

DIE KOPPELUNG DES TECHNISCHEN ENERGIESYSTEMS MIT DEM
GESAMTWIRTSCHAFTLICHEN SYSTEM

von A. Voss

In den Mittelpunkt meiner Ausführungen möchte ich nicht eine theoretische Erörterung der prinzipiellen Möglichkeiten der modellmäßigen Darstellung von Interdependenzen zwischen dem Energiesektor und der übrigen Wirtschaft stellen, sondern ich will diese Koppelung an zwei Beispielen erläutern, und zwar an Beispielen, die den in der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung der KFA entwickelten Energiemodellen entstammen. Ich will dabei versuchen klar zu machen, daß die Art und Weise der Verknüpfung letztlich durch die Zielsetzungen der Modellentwicklung, d.h. den Frage- und Problemstellungen, die mit dem Modell analysiert werden sollen, bestimmt wird.

Außerdem will ich noch kurz auf die Behandlung des sogenannten "Technischen Fortschritts", über den wir heute ja schon einiges Interessante gehört haben, in unseren Modellen eingehen. Wobei ich glaube, daß das, was nach der gängigen Definition in der Ökonomie als Technischer Fortschritt bezeichnet wird, bei einer systemanalytischen Betrachtung sich nicht immer als Fortschritt herausstellen muß.

Im Gegensatz zur Verwendung des Begriffs "Technischer Fortschritt" in der Ökonomie, verstanden als Verminderung des Faktoreinsatzes bei gleichbleibender oder gesteigerter Produktion, geht es vom systemanalytischen Standpunkt aus um den Versuch einer umfassenden, aber ganzheitlichen Darstellung und Bewertung der Auswirkungen neuer "Technologien"; wobei hier neben den ökonomischen Folgen auch ökologische Auswirkungen, z.B. die Belastung von Luft und Wasser und gesellschaftlich-soziale Konsequenzen, z.B. veränderte Arbeitsplatzbedingungen erfaßt werden sollen.

Erst eine derartige ganzheitliche Analyse neuer Technologien erlaubt im Prinzip eine Aussage, ob es sich bei dieser Technologie um einen Fortschritt in eine gesamtgesellschaftlich wünschenswerte Richtung handelt oder nicht.

Wenn ich nun im folgenden von der Darstellung neuer Technologien in Energiemodellen spreche, so ist damit

immer die Darstellung in diesem systemanalytisch-ganzheitlichen Sinne genannt, während ich den Begriff "Technischer Fortschritt" im Sinne der ökonomischen Theorie verwende. Soviel zur Einleitung.

Ich möchte nun gleich mit dem ersten Beispiel beginnen und Ihnen die Kopplung zwischen dem Energiesektor und dem Wirtschaftssektor erläutern, wie wir sie in unserem dynamischen Energiemodell für die Bundesrepublik Deutschland vorgenommen haben.

Ich hatte schon zu Anfang darauf hingewiesen, daß die Zielsetzungen der Modellentwicklung letztlich über die Modellstruktur und den methodischen Modellansatz auch die Art und Weise der Verknüpfung des abgebildeten Energiesystems mit dem Wirtschaftsmodell bestimmen. Aus diesem Grunde muß ich Ihnen zunächst die Zielsetzung des Energiemodells, von dem hier die Rede ist, kurz erläutern. Die im Zusammenhang mit der hier diskutierten Problematik wichtigen Ziele habe ich Ihnen hier aufgeschrieben. (Bild 1)

Die Erreichung des ersten Ziels erforderte eine explizite Abbildung der nicht energetischen Wirtschaftssektoren und ihrer Interdependenzen in dem Modell, während das zweite Ziel entscheidend für die Wahl des methodischen Ansatzes war.

In Bild 2 ist nun die Grundstruktur des Modells dargestellt. Das gesamte Modell besteht aus 8 Sektoren:

1. Bevölkerungs- und Beschäftigungssektor
2. Kapitalektor
3. Produktionssektor
4. Nachfragesektor
5. Investitionssektor
6. Energieverbrauchssektor
7. Energieversorgungssektor
8. Umweltsektor

Die Sektoren 1 - 5 bilden das ab, was man gemeinhin unter dem Wirtschaftssektor versteht. Die Wirtschaft ist dabei unterteilt in die folgenden sechs Sektoren,

- die Industrie der Steine und Erden
- die Eisenschaffende Industrie
- die Chemische Industrie
- und die anderen Industriebereiche,
die den Rest der Grundstoff- und
Produktionsgüterindustrie sowie alle
anderen Industriegruppen umfassen

Darüber hinaus existiert der Bereich der Energiewirtschaft, der zusätzlich in sechs Untergruppen unterteilt wurde, und schließlich ein Bereich, zu dem alle anderen Unternehmen gerechnet werden, die weder der Industrie noch der Energiewirtschaft angehören. Dies sind Landwirtschaft, Industriebetriebe mit weniger als 10 Beschäftigten, Baugewerbe, Handel, Verkehr, Nachrichten, Dienstleistungen, Wohnungsvermietung und staatliche Bereiche.

Im Bevölkerungs- und Beschäftigungssektor wird ausgehend von der Bevölkerungsentwicklung die Zahl der Beschäftigten in den produzierenden Bereichen durch einen Vergleich des Arbeitskräfteangebots, das aus der Bevölkerungszahl und vorgegebenen Erwerbsquoten ermittelt wird, mit der Arbeitskräftenachfrage der Unternehmen festgelegt. Die Arbeitskräftenachfrage ist dabei von den Produktionsbedingungen in den einzelnen Bereichen abhängig; sie läßt sich über die Kapitalintensität, d.h. die pro Kapitaleinheit eingesetzten Arbeitskräfte bei Kenntnis des zugehörigen Kapitalstocks ermitteln.

Im zweiten Sektor wird der Produktionsfaktor Kapital, gerechnet in realen Preisen (Preisbasis 1962), für die einzelnen Wirtschaftsbereiche bestimmt. Der Kapitalstock vermehrt sich dabei um die Bruttoinvestitionen und vermindert sich um die abnutzungsbedingten Abschreibungen, die im Bild aus Vereinfachungsgründen nicht aufgenommen wurden.

Beschäftigte und eingesetztes Produktionskapital sind Produktionsfaktoren, durch deren Einsatz das Produktionsergebnis, gemessen als Beitrag zum Bruttoinlandprodukt, bestimmt wird. Als dritte den Produktionsoutput bestimmende Größe wirkt der technische Fortschritt, der aus Gründen einer möglichst geschlossenen Erklärung nicht exogen vorgegeben, sondern über eine Korrelation mit den kumulierten Bruttoinvestitionen bestimmt wird. Der Beitrag zum Bruttoinlandprodukt bzw. die Nettoproduktion der einzelnen Bereiche wird über eine Produktionsfunktion vom Cobb-Douglas-Typ ermittelt. Hierauf gehe ich später noch näher ein.

Aufgabe des vierten Sektