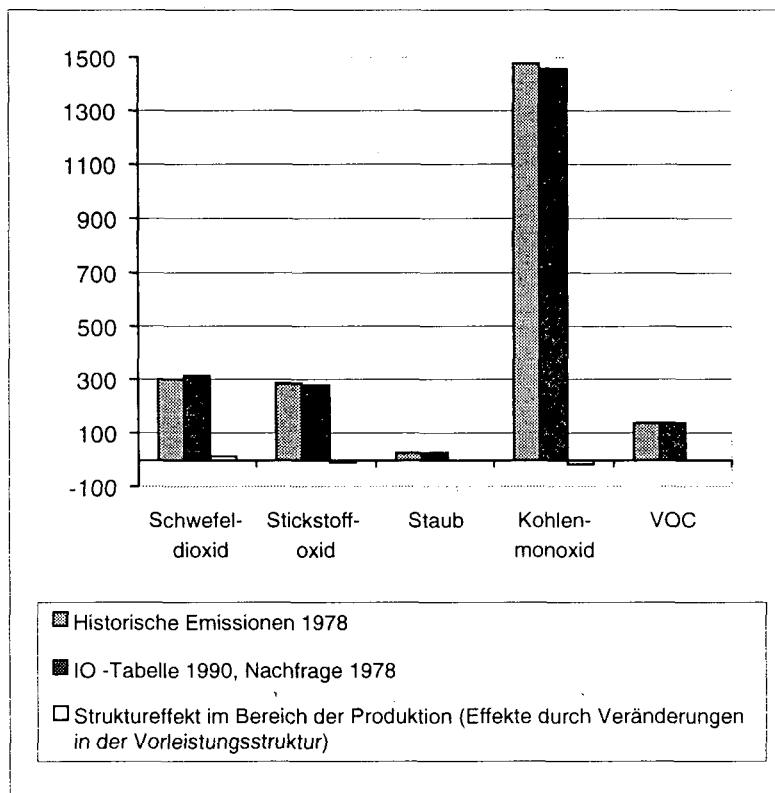
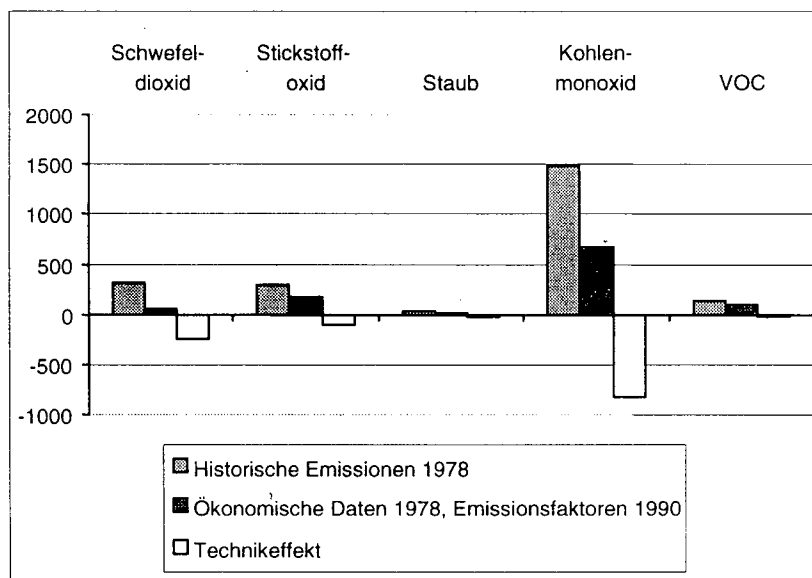


Abbildung 6 zeigt, daß der Struktureffekt zwischen 1978 und 1990 bei den Schwefeldioxidemissionen zu einem leichten Anstieg, bei den anderen Emissionsarten zu einer tendenziellen Verminderung geführt hat. Die Veränderungen der Produktionsstruktur hatten hierbei nur einen relativ geringen Einfluß auf die Entwicklung der Emissionen.

### Beispiel 3: Emissionsänderungen aufgrund historischer technischer Veränderungen im Produktionsbereich

Als drittes Beispiel erfolgt die Berechnung der Emissionen, die sich ergeben hätten, wenn in Baden-Württemberg 1978 die emissionsrelevante Technik von 1990 eingesetzt worden wäre. Durch den Vergleich mit den historischen Emissionen von 1978 kann man auf die Emissionsänderungen schließen, die von diesem technischen Wandel bewirkt wurden. Dabei handelt es sich beispielsweise um Änderungen im Einsatz von End-of-Pipe-Technologien, um Energieträger- und Verfahrenssubstitutionen und eine rationellere Ressourcennutzung.

Abbildung 7: **Technikeffekt zwischen 1978 und 1990 bezüglich der SO<sub>2</sub>-, NO<sub>2</sub>-, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t)**

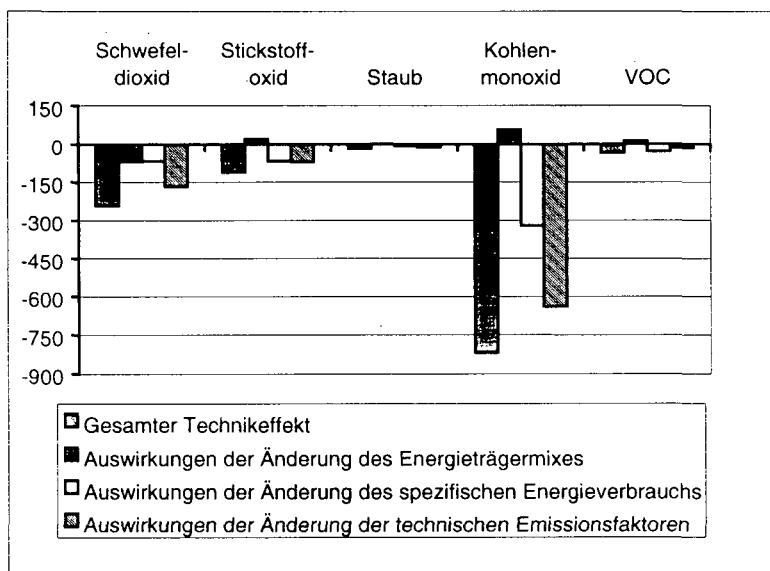


Wie man anhand von Abbildung 7 erkennt, hat der Technikeffekt insbesondere bei den SO<sub>2</sub>- und CO-Emissionen, aber auch bei den übrigen ausgewählten Emissionsarten deutliche Reduktionen bewirkt.

Der gesamte Technikeffekt läßt sich in folgende drei Bereiche aufgliedern: „Technische Emissionskoeffizienten“ (z.B. Einfluß von End-of-pipe-Technologien), „Gewichtung“ (z.B. Energieträgersubstitutionen) und „Verbrauchsmengen“ (z.B. rationelle Energieeinsparung). Der Einfluß dieser drei Bereiche auf die Entwicklung der Emissionen veranschaulicht Abbildung 8. Die Berechnung der Emissionen erfolgt hierbei unter der Annahme, daß 1978 schon der Energieträgermix, der

Energieverbrauch bzw. die technischen Emissionskoeffizienten von 1990 Verwendung gefunden haben.

Abbildung 8: **Auswirkungen der Veränderungen des Energieträgermixes, des Energieverbrauches und der technischen Emissionskoeffizienten auf die SO<sub>2</sub>-, NO<sub>2</sub>-, Stb-, CO- und VOC- Emissionen (in 1000 t)**



Die Unterschiede gegenüber der historischen Situation im Jahre 1978 sind im besonderen Maße auf unterschiedliche technische Emissionsfaktoren zurückzuführen. Die Veränderung der Emissionsfaktoren resultiert u.a. aus dem Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen- und DENOX-Anlagen in Kraftwerken und der Einführung des Drei-Wege Katalysators.

Der negative Einfluß des Energieträgermixes auf die Entwicklung der NO<sub>2</sub>-, CO- und VOC-Emissionen kann größtenteils auf die Zunahme des Verkehrsaufkommens zurückgeführt werden. Eine Abschätzung der seit 1990 realisierten und in Zukunft noch zu realisierenden Emissionsreduktionen zeigt für SO<sub>2</sub>-Emissionen, vor allem aber für NO<sub>2</sub>-Emissionen, noch ganz erhebliche Reduktionspotentiale auf, die bis Ende dieses Jahrhunderts noch realisiert werden können.



---

## **5.3 Analyse direkter und indirekter Emissionen**

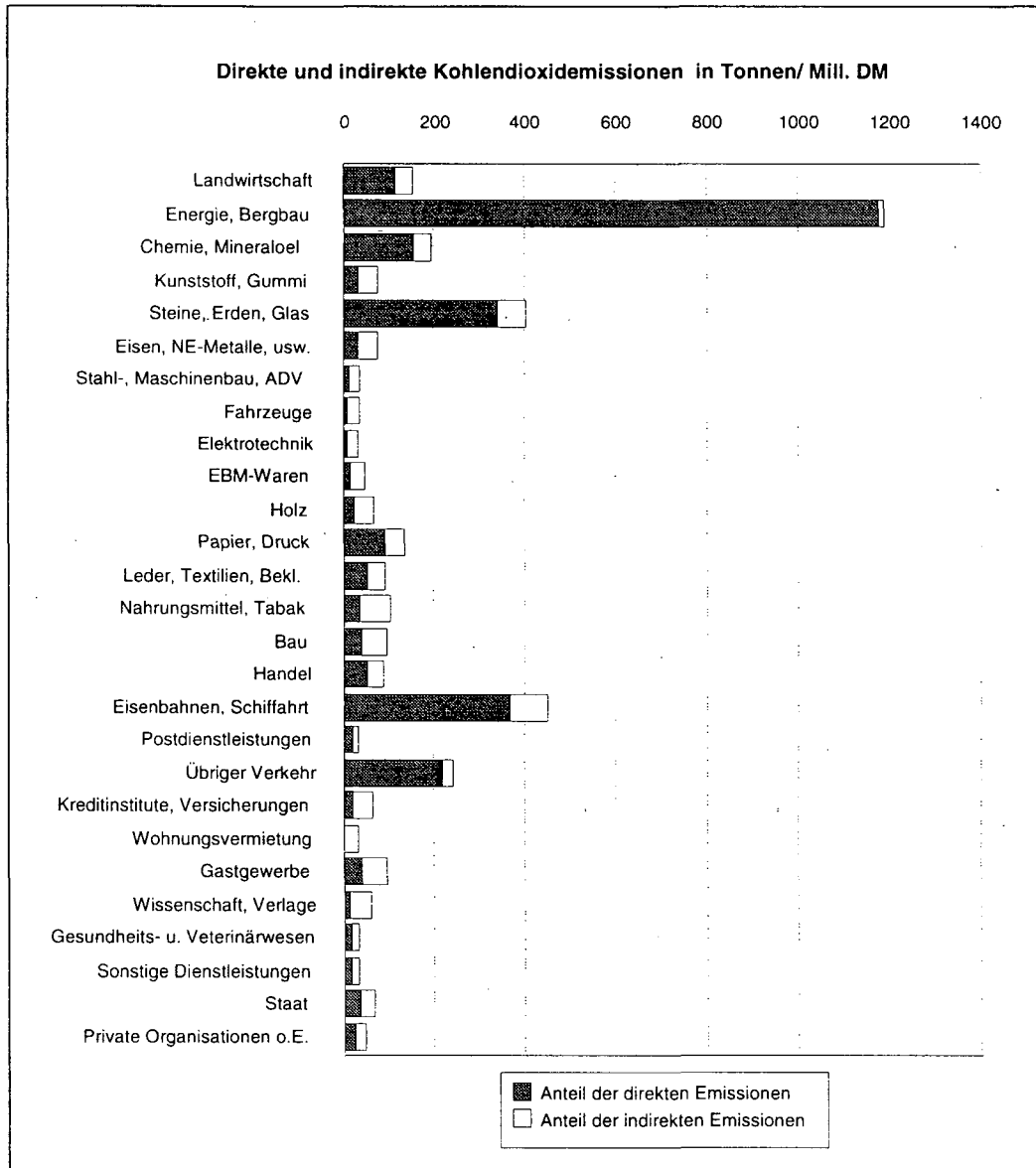
### **5.3.1 Einsatzmöglichkeiten**

Input-Output-Modelle haben den Vorteil, daß sich neben den direkten auch die indirekten Effekte erfassen lassen. Mit einer Emittentenstruktur, die auf einem solchen Modell aufbaut, lassen sich entsprechend sowohl die Emissionen, die direkt bei der Produktion eines Gutes, als auch die Emissionen, die auf den vorgelagerten Produktionsstufen entstehen, erfassen. In der oben beschriebenen Emittentenstruktur Baden-Württemberg werden die indirekten Effekte in den Sektoren ausgewiesen, in denen sie jeweils anfallen.

