

UBA-BE-044

**GEMIS  
GESAMT – EMISSIONSMODELL INTEGRIERTER  
SYSTEME**

**Adaptierung für Österreich**

BERICHTE



**GEMIS  
GESAMT-EMISSIONSMODELL INTEGRIERTER  
SYSTEME**

**Adaptierung für Österreich**

**UBA-BE-044**

Wien, Oktober 1995

Bundesministerium für Umwelt



Autoren: Franz Meister  
Heidi Adensam

**Impressum:**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, Oktober 1995

Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-271-9

**I N H A L T**

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Zielsetzungen von GEMIS</b>	<b>1</b>
<b>2.1. Umweltanalyse</b>	<b>3</b>
2.1.1. Quantitative Umweltaspekte	3
2.1.2. Qualitative Umweltaspekte	3
<b>2.2. Kostenanalyse</b>	<b>4</b>
2.2.1. Interne Kosten	4
2.2.2. Externe Kosten	4
<b>3. Methodik von GEMIS</b>	<b>5</b>
<b>4. Nutzungsmöglichkeiten von GEMIS</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Vorzüge von GEMIS gegenüber bisheriger Emissionsabschätzungen</b>	<b>8</b>
Berücksichtigung „ökologischer Rucksäcke“	8
Angebots- und Nachfrageseitige Maßnahmen können analysiert werden	8
Schnelle und unkomplizierte Handhabung komplexer Zusammenhänge	8
Berücksichtigung rekursiver Vorgänge	9
Einheitliches Werkzeug zur Emissionsberechnung	9
Einfache ökonomische Berechnungen	9
<b>4.2. Mögliche GEMIS-Anwendungen und potentielle GEMIS-Nutzer</b>	<b>9</b>
Klimaschutzstrategien	9
Energiekonzepte von Bund, Länder und Gemeinden	10
Betriebliche Umweltkonzepte	10
Stoffstrommanagement	10
Potentielle GEMIS-Nutzer	10
<b>4.3. Anwendungsbeispiele</b>	<b>11</b>
<b>4.4. Überblick über die bisherigen GEMIS-Anwendungen</b>	<b>13</b>
<b>5. Geplante Weiterentwicklungen von GEMIS</b>	<b>15</b>
Literatur	15
<b>6. Stand der GEMIS-Anpassungen für Österreich</b>	<b>16</b>

# **GEMIS**

## **Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme**

Die vorliegende Broschüre enthält Informationen bezüglich der Zielsetzungen, Methodik und Anwendungsmöglichkeiten des Computermodells GEMIS und präsentiert eine Vorgehensweise zur Anpassung für Österreich.

Obwohl zu den möglichen Anwendungsbereichen neben den Energiesystemen auch Verkehrs- und Materialsysteme zählen, ist vorläufig eine detaillierte Anpassung lediglich im Strom- und Wärmebereich geplant. Verkehrs- und Materialsysteme sind nur soweit einzubeziehen, als eine Anpassung zur Darstellung des Energiebereichs notwendig ist. Bei erfolgreicher Implementierung und Anwendung der GEMIS-Österreich Version, sind jedoch weitere Anpassungen anzustreben.

## 1. Einleitung

Das Computermodell GEMIS - Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme wurde vom ÖKO-Institut Darmstadt gemeinsam mit der Gesamthochschule Kassel im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten entwickelt.

Ausschlaggebend für die Entwicklung von GEMIS war, daß die heutige Energiepolitik und -wirtschaft auf allen Entscheidungsebenen neben der Ökonomie und der Sozialverträglichkeit zunehmend auf die Umweltverträglichkeit Bedacht nehmen muß.

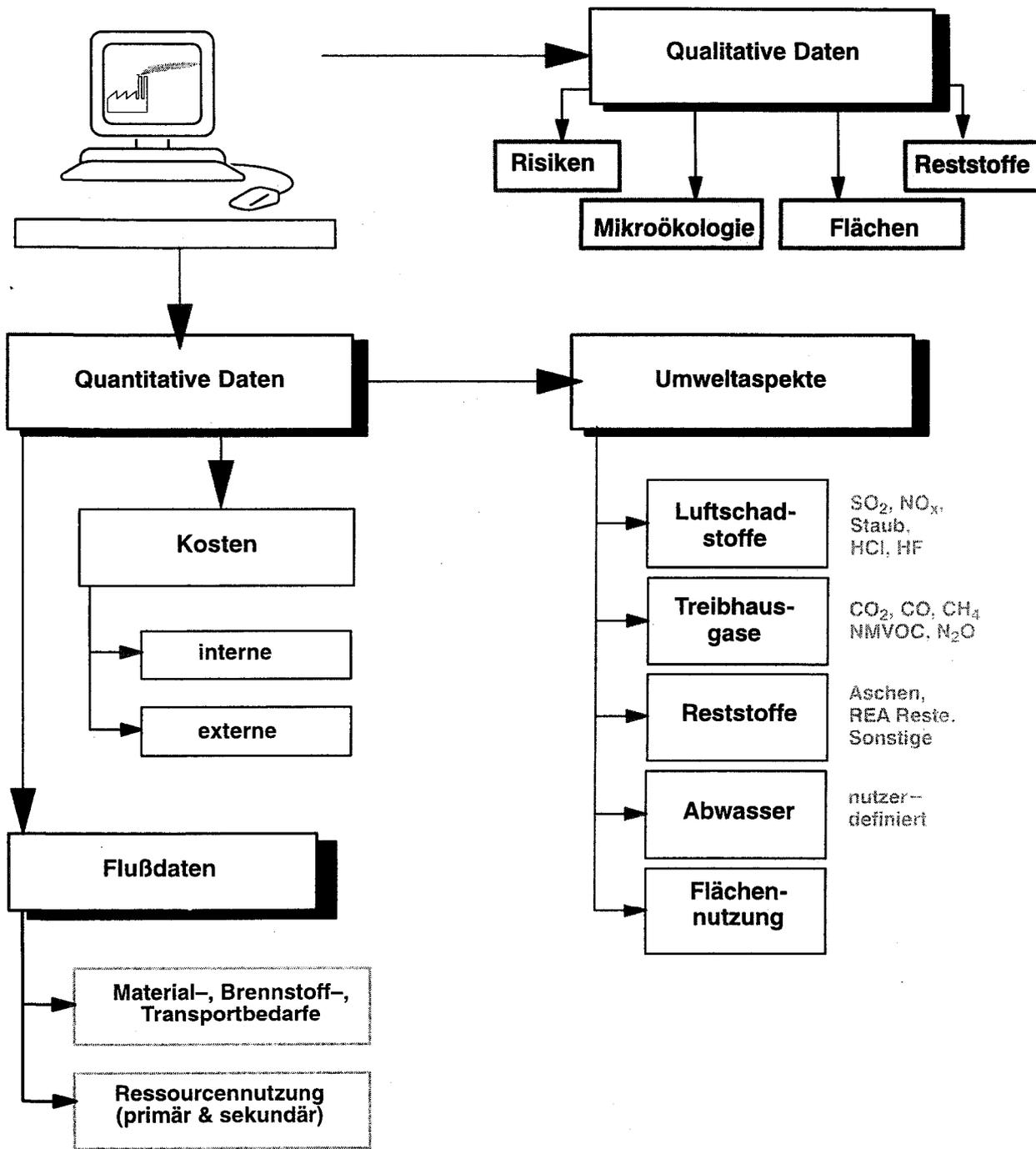
Sowohl für grundlegende energiepolitische Entscheidungen wie auch für Planungen der Energiewirtschaft und regulierende Maßnahmen des Staates ist es daher unerlässlich, über möglichst objektive, am gegenwärtigen Kenntnisstand orientierte Daten zu Umwelt- und Kostenaspekten unterschiedlicher Energiesysteme sowie über ein methodisch klares Verfahren zum Vergleich dieser Umweltaspekte zu verfügen.

GEMIS ist ein computergestütztes Instrument, welches mit Hilfe methodisch klarer Verfahren und auf Basis transparenter und umfassender Daten quantitative und qualitative Beurteilungen von Energiesystemen im Hinblick auf deren Umweltverträglichkeit und Kosteneffizienz erlaubt.

## 2. Zielsetzungen von GEMIS

GEMIS ist ein Computermodell mit Datenbank zur **Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Verkehrs- und Materialbereitstellungsprozessen**. Alle relevanten Aktivitäten der Bereitstellung von Energie- und Transportdienstleistungen sowie die Material- und Hilfsproduktherstellung sind einbezogen, da die bereitgestellten Güter (Energiedienstleistungen, Baumaterialien usw.) bis hin zu den Ressourcen (z. B. Ölförderung, Erzgewinnung) untersucht werden. Sämtliche Energie-, Transport- und Materialprozesse sind integriert, d. h. Energie-Prozeßketten können direkt mit Transport- und Materialprozessen gekoppelt werden.

Abbildung 1: GEMIS



**Anmerkung:**  
 Alle quantitativen Aspekte werden bestimmt für ihre **lokalen** **globalen** Anteile

Quelle: Broschüre „Globaler Stoffwechsel“, Institut für angewandte Ökologie, Freiburg, Darmstadt, Berlin

## 2.1. Umweltanalyse

### 2.1.1. Quantitative Umweltaspekte

Im Rahmen der Umweltanalyse werden sowohl **quantitative** als auch **qualitative Umweltaspekte** konsistent erfaßt und integriert.

Die Ausprägung **quantitativer Umweltaspekte** ist auf *numerische Werte* beschränkt und für die Ermittlung des Wertes können *klare Berechnungsvorschriften* angegeben werden, die - gegebenenfalls mit benennbaren Fehlertoleranzen - zu einem exakten Ergebnis führen.

Zu den quantitativen Umweltaspekten zählen

- Luftschadstoffe SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Staub, HCl, und HF
- Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NMVOC, N<sub>2</sub>O
- feste Reststoffe, z. B. Aschen, REA-Reste
- Flächennutzung
- Nutzerdefinierte Umweltaspekte (z. B. Abwasser, Aldehyde, FCKW, usw.)

### 2.1.2. Qualitative Umweltaspekte

Nicht alle Umwelteffekte lassen sich bilanzmäßig erfassen, da sich einige wichtige Aspekte einer sinnvollen Quantifizierung entziehen. Diese **qualitativen** Aspekte reichen von teilquantifizierbaren Aspekten (z. B. der Flächeninanspruchnahme) bis hin zu bloß benennbaren Aspekten. Diese Umweltwirkungen sind meist stark situationsabhängig (Standort, Umgebung) und nehmen daher bei generellen Aussagen eher den Charakter von Möglichkeiten an, während quantitative Aspekte bei einem bestimmten technischen Stand der Anlagen notwendigerweise auftreten. Zu den qualitativen Aspekten zählen unter anderem Unfallrisiken bei Bau und Betrieb von Energiesystemen und die Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten.

## **2.2. Kostenanalyse**

### **2.2.1. Interne Kosten**

In GEMIS ist eine einfache Kostenrechnung implementiert. Für jeden Energie-, Verkehrs- und Materialprozeß werden

- Investitionskosten
- Brennstoffkosten und
- sonstige Betriebskosten

erfaßt. Diese Kostengrößen werden herangezogen, um auf Basis der Nutzungsdauer und eines einheitlichen Zinssatzes die jährlichen Annuitäten („Jahreskosten“) der einzelnen Prozesse und der bereitgestellten Nutzenergie zu errechnen. Die Reichweite der Kostenbilanzierung kann vom Anwender selbst bestimmt werden.

Durch diese vereinfachte Berechnung von Energiekosten bzw. der Wirtschaftlichkeit von Anlagen kann ein grobes Bild der „ökonomischen“ Seite von Energieplanungen angeboten werden und neben der ökologischen auch die ökonomische Effizienz energiepolitischer Maßnahmen beurteilt werden.

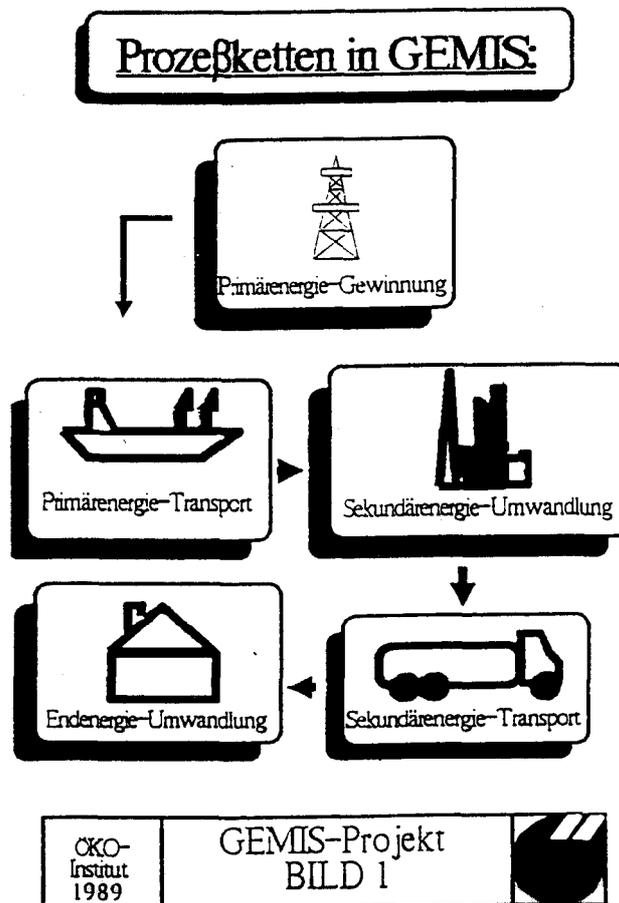
### **2.2.2. Externe Kosten**

Für jeden Schadstoff können externe Kosten (z. B. öS/t CO<sub>2</sub>-Emission) angegeben werden, die mit den von GEMIS errechneten Schadstoffmengen (z. B. t CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Stromerzeugung in Österreich) multipliziert werden. Neben den internen (betriebswirtschaftlichen) Kosten können mit Hilfe von GEMIS daher auch Abschätzungen bezüglich der externen Kosten der Bereitstellung von Energie und anderen Gütern getroffen werden.

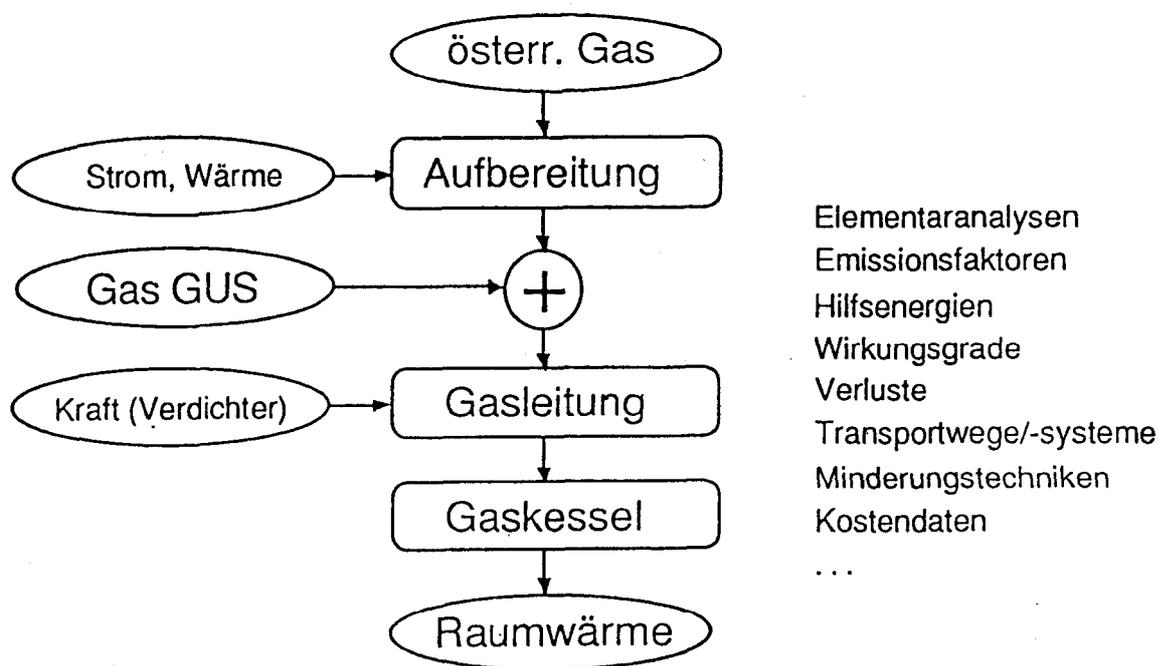
### 3. Methodik von GEMIS

In vielen Untersuchungen zu Umweltaspekten der Energienutzung werden allein die Schadstoffe betrachtet, die bei der Umwandlung von Endenergie zu Nutzenergie freigesetzt werden. Hierbei wird vernachlässigt, daß zusätzlich Emissionen für die Bereitstellung der Endenergie entstehen: z. B. muß die im Heizkessel eingesetzte Ölmenge vor der Nutzung erst gefördert, in Raffinerien umgewandelt und zum Öltank im Haus transportiert werden, wobei jeweils Schadstoffe emittiert werden. Als methodische Basis zur Erfassung der Gesamtemissionen gilt die **Prozeßkettenanalyse**: ein Energiesystem wird, ausgehend von der Primärenergiegewinnung, über Transport- und Umwandlungsschritte bis hin zur Nutzenergie in einzelne Stufen zerlegt. Die Gesamtheit aller Anlagen, die zur Bereitstellung von Nutzenergie aus einem bestimmten System dienen - seien es Bohrtürme, Tanker, Raffinerien oder Feuerungsanlagen - wird als Prozeßkette bezeichnet (siehe Abbildung 2 und 3).

Abbildung 2: GEMIS-Prozeßkette



Quelle: Fritsche, U., Umweltbewertung von Energiesystemen in Energie-Sparen - Handbuch für rationelle Energienutzung in Kommune und Industrie, Hrsg. Dr. Peter Hennicke und Gotelind Alber, 1991

**Abbildung 3: GEMIS-Prozeßkette**

© Österreichisches Ökologie-Institut

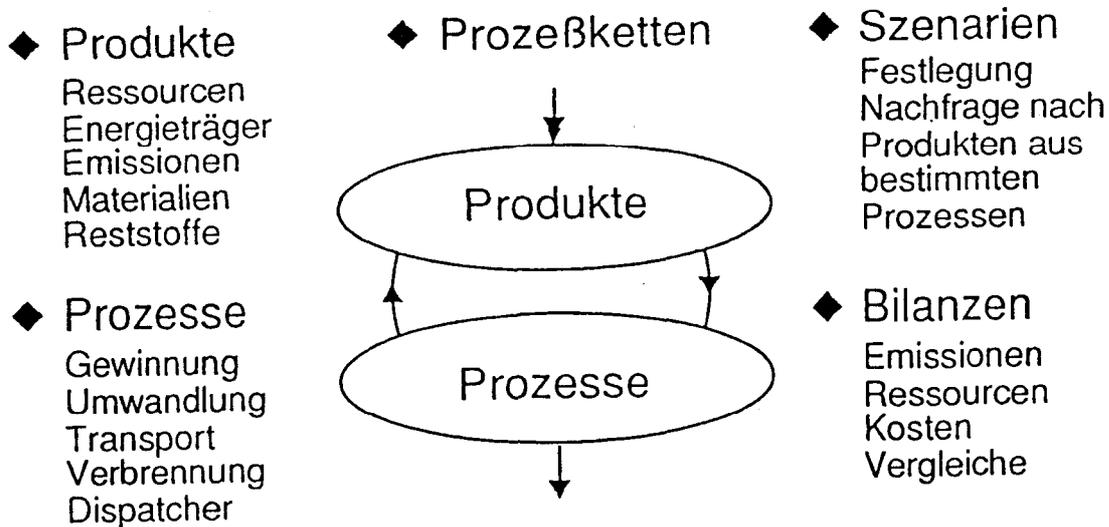
Quelle: Bertsch, E., Treibhausgas-Emissionsbilanz Villach, Studie im Auftrag der Klimabündnisstadt Villach, Wien 1994

Prozeßketten bestehen in GEMIS aus Produkten und Prozessen:

**Produkte** sind Energieträger, Ressourcen und Materialien, welche in die jeweiligen Prozesse eingehen. Produkte werden durch ihre Elementaranalyse, Kostendaten und qualitative Bewertungen beschrieben.

**Prozesse** sind Vorgänge, die Produkte gewinnen, umwandeln, verarbeiten, transportieren usw. Prozesse sind durch Ein- / und Ausgangsprodukte, Wirkungsgrade, Hilfsprozesse, Emissionsfaktoren, Reststoffe, usw. definiert und bilden die Grundelemente der Prozeßketten.

### Abbildung 4: Produkte, Prozesse und Prozeßkette



© Österreichisches Ökologie-Institut

Quelle: Bertsch, E., Treibhausgas-Emissionsbilanz Villach, Studie im Auftrag der Klimabündnisstadt Villach, Wien 1994

Bei der auf Prozeßketten orientierten Betrachtungsweise kann es zu **Rekursionen** kommen (z. B. wird zur Stromerzeugung Kohle benötigt, die mit der Bahn zum Kraftwerk transportiert wird, wobei die Bahn zum Transport Strom benötigt), die GEMIS bis zu einer vorgegebenen Genauigkeit iteriert.

Wird ein Produkt von mehreren Prozeßketten bereitgestellt, so wird mit Hilfe eines **Dispatchers** die Aufbringung dieser Produkte modelliert (z. B. wird Strom zu 30 % aus Wasserkraftwerken und 70 % aus kalorischen Kraftwerken gewonnen).

In einem **Szenario** wird die Nachfrage nach bestimmten Produkten (z. B. derzeit in Österreich nachgefragte Endenergieträger) festgelegt, um die Gesamtemissionen, den Ressourcenverbrauch und die Kosten der Nachfrage zu bestimmen. Unterschiedliche energiepolitische Maßnahmen führen zu unterschiedlichem Energieträgereinsatz und damit zu unterschiedlichen Szenarien. Emissionen, Ressourcenverbrauch und Kosten dieser Szenarien könnten mit GEMIS errechnet und verglichen werden.

## ***Berechnungsmethode***

Die Berechnung der quantifizierbaren Umweltaspekte einzelner Energiesysteme erfolgt dem Grundsatz nach recht einfach, methodische Fragen sind nicht mehr umstritten: ausgehend von brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren werden durch Verrechnung der Wirkungsgrade der Energieanlagen und anderer Verluste nutzenergiebezogene Größen ermittelt, die dann durch Multiplikation mit der nachgefragten Nutzenergie zu Jahresemissionen weiterverrechnet werden. Die Verwendung der Prozeßkettenanalyse erlaubt die Einbeziehung aller relevanten Verfahrensschritte von der Primärenergiegewinnung bis zur Nutzenergie, sogar unter Einrechnung der zur Herstellung der Anlagen erforderlichen Energie- und Emissionsmengen.

Bei Energiesystemen, die mehrere Nutzenergien anbieten (Kraft-Wärme-Kopplung), muß durch Konventionen eine Abgrenzung und Normierung auf eine Nutzenergieform erfolgen. Z. B. kann das Produkt Wärme als Nutzenergieform gewählt werden, wobei unterstellt wird, daß der gleichzeitig bereitgestellte KWK-Strom eine Erzeugung von gleich viel Elektrizität andernorts ersetzt.

## **4. Nutzungsmöglichkeiten von GEMIS**

### ***4.1. Vorzüge von GEMIS gegenüber bisheriger Emissionsabschätzungen***

#### ***Berücksichtigung „ökologischer Rucksäcke“***

GEMIS berechnet nicht nur die direkten, bei der Verbrennung entstehenden Emissionen aus Energiesystemen sondern auch sämtliche vor- und nachgelagerte Emissionen von der Primärenergiegewinnung über die Verarbeitung und Transport bis hin zur Behandlung der Reststoffe. Im Gegensatz zu einfachen Emissionsabschätzungen mit Hilfe von Emissionsfaktoren werden bei GEMIS auch „ökologische Rucksäcke“, d. s. Emissionen, die nicht unmittelbar vor Ort sondern vor- oder nachgelagert entstehen, berücksichtigt. Bei einem Emissionsvergleich Ölheizung versus Solarzellen werden daher sowohl Emissionen durch den Öltransport als auch Emissionen bei der Herstellung der Solarzellen berücksichtigt.

#### ***Angebots- und Nachfrageseitige Maßnahmen können analysiert werden***

Es werden mit GEMIS nicht nur die Umweltwirkungen der Energiebereitstellung z. B. durch Kraftwerke untersucht. Ebenso werden Auswirkungen nachfrageseitiger Maßnahmen wie z. B. Wärmedämmung, verbesserte Regelungstechnik, Energiesparlampen usw. analysiert.

#### ***Schnelle und unkomplizierte Handhabung komplexer Zusammenhänge***

Die Berechnung der Emissionen aus Energiesystemen (Kraftwerke, Stromimporte, Öl-, Kohle- und Gasbereitstellung, Heizkessel, usw.) und allen vor- und nachgelagerten Prozessen

(Gewinnung, Transport, Verarbeitung) umfaßt viele einzelne Berechnungsschritte und dauert lange. Sollen Veränderungen des Energiesystems, z. B. durch vermehrte Wärmedämmung, simuliert werden, ist der Einsatz eines computergestützten Berechnungsmodells unerlässlich, da sonst zeitlicher und finanzieller Aufwand explodieren.

### ***Berücksichtigung rekursiver Vorgänge***

Durch die computergestützte Realisierung der Emissionsberechnung können rekursive Zusammenhänge im Energiesystem (z. B. zur Stromerzeugung wird Kohle benötigt, die mit der Bahn zum Kraftwerk transportiert wird, die Bahn benötigt für den Transport Strom, usw.) bis zu einer bestimmten Genauigkeit mühelos iteriert werden.

### ***Einheitliches Werkzeug zur Emissionsberechnung***

Mit Hilfe einer Standardversion GEMIS-Österreich können **unterschiedliche Energiekonzepte** hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Kriterien **verglichen** werden. Derzeit werden zur Beurteilung einzelner Energiekonzepte meist verschiedene Methoden mit unterschiedlichem Genauigkeitsgrad angewandt und ein Vergleich unterschiedlicher Energiekonzepte kann nur mit großem Aufwand durchgeführt werden. Die Bereitstellung eines einheitlichen Werkzeuges zur Emissionsbilanzierung in Form einer Österreich-Anpassung von GEMIS trägt zur Versachlichung der Diskussion bei.

### ***Einfache ökonomische Berechnungen***

Neben den Umweltaspekten von Energie-, Verkehrs- und Materialsystemen können mit GEMIS auch interne und externe Kosten dieser Systeme errechnet werden. Neben der ökologischen Beurteilung von energie- und umweltpolitischen Maßnahmen ist daher auch eine einfache Abschätzung der Kosten geplanter Maßnahmen möglich.

## **4.2. Mögliche GEMIS-Anwendungen und potentielle GEMIS-Nutzer**

### ***Klimaschutzstrategien***

Die Auswirkungen unterschiedlicher Klimaschutzstrategien auf die Emissionen an Treibhausgasen, klassischen Luftschadstoffen, Flächenverbrauch, Reststoffen, usw., können mit GEMIS ermittelt werden, wobei nicht nur direkte Auswirkungen (z. B. durch Verbrennung) sondern auch sämtliche vorgelagerte Emissionen (z. B. durch Transport, usw.) berücksichtigt werden können. Ebenso kann mit GEMIS eine Abschätzung der internen und externen Kosten einzelner Klimaschutzstrategien erfolgen. Die so ermittelten Ergebnisse

dienen als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl ökologisch und ökonomisch effizienter Klimaschutzstrategien.

### ***Energiekonzepte von Bund, Länder und Gemeinden***

Energiekonzepte können sowohl bundesweit als auch auf Ebene von Ländern und Gemeinden mit GEMIS analysiert und beurteilt werden.

### ***Betriebliche Umweltkonzepte***

Mit GEMIS können nicht nur die Umweltauswirkungen politischer Maßnahmen beurteilt werden. Auch betriebliche Konzepte und Maßnahmen können hinsichtlich ihrer ökologischen Wirksamkeit analysiert werden. Außerdem kann auch auf betrieblicher Ebene eine grobe Abschätzung der Realisierungskosten unterschiedlicher Energiekonzepte vorgenommen werden.

### ***Stoffstrommanagement***

Die Stoffstromanalyse bilanziert die Tätigkeiten von Industrie, Gewerbe, Haushalte und öffentlicher Hand in bezug auf ihre Umweltauswirkungen. Für die unterschiedlichen Stoffe (z. B. der Baustoff Aluminium) müssen differenzierte Aussagen bezüglich der Umweltauswirkungen je nach Herkunft der Stoffe getroffen werden, um deren Umweltauswirkungen global beurteilen zu können. GEMIS ist ein Basisinstrument, um die komplizierten Sachverhalte rund um Stoffströme zu analysieren und transparent zu machen.

### ***Potentielle GEMIS-Nutzer***

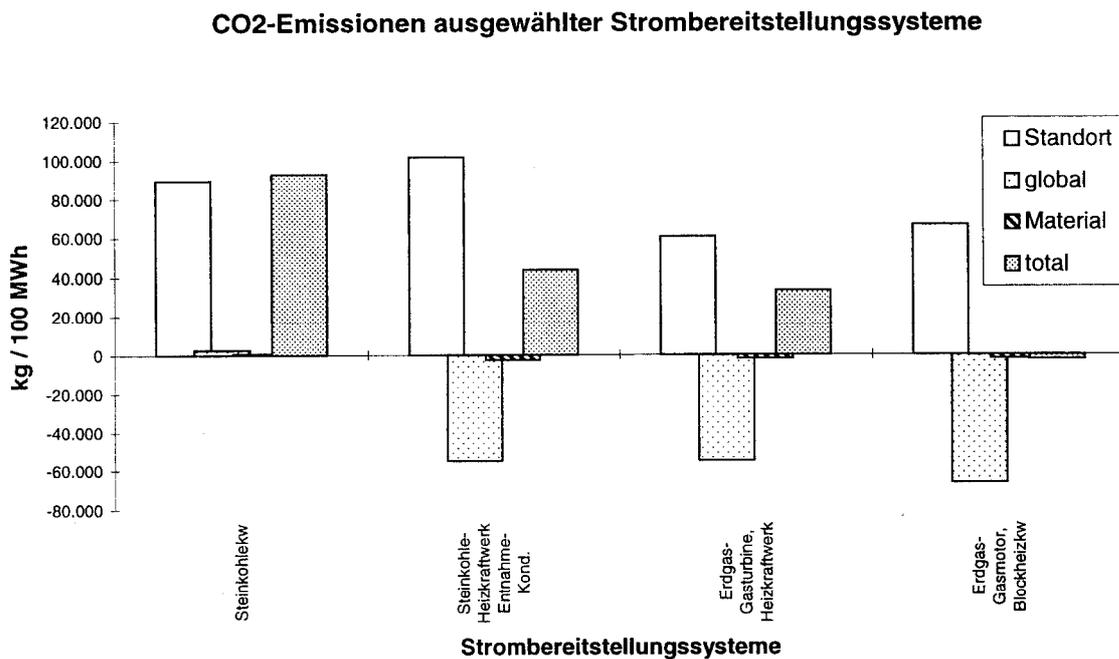
Als potentielle GEMIS-Nutzer einer GEMIS-Österreich Version kommen sämtliche Institutionen in Frage, die sich mit der ökologischen Beurteilung von Energiesystemen und Stoffströmen beschäftigen. Dazu zählen zum Beispiel:

- Raumplaner (Werkzeug für eine „energetische“ Raumplanung)
- Gebietskörperschaften (Beurteilung von Klimaschutzstrategien und Energiekonzepten)
- EVU
- Planungsinstitute (betriebliche Umweltkonzepte, Planung von Energiesystemen)
- wissenschaftliche Forschungsinstitute (Beurteilung und Simulation der Umweltauswirkungen von Prototypen)
- Energieberater

### 4.3. Anwendungsbeispiele

Die nachfolgenden Graphiken zeigen die mit der deutschen GEMIS-Version errechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgewählter Strombereitstellungssysteme in kg / 100 MWh. Es wurden sowohl die Emissionen am Standort als auch die globalen und die materialbedingten Emissionen berechnet.

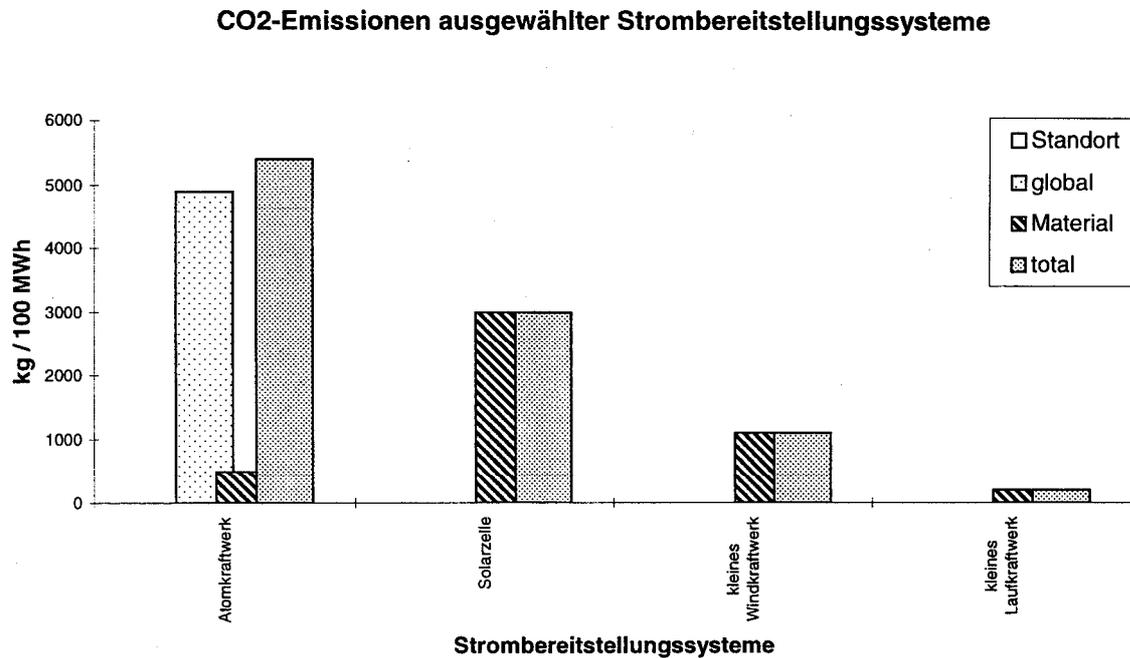
Abbildung 5: Anwendungsbeispiel 1



Quelle: Fritsche U., et al, Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen: Gemis-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Darmstadt /Kassel, 1989, S. 279

Abbildung 5 zeigt, daß Steinkohle-Heizkraftwerke etwas höhere Emissionen am Standort verursachen. Insgesamt sind die Emissionen von Heizkraftwerken jedoch um annähernd die Hälfte geringer als bei Steinkohlekraftwerke, da bei Heizkraftwerken andernorts Strom bzw. Wärme und Emissionen eingespart werden können. Im Vergleich zu Erdgas-Heizkraftwerken verursachen Erdgas-BHKW kaum höhere Emissionen am Standort, die Gesamtemissionen verschwinden jedoch gänzlich, bilanziert man die andernorts eingesparte Wärme.

Abbildung 6: Anwendungsbeispiel 2



Quelle: Fritsche U., et al, Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen: Gemis-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Darmstadt /Kassel, 1989, S. 279

Abbildung 6 zeigt, daß Atomkraftwerke fast doppelt so hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen wie Solarzellen, 5 mal so hohe wie kleine Windkraftwerke und 20 mal so hohe wie kleine Laufwasserkraftwerke. Im Vergleich zu den fossilen Kraftwerken bedingt Atomstrom relativ geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen, Gas-BHKW erlauben jedoch noch geringer Werte (siehe dazu Abbildung 5).

#### 4.4. Überblick über die bisherigen GEMIS-Anwendungen

GEMIS wurde unter anderem bereits für spezifische Anwendungen in den USA, der Schweiz Italien und den Philippinen eingesetzt. Folgende Untersuchungen wurden / werden mit GEMIS durchgeführt:

- Nach Abschluß des GEMIS-Projektes wurde das Programm vom ÖKO-Institut im Auftrag der Klima-Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages weiterentwickelt. Neben CO<sub>2</sub> wurden auch andere klimarelevante Emissionen in die Datensätze aufgenommen (CH<sub>4</sub>, CO, NMVOC, N<sub>2</sub>O) und ein IST-Datensatz zur Beschreibung von Anlagen im Basisjahr 1987 erstellt [ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt, 1989: Emissionsmatrix für klimarelevante Schadstoffe in der BRD, U. Fritsche, in: Energie und Klima, Hrsg.: Enquete-Kommission, Bd. 2, Bonn/Karlsruhe 1990, Economica Verlag/C.F.Müller Verlag].
- Beschreibung der energiewirtschaftlichen Situation des Bundeslandes Schleswig-Holstein, wobei eine Anzahl von Verkehrssystemen sowie Systeme zur Biomassenutzung und Kraft-Wärme-Kopplungen in die Datenbasis aufgenommen wurden [ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt, Anwendung des GEMIS-Programms auf die Endenergieanalyse für Schleswig-Holstein, U. Fritsche/S. Kohler, i. A. des Ministers für Gesundheit, Soziales und Energie Schleswig-Holstein, Darmstadt/Freiburg].
- Bei einer Adaption des GEMIS-Modells an die Verhältnisse der Stadtwerke München wurde die Anwendbarkeit des Programms auch auf kommunaler Ebene erprobt und die Berücksichtigung externer Umweltkosten von Luftschadstoffen mittels GEMIS demonstriert. [ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt, 1991, Externe Kosten von Heizsystemen in München, U. Fritsche/S. Kohler, i.A. der Stadt München, Darmstadt]. Eine ähnliche Adaption der GEMIS-Datenbasis für Hannover zeigt auch die Nutzbarkeit des Programms für die Analyse kommunaler Klimaschutzstrategien auf [ÖKO-Institut, 1992, Untersuchung der Verursacheranteile klimarelevanter Emissionen in Hannover: Nutzung von GEMIS zur Analyse energiebedingter Treibhausgasemissionen, U. Fritsche/L. Rausch, Teilstudie i.A. des Umweltamts der Stadt Hannover, Darmstadt/Freiburg].
- Ende 1990 wurde für die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin eine Anpassung des GEMIS-Modells an die Energie- und Umweltdaten Berlins sowie ausgewählter Daten der neuen Bundesländer, also der ehemaligen DDR, durchgeführt [ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt, 1991, Anpassung des GEMIS-Programms an die Energie- und Umweltdaten für Berlin sowie der DDR, U. Fritsche/F. Matthes, i. A. der Berliner Senatsverwaltung für Umweltschutz, Darmstadt/Berlin].
- Eine weitere Anwendung der GEMIS-Resultate liegt in der Nutzung der Datenbasis für die zunehmend interessierende Ökobilanz von Produkten. So wurde z. B. der GEMIS-Datenkern vom Schweizer Umweltamt benutzt, um die energiebedingten Umweltaspekte der Produktherstellung zu ermitteln [Bundesanstalt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft) 1991, Ökobilanz von Packstoffen Stand 1990, Bern]

- Das Ingenieurbüro Fichtner demonstrierte in einer Studie die Nutzung von GEMIS für regionalisierte Umweltanalysen, die eine spezifische Anpassung für die bayrischen Verhältnisse betraf [Fichtner, 1990, Emissions-/Immissionsvergleich ausgewählter Fern- und Nahwärmesysteme zur Hausheizung, i. A. der FTA, Stuttgart und Fichtner, 1990, Energiepolitische Beurteilung von Systemen zur Nahwärmeversorgung am Beispiel Bayerns - Vergleich BHKW/Wärmepumpe, i. A. der FTA, Stuttgart/München.
- Im Jahr 1990 wurde das ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt vom amerikanischen Energieministerium beauftragt, eine englische GEMIS-Version zu entwickeln, die seit Juni 1990 unter dem Namen TEMIS zur Verfügung steht.
- Neben der Nutzung im Energieministerium wurde TEMIS verschiedenen internationalen Forschungsinstituten wie auch NGO für nichtkommerzielle Anwendungen zur Verfügung gestellt.
- TEMIS wird im Rahmen des Urban CO<sub>2</sub>-Reduction Project angewendet [Internationale Council for Local Environmental Initiatives, 1991, The Urban CO<sub>2</sub> Reduction Project, Toronto/Freiburg), bei dem 12 Städte aus drei Kontinenten kommunale CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategien- mittels TEMIS analysieren. Eine weitere Nutzung erfolgt durch die Städte im Rahmen eines OECD-Projekts, bei dem ebenfalls die Umwelteffekte kommunaler Energiestrategien interessieren [City of Newcastle upon Tyne, 1992, Energy and the Urban Environment - Strategy for a Major Urban Centre: Newcastle upon Tyne, Newcastle City Council/Director of Development, Newcastle upon Tyne].
- In Kooperation mit dem National Renewable Energy Laboratory und dem Pacific Northwest Laboratory wurde TEMIS 1991 für die Analyse von Biomasse-Systemen weiterentwickelt. Schließlich wurde die TEMIS-Datenanpassung für Nordamerika vom ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt unterstützt.
- Das Pacific Northwest Laboratory beurteilt unterschiedliche Antriebskonzepte (Elektrofahrzeuge, Methan-Benzin Gemische usw.) mit GEMIS
- Das ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt untersucht Investitionen in Kraftwerke in der Dritten Welt mit Hilfe von GEMIS
- In Österreich wurden für die Städte Wien und Villach Emissionsbilanzen vom Österreichischen Ökologie-Institut erstellt.
- Das Österreichische Ökologie-Institut hat im Rahmen der Studie „LCP-Maßnahmen in Österreich“ mit GEMIS das Emissionsreduktionspotential einzelner LCP-Maßnahmen abgeschätzt.

unterschiedliche Fragestellungen verwendet, darunter auch die Ursprüngliche: Umweltanalysen im Rahmen von kommunalen/regionalen Energiekonzepten.

## 5. Geplante Weiterentwicklungen von GEMIS

- Derzeit arbeitet das ÖKO-Institut Freiburg/Darmstadt an der Erstellung einer Windows-Version von GEMIS, welche die Anwenderfreundlichkeit des Programmes erhöhen wird.
- Weiters ist die Ausweitung von GEMIS zur Durchführung differenzierter **Stoffstromanalysen** geplant. Die grundlegenden Fragestellungen im Bereich Stoffstrommanagements können bereits jetzt mit GEMIS untersucht werden. Weitere Funktionen und Analysemöglichkeiten sollen implementiert werden.

### **Literatur**

Bertsch E., Treibhausgas-Emissionsbilanz Villach, Wien, 1994

Fritsche U., L. Rausch, K.-H. Simon, Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Darmstadt/Kassel, 1989

Fritsche U., J. Leuchtner, F.C. Matthes, L. Rausch, K.-H. Simon, Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 2.0, Endbericht, Darmstadt, Freiburg, Kassel, Berlin, 1992

Fritsche U., Umweltbewertung von Energiesystemen in Energie-Sparen, Handbuch für rationelle Energienutzung, Darmstadt, 1990

Institut für angewandte Ökologie, Broschüre „globaler Stoffwechsel“, Freiburg, Darmstadt, Berlin, 1995

## 6. Stand der GEMIS-Anpassungen für Österreich

Die notwendigen Arbeiten zur GEMIS-Anpassung für Österreich können in drei Teilbereiche gegliedert werden:

1. Unterstützende Studien, die der Recherche und Analyse der Datenbasis (Emissionsfaktoren, Wirkungsgrade, Energiefluß, etc.) dienen
2. Workshops mit Wirtschaft und Wissenschaft zur Verifizierung und Absicherung der Datenbasis
3. Adaptierung des Computermodells GEMIS und Erstellung eines Benutzerhandbuches

### 1. Unterstützende Studien, die der Recherche und Analyse der Datenbasis dienen

- 1.1 **Primärenergie bis Endenergie:** Ermittlung der Emissionen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, HF, HCl, N<sub>2</sub>O und Staub für die Prozeßketten der Primärenergiebereitstellung bis zum Endverbraucher (Förderung, Transport, Umwandlung) für die Energieträger Öl, Kohle, Gas, Strom und erneuerbare Energieträger.  
Bsp.: Kohleförderung in Polen, Kohletransport nach Österreich, Stromerzeugung in einem kalorischen Kraftwerk, Stromtransport zum Haushalt
- 1.2 **Endenergie bis Nutzenergie:** Ermittlung der genannten Emissionen für die Prozeßketten der Endverbrauchstechnologien (z.B. Gasetagenheizung, Scheitholzkessel, etc.)
- 1.3 **Nutzenergie bis Energiedienstleistung:** Ermittlung der genannten Emissionen für **Negawatt-Technologien** (z. B. Wärmedämmung, Energiesparlampen)
- 1.4 **Graue Energie:** Emissionen aufgrund von Materialverbrauch und Reststoffe bei der Energiebereitstellung (z.B. Emissionen durch Produktion von Stahl, der für den Wasserkraftwerksbau verwendet wird)
- 1.5 **Interne und externe Kosten** der wesentlichen Prozesse
- 1.6 **Regionalisierung** der Datenbestände für die Bundesländer

Die Ergebnisse der Arbeitsschritte 1.1 bis 1.6 werden in Form von Berichten geliefert, die als Grundlage für die Adaptierung von GEMIS herangezogen werden können.

## 2. Workshops

Im Rahmen von Workshops werden

- Wirtschaft (Industrie-Fachverbände, Kammern, usw.),
- Energiewirtschaft (Verband der E-Werke, OMV, Fernwärmewirtschaft, Geräteindustrie, Fachverband der Gas und Wärmeversorgungsunternehmen, etc.)
- Wissenschaft (Schleicher, Hackl, Schmidt, Wörgetter, Seibersdorf, EVA, Rakos, WIFO (Kratena), usw.) sowie
- Vertreter von Landes- und Bundesinstitutionen

zur Diskussion der ermittelten Emissionsfaktoren, Wirkungsgrade und sonstigen Datengrundlagen eingeladen.

Ziel der Workshops ist es, eine möglichst breite Akzeptanz der Datengrundlagen (Emissionsfaktoren, Wirkungsgrade, etc.) zu gewährleisten, um eine nachträgliche Kritik der verwendeten Werte möglichst auszuschalten. Die Vorbereitung dieser Workshops (ausreichende Information bereits bei Einladung, etc.) ist daher von besonderer Bedeutung.

Mögliche Gliederung der Workshops:

- 2.1 **Primärenergiebereitstellung** (gegliedert nach Energieträger)  
Emissionen, Materialverbrauch und Kosten der Energieträgerbereitstellung werden diskutiert
- 2.2 **Endverbrauchstechnologien** (gegliedert nach Energieträger)  
Emissionen, Materialverbrauch und Kosten der Endverbrauchstechnologien werden diskutiert
- 2.3 **Negawatt-Technologien**  
Emissionen, Materialverbrauch und Kosten von Negawatt-Technologien werden diskutiert
- 2.4 **Regionalisierung**

Die Organisation dieser Workshops wird vom UBA in Kooperation mit dem BMWA übernommen.

### 3. Adaptierung des Computermodells GEMIS und Erstellung eines Benutzerhandbuches

Nach bzw. während Durchführung der unterstützenden Studien und Workshops erfolgt die Adaptierung von GEMIS zur Anwendung des Computermodells für spezifische Fragestellungen (z.B. Erstellung von Emissionsbilanzen) und die Erstellung eines Benutzerhandbuches. Ziel ist es, eine österreichweit anerkannte GEMIS-Anpassung zu schaffen, die als Standard für die Berechnung von Emissionen aus Energiesystemen dient. Zu diesem Zweck werden die durchgeführten Studien und Ergebnisse der Workshops herangezogen und eine einheitliche, österreichweite GEMIS-Anpassung erstellt. Die als Standard anerkannte GEMIS-Version wird allgemein verfügbar sein.