### **5.3.2 Beispiel**

Im folgenden Beispiel werden die Einsatzmöglichkeiten des Modells zur Analyse der direkt und indirekt durch die ökonomischen Aktivitäten eines Sektors induzierten Emissionen demonstriert. Abbildung 9 zeigt den Umfang der durch ein Nachfrage in Höhe von 1 Mio. DM nach den Gütern des entsprechenden Sektors verursachten direkten und indirekte Kohlendioxidemissionen. Zu beachten ist, daß nur die in Baden-Württemberg anfallenden Kohlendioxidemissionen in dieser Abbildung berücksichtigt werden.

Abbildung 9: Verhältnis der direkten zu den indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg bei einer Nachfrage nach den Gütern des jeweiligen Sektors in Höhe von 1 Mio. DM



Wie man in Abbildung 9 erkennt, variiert das Verhältnis von direkten und induzierten indirekten Emissionen je nach Sektor ganz erheblich. So resultieren die induzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Sektoren „Chemie, Mineralölerzeugnisse“, „Steine, Erden, Glas“ und „Übriger Verkehr“ vorwiegend aus den direkten Produktionsaktivitäten, während die Emissionen der Sektoren „Eisen, NE-Metalle“, „Nahrungsmittel, Tabak“ oder „Wohnungsvermietung“ zum überwiegenden Teil durch die Aktivitäten auf den vorgelagerten Stufen verursacht werden. Abbildung 9 verdeutlicht ferner die Bedeutung der vorgelagerten Branchen bei der Beurteilung der mit der Produktion

---

eines Gutes verbundenen Umweltbelastungen. Entsprechend bietet sich das Modell als Instrument an, um die mit den Vorleistungen von Produkten verbundenen Emissionen abzuschätzen und um Abschneidegrenzen analytisch zu fundieren.

## **5.4 Ökonomische Veränderungen**

### **5.4.1 Einsatzmöglichkeiten**

Mit einer wie oben beschriebenen Emittentenstruktur lassen sich nicht nur historische Entwicklungen analysieren, sondern auch die Wirkungen von zukünftigen Entwicklungen berechnen. So können beispielsweise ökonomische Auswirkungen und die Emissionswirkungen einer Umstrukturierung der Wirtschaft in Richtung auf eine Dienstleistungsgesellschaft, einer Zu- bzw. Abnahme der Exporte, die Auswirkungen einer Veränderung der Nachfrage nach Investitionen und die Auswirkungen einer Veränderung des Nachfrageverhaltens der privaten Haushalte analysiert werden.

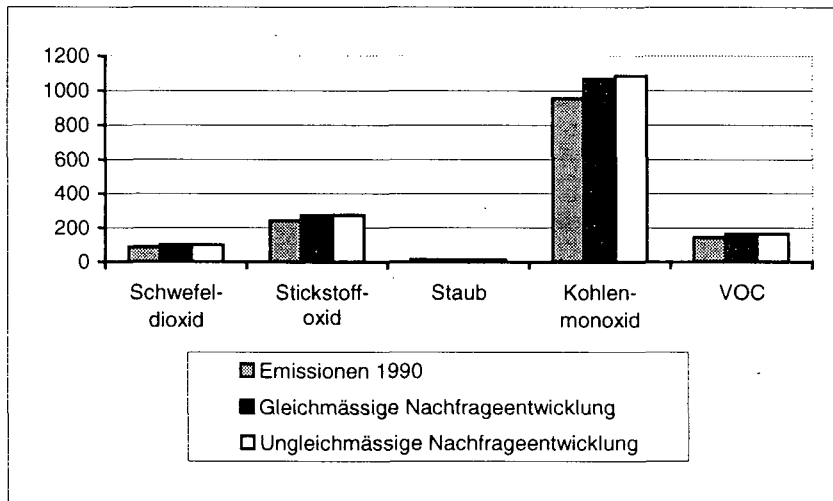
Da es sich bei dem beschriebenen Modell um ein komparativ-statisches Input-Output-Modell handelt, d.h. um ein Modell ohne endogene (innere) Dynamik und ohne Substitutions- bzw. Preiselastizitäten, müssen entsprechend Veränderungen der ökonomischen Größen exogen (von außen) vorgegeben werden. Liegen entsprechende Vorgaben vor, so lassen sich Szenarien erstellen, mit denen man einen Eindruck von den ökonomischen und ökologischen Auswirkungen ökonomischer und technischer Veränderungen erhält.

### **5.4.2 Beispiel**

Im folgenden wird die Nutzung der Emittentenstruktur Baden-Württemberg zur Analyse der Auswirkungen von Nachfrageveränderungen anhand eines fiktiven Beispiels verdeutlicht. In diesem wird untersucht, wie sich eine Umstrukturierung der Endnachfrage durch ein unterproportionales Wachstum im Produzierenden Gewerbe auf die Entwicklung der Emissionen auswirkt. Hierbei wird unterstellt, daß die Nachfrage im Produzierenden Gewerbe um 5%, die restliche Nachfrage um 20% steigt. Eine derartige Wachstumsstruktur könnte sich z.B. bei einer negativen Entwicklung der Grundstoffproduktion, einer verhaltenen Entwicklung im Bereich der

Investitionsgüter und einer stark expansiven Entwicklung im Bereich der Dienstleistungen ergeben.

Abbildung 10: **Veränderung der Emissionen bei einer Zunahme der Nachfrage nach den Gütern des Produzierenden Gewerbes um 5 % und der restlichen Nachfrage um 20 % im Vergleich zu der Veränderung der Emissionen bei einem gleichmäßigen Nachfrageanstieg um 12 % (in 1000 t)**



Aufgrund des unterstellten Wachstums der Nachfrage steigen in beiden Szenarien die Emissionen gegenüber der historischen Situation von 1990 an. Allerdings steigen in dem Szenario mit der ungleichmäßigen Nachfrageentwicklung die Emissionen stärker an als in dem Szenario mit der gleichmäßigen Entwicklung. Der unterschiedliche Emissionsanstieg ist u.a. auf die Zunahme des Verkehrs und die Abnahme der industriellen Emissionen zurückzuführen.

## 6 Einschränkungen

Wie in Kapitel 5 gezeigt, kann eine Emittentenstruktur für eine Vielzahl von Fragestellungen eingesetzt werden. Aus der Verfügbarkeit des Datenmaterials sowie aus dem zugrundeliegenden Modell resultieren jedoch einige Einschränkungen:

Grundsätzlich basiert eine Emittentenstruktur auf einer Vielzahl von Statistiken, die i.d.R. nach unterschiedlichen Kriterien gegliedert sind. Um diese miteinander verknüpfen zu können, bedarf es Umschlüsselungen. Da zu diesem Zweck teilweise Informationen notwendig sind, die nicht offiziell verfügbar sind (z.B. aus Datenschutzgründen), kann es so zu Ungenauigkeiten kommen.

Wie das Beispiel von Baden-Württemberg zeigt, sind die verschiedenen offiziellen Statistiken teilweise unvollständig bzw. nur eingeschränkt verwendbar. Zudem weisen die einzelnen Statistiken eine erheblich unterschiedliche Datenqualität auf.

Während für die Emissionsfaktoren lange und konsistente Zeitreihen vorliegen, bestehen Unsicherheiten bezüglich der Angaben über den sektoralen Energieverbrauch. Wie Vergleiche verschiedener Energiestatistiken zeigen, kann es bei diesen Statistiken leicht zu Inkonsistenzen kommen. Problematisch sind hierbei vor allem Teilbereiche des Kleinverbrauchs und die Berücksichtigung des Energieverbrauchs im Flugverkehr.

Im Bereich Abfall, der in der oben beschriebenen Emittentenstruktur Baden-Württemberg nicht berücksichtigt wurde, bestehen große Unsicherheiten bezüglich des vorhandenen Datenmaterials. So sind insbesondere im Bereich des Bauschutts und des Hausmülls große Nachweislücken zu verzeichnen (vgl. dazu SRU, 1991: 153).

Besonders schlecht stellt sich zur Zeit die Datensituation für den Bereich der Emissionen von Abwasser und Abwasserinhaltsstoffen dar. Flächendeckend stehen hier nur Koeffizienten für vier Abwasserkategorien zur Verfügung.

Für alle Emissionsarten gilt, daß für verschiedene Teilbereiche der Volkswirtschaft in sehr unterschiedlichem Maße Daten über sektorspezifische Emissionen verfügbar sind. Generell ist die Datensituation im Bereich des Produzierenden Gewerbes, insbesondere was das Verarbeitende Gewerbe betrifft, sehr gut und differenziert. Sowohl im Dienstleistungsbereich als auch in den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei sind die verfügbaren Informationen wesentlich stärker

aggregiert oder werden teilweise aufgrund des hohen Erfassungsaufwands für kleine Betriebe statistisch nicht erhoben.