**Bereits durchgeführte bzw. beauftragte Studien**

1/1 Das Institut für Verfahrens-, Brennstoff- und Umwelttechnik der TU-Wien (Prof. Hackl und DI Mausitz) wurde bereits mit Studien zur Anpassung von GEMIS für Österreich beauftragt. Im Rahmen der ersten Beauftragung wurden die Datengrundlagen zur Modellierung der Treibhausgasemissionen bei Primärenergieaufbringung loco Österreich für fossile Energieträger ermittelt (excl. CO, NOx, SO2 und Staub sowie excl. erneuerbare Energieträger).

1/2 Im Zuge eines Folgeauftrages werden die Datengrundlagen zur Modellierung der Treibhausgasemissionen bis zum Endenergieabnehmer geschaffen.

-----

2/1 Die Forschungsgesellschaft JOANNEUM-RESEARCH erstellte eine Literaturstudie bezüglich Emissionsfaktoren und energietechnischer Parameter im Bereich der Raumwärmeversorgung. Der Endbericht dieser Studie liegt bereits vor, ist jedoch noch nicht veröffentlicht.

Die Ergebnisse der Studie wurden zwar noch nicht im Computermodell GEMIS implementiert, liegen aber in einer Form vor, die eine rasche Adaptierung ermöglicht. Obwohl die Studie einen Großteil der im Arbeitsschritt "1.2 Endenergie bis Nutzenergie" notwendigen Arbeiten abdeckt, werden noch weitere Informationen benötigt (z. B. Technologien der Warmwasserbereitung, Solarkollektoren, Emissionsfaktoren von Alt- und Neuanlagen, usw.; siehe dazu Anhang II)

2/2 Im Bereich der Raumwärmebereitstellung wurden weiters Messungen der Emissionsfaktoren von Kleinf Feuerungsanlagen durchgeführt. Für Öl- und Gasheizungen wurden die Emissionsfaktoren NOx, CO, HC, SO2, CO2 und die Rußzahl gemessen. Die Messungen fanden bei Kleinf Feuerungsanlagen (<350 kW) von Normalverbrauchern statt. Durchgeführt wurden die Messungen von Brötzenberger (Gas) und Heger (Öl). Die Ergebnisse liegen bereits vor.

2/3 Windsperger führte Studien bezüglich der Emissionsfaktoren von industriellen Prozessen durch

-----

3/1 Die Energieverwertungsagentur hat im Rahmen der Studie "LCP-Maßnahmen in Österreich" Potentiale, Kosten und ökologische Auswirkungen von LCP-Maßnahmen untersucht. Unter anderem wurden die internen Kosten von NegaWatt- und Zukunftstechnologien (z.B. Windkraft-Anlagen, Wärmedämmung) untersucht. Außerdem wurde die Strom- und Fernwärmebereitstellung in Österreich bereits im Computermodell GEMIS implementiert, wobei die wichtigsten österreichischen kalorischen Wärmekraft- und Heizkraftwerke modelliert wurden. Diese Implementierung wurde vom österreichischen Ökologie-Institut durchgeführt.

Obwohl die Ergebnisse dieser Studie einen wesentlichen Teil der in Arbeitsschritt "1.1 Primärenergie bis Endenergie" durchzuführenden Arbeiten beinhalten, sind noch weitere Untersuchungen notwendig (klassische Luftschadstoffe der Energieträgerbereitstellung, Einarbeiten der Emissionsberichte der einzelnen Kraftwerke, unterschiedliche Strombereitstellungsszenarien, usw.; siehe dazu Anhang I)

3/2 Das österreichische Ökologie-Institut hat mit GEMIS Emissionsbilanzen für Wien und Villach erstellt. Für das Bundesland Wien ist eine regionalisierte Anpassung der Treibhausgas CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> bereits erfolgt.

-----

4 Eine Studie bezüglich der betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Kosten von CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen im Raumwärme- und Warmwasserbereich wird derzeit am Österreichischen Ökologie-Institut durchgeführt. Ein Teil der hier ermittelten Ergebnisse kann im Arbeitsschritt "1.5 interne Kosten" genutzt werden.

Die folgende Tabelle zeigt die bereits durchgeführten und die noch nicht realisierten Anpassungsschritte im Überblick.

## STAND UND KONZEPT ZUR GEMIS-ANPASSUNG FÜR ÖSTERREICH

Anpassungsschritt	bereits vorhanden bzw. beauftragt	noch offen
1.1 Primärenergie - Endenergie	schriftlicher Bericht über die Emissionsfaktoren <b>CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> für fossile Energieträger</b> vom Inst. f. Verfahrens-, Brennstoff- und Umwelttechnik (zum Teil erst beauftragt) Modellierung der Strom- und Fernwärmebereitstellung (ÖKO-I), GEMIS-Deutschland	CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , NMVOC, HF, HCl, N <sub>2</sub> O und Staub erneuerbare Energieträger: - CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , - NMVOC, HF, HCl, N <sub>2</sub> O, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> und Staub Workshop
1.2 Endenergie - Nutzenergie	Literaturstudie: Emissionsfaktoren der Raumwärmeversorgung (JOAN) Messung der Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen Emissionsfaktoren industrieller Prozesse	Nutzbarmachung und Erweiterung der Ergebnisse für eine GEMIS-Anpassung in Form eines Berichtes Workshop
1.3 Nutzenergie - Energiedienstleistung (Negawatt-Technologien)		Nutzbarmachung und Erweiterung der Ergebnisse für eine GEMIS-Anpassung in Form eines Berichtes Workshop
1.4 Graue Energie	Für Materialverbrauch und -herstellung ausländischer Anlagen können die deutschen GEMIS-Werte übernommen werden	Material- und Reststoffprozesse in Österreich: - CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> - CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , NMVOC, HF, HCl, N <sub>2</sub> O und Staub

Anpassungsschritt	bereits vorhanden bzw. beauftragt	noch offen
1.5 Kosten	interne Kosten einzelner Technologien und Anlagen (LCP-Studie der EVA, ÖKO-Inst.)	sonstige interne Kosten externe Kosten
1.6 Regionalisierung	CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> Emissionsbilanzen für Wien (ÖKO-Inst.)	restl. Bundesländer Workshop
Anpassung des Computermodells GEMIS	CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> Emissionen in Wien, Ergebnisse der Studien von Prof. Hackl und DI Mauschitz, österreichischer Kraftwerkspark, wichtige Fernwärmewerke	Aufbereitung der ermittelten Inputdaten, Adaptierung des Computermodells und Erstellung eines Benutzerhandbuchs Honorar für Beratung und Unterstützung des ÖKO-Instituts Darmstadt bzw. der GH-Kassel