Bei dem im Kapitel 2 beschriebenen Modell handelt es sich um ein durch Emissionskoeffizienten erweitertes statisches Input-Output-Modell. Da dieses Modell an der Gliederung der Input-Output-Tabellen ausgerichtet ist, besteht lediglich eine eingeschränkte Anwendbarkeit zur Bearbeitung umweltpolitischer Fragestellungen. So wird in den Input-Output-Tabellen weder ein Bereich der Umweltdienstleistungen (wie z.B. öffentliche Kläranlagen, Müllverbrennungsanlagen oder Deponien) noch ein Bereich Recycling als eigenständiger Sektor ausgewiesen. Auch erfolgt keine Untergliederung in andere für umweltpolitische Fragestellungen besonders interessante Sektoren.

Wie unter Abschnitt 2.4 beschrieben, lassen sich mit dem der Emittentenstruktur zugrunde liegenden Modell neben den direkten auch die indirekten Effekte von Veränderungen der Endnachfrage erfassen. Grundsätzlich können auch die Auswirkungen von Veränderungen der Inputstruktur bzw. der Nachfrage seitens der Produktionssektoren durch die exogene Vorgabe einer entsprechend veränderten Input-Output-Tabelle modelliert werden. Hierdurch lassen sich auch die direkten Auswirkungen der Veränderung der Produktionstechnik auf die Emissionen des jeweiligen Sektors untersuchen.

Durch die Annahme fixer Produktionskoeffizienten sowie durch das Fehlen von Substitutionselastizitäten können Substitutionseffekte nur durch die exogene Vorgabe eines Entwicklungspfades dargestellt werden. Auch bei den Emissionen wird ein konstantes Verhältnis zwischen dem Bruttoproduktionswert und den bei der Produktion entstehenden Emissionen unterstellt. Es kann jedoch nicht immer davon ausgegangen werden, daß sich die Emissionen um den gleichen Faktor ändern wie sich die Produktion ändert. So steigen z.B. im Bereich Verkehr die Kohlendioxidemissionen überproportional an, wenn mit dem gleichen Kapitalbestand des Sektors (in diesem Fall Personenkraftwagen und Lastkraftwagen) mehr Output (in Form von km/h) erzeugt wird (vgl. dazu UMWELTBUNDESAMT, 1989: 128).

Zudem werden die Anwendungsmöglichkeiten durch das Fehlen von dynamischen Komponenten im ökonomischen Modell beschränkt. So können dynamische Entwicklungen nur durch die exogene Vorgabe von Entwicklungspfaden dargestellt werden. Aufgrund des Fehlens von Preis- bzw. Substitutionselastizitäten bleiben

---

Wechselwirkungen zwischen Veränderungen der Nachfrage und Veränderungen der Struktur der Produktion unberücksichtigt.

Nach Meinung von HOHMEYER ET AL. (1998: 149) sind „... *die vermeintlich 'besseren' Ergebnisse der dynamischen Modellierung mit sehr viel größeren und vor allem nicht mehr zu überschauenden Fehlermargen behaftet.*“ Zudem zeichnen sich dynamische Modelle häufig durch nicht mehr zu überschauende Wechselwirkungen aus. Der Ausbau einer Emittentenstruktur zu einem dynamischen Modell ist entsprechend nur eingeschränkt sinnvoll.

Trotz dieser Einschränkungen bietet das Input-Output-Modell eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Analyse von Entwicklungen und zur Durchführung einfacher „Wenn-dann-Analysen“ (vgl. Kapitel 5).

## 7 Zusammenfassung

Auf Anregung des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen beauftragte das Umweltbundesamt 1988 das ISI mit der Errichtung einer Datenbank, mit der die Auswirkungen ökonomischer Aktivitäten auf die Umwelt erfaßt werden können. In Anlehnung an die Begriffswahl des SRU wurde die Datenbasis inklusive des mit ihr verknüpften ökonomischen Modells als Emittentenstruktur bezeichnet. Um eine solche Emittentenstruktur erstellen zu können, sind eine Vielzahl von Informationen erforderlich. So sind, um die Auswirkungen unterschiedlicher Entwicklungen und Aktivitäten auf die Umwelt untersuchen zu können, neben Angaben über die entstehenden Umweltbelastungen auch solche über deren Ursachen notwendig. Hierzu gehören insbesondere Informationen über die ökonomischen Aktivitäten in den einzelnen Wirtschaftsbereichen. Sowohl die ökonomischen Daten als auch die Angaben über die entstehenden Umweltbelastungen sollten hierbei die tatsächliche Situation widerspiegeln, einen hohen Disaggregationsgrad aufweisen, möglichst genau und aktuell sein. Außerdem sollten die Daten allgemein verfügbar sein, damit sie verifiziert werden können.

Durch die Verwendung von Input-Output-Tabellen als Basis für eine Emittentenstruktur können neben den direkt durch ökonomische Aktivitäten entstehenden Umweltbelastungen auch die induzierten Effekte, d.h. die Effekte, die durch den Bedarf an Vorleistungsgütern entstehen, ermittelt werden. Um die entstehenden Umweltbelastungen möglichst vollständig erfassen zu können, ist deshalb die Verwendung von Input-Output-Tabellen unumgänglich.

Auf Bundesländerebene liegen derzeit nur eingeschränkt zuverlässige Daten vor, mit denen regionale Emittentenstrukturen erstellt werden können. So werden zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland auf Bundeslandebene nur für Baden-Württemberg in regelmäßigen Abständen Input-Output-Tabellen erstellt. Wie das Beispiel von Baden-Württemberg zeigt, liegen auf Länderebene zwar eine Vielzahl von Statistiken vor, die als Basis für die Ermittlung der durch ökonomische Aktivitäten induzierten Emissionen im Luftbereich verwendet werden könnten, die Statistiken eignen sich jedoch nur eingeschränkt für den Aufbau einer Emittentenstruktur, da in den Tabellen eine Vielzahl von Informationen nur in aggregierter Form ausgewiesen wird, die Zuordnung der Wirtschaftsbereiche in diesen Statistiken i.d.R. von der für die Input-



Output-Tabellen verwendeten Systematik abweicht bzw. die Statistiken aus Datenschutzgründen Lücken aufweisen, die nur durch Informationen aus nationalen Statistiken bzw. mittels Plausibilitätsüberlegungen geschlossen werden können.

Wie das Beispiel „Emittentenstruktur Baden-Württemberg“ zeigt, kann eine Emittentenstruktur für eine Vielzahl von regionalen und nationalen Fragestellungen eingesetzt werden.

Eingeschränkt werden die Analysemöglichkeiten durch die Menge und Qualität des zur Verfügung stehenden Datenmaterials sowie durch die Annahmen, die hinsichtlich des der Emittentenstruktur zugrunde liegenden Input-Output-Modells getroffen werden.

## 8 Literatur

- ANGERER, G., E. BÖHM, M. SCHÖN UND W. TÖTSCH (1990), *Möglichkeiten und Ausmaß der Minderung von Luftschadstoffen durch den Einsatz neuer Technologien*, Karlsruhe.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (AGE) (1994), *Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland*, VWEW, Frankfurt.
- BAYRISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (1998), *Statistisches Jahrbuch für Bayern*, München.
- BECK, B. (1989), Energieversorgung und -verbrauch, *Baden-Württemberg in Wort und Zahl* 37 (2), 66-71.
- EMEP/CORINAIR (1996), *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, EPA, Kopenhagen.
- GRASKAMP, R., M. HALSTRICK-SCHWENK, R. JANßEN-TIMMEN, K. LÖBBE, UND M. WENKE (1992), *Umweltschutz, Strukturwandel und Wirtschaftswachstum*, Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 4, Essen.
- GRETZ-ROTH, V. (1989), Input-Output-Analysen für Hessen - Methodische Konzepte und empirische Ergebnisse, *Allgemeines Statistisches Archiv* 73, 346-366.
- HÄRTEL, H.-H., K. MATTHIES UND M. MOUSLY (1987), *Zusammenhang zwischen Strukturwandel und Umwelt*, Spezialuntersuchung 2 im Rahmen der HWWA-Strukturberichterstattung, Hamburg.
- HOHMEYER, O. ET AL. (1992), *Methodenstudie zur Emittentenstruktur in der Bundesrepublik Deutschland - Verknüpfung von Wirtschaftsstruktur- und Umweltbelastungsdaten*, Abschlußbericht, Karlsruhe.
- HOHMEYER, O., S. VÖGELE, R. BRÄUTIGAM UND R. FINGER (1998), *EMI 2.0 - Erstellung eines disaggregierten Modells zur Analyse direkter und indirekter Wirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten auf die Emissionen von Luftschadstoffen, Abwässern und Abfällen*, Endbericht für das Umweltbundesamt, Mannheim.
- LEHBERT, B. (1970), *Bedeutung und Auswertung regionaler Input-Output-Tabellen*, Kieler Studien, 105, Tübingen.
- MAYER, H. UND C. STAHLER (1989), *Energy Consumption and Sulphur Dioxide Emissions in the Federal Republic of Germany in 1980 and 1986*, Ninth International Conference on Input-Output-Techniques, Keszthely Hungary, 4. - 9. September 1989.
- MÜLLER, J.H. ET AL. (1967), Probleme der Wirtschaftsstruktur des Saarlandes, in: *Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl - Hohe Behörde, Regional- und wirtschaftspolitische Studienreihe, 2. Entwicklungs- und Umstellungsprogramme IX*, Luxemburg.

- MÜNZENMAIER, W. (1993a), Erstellung regionaler Input-Output Tabellen – Erfahrungen aus der Sicht von Baden-Württemberg, in: *HWWA: Workshop Regionale Input-Output Analyse - Nutzen und Probleme*, HWWA-Report Nr. 118, Hamburg.
- MÜNZENMAIER, W. (1993b), Input-Output Tabellen 1978-1988, in: *Jahrbuch Baden-Württemberg 1992*, 181-192.
- MÜNZENMAIER, W. (1995), Input-Output Tabellen 1990, *Baden-Württemberg in Wort und Zahl* 43 (6), 235-241.
- OLGEMANN, W. (1984), Zur Revision der Energiebilanzen, *Baden-Württemberg in Wort und Zahl* 32 (6), 185-191.
- RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (1987), *Umweltgutachten 1987*, Stuttgart.
- RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (1991), *Sondergutachten Abfallwirtschaft 1991*, Stuttgart.
- STÄGLIN, R. (1990), Input-Output-Relationen für Nordrhein-Westfalen als Grundlage eines Strukturvergleichs mit der Bundesrepublik, in: *Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung* Heft 2/3, DIW, Berlin.
- STAHMER, C. (1979), Verbindung von Ergebnissen der herkömmlichen Sozialprodukts-berechnung und der Input-Output-Rechnung: Überleitungsmodell des Statistischen Bundesamtes, *Allgemeines Statistisches Archiv* 63 (4), 340 ff..
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1986a), *Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1983*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 2.1, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1986b), *Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung 1983*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 2.2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1989), *Input-Output-Tabellen 1978 bis 1986*, Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“, Reihe 2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1990a), *Input-Output-Tabellen 1985 bis 1988*, Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“, Reihe 2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1990b), *Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1987*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 2.1, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1990c), *Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung 1987*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 2.2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1991a), *Öffentliche Abfallbeseitigung 1987*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 1.1, Stuttgart.

- STATISTISCHES BUNDESAMT (1991b), *Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern 1987*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 1.2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1994a), *Öffentliche Abfallbeseitigung 1990*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 1.1, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1994b), *Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern 1990*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 1.2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1994c), *Input-Output-Tabellen 1986 bis 1990*, Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“, Reihe 2, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1995a), *Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1991*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 2.1, Stuttgart.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1995b), *Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung 1991*, Fachserie 19 „Umweltschutz“, Reihe 2.2, Stuttgart.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (StaLa-BW) (1995), *Energiebilanzen 1973/93*, Statistik von Baden-Württemberg, Bd. 493, Stuttgart.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (StaLa-BW) (1997), *Energieversorgung und -verbrauch 1984 bis 1995*, Statistik von Baden-Württemberg, Bd. 516, Stuttgart.
- THÜRINGER MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND INFRASTRUKTUR (1998), *Energiebericht Thüringen*, Erfurt.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1989), *Jahresbericht 1989*, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1991), Schriftliche Mitteilung.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1997), *Daten zur Umwelt: Der Zustand der Umwelt in Deutschland*, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1998), Schriftliche Mitteilung.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WUERTTEMBERG (1997), *Energiebericht '96*, Stuttgart.
- WESSEL, H. (1968), Regionale Input-Output Studien in der Bundesrepublik Deutschland, in: *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung* Erstes Heft, DIW, Berlin.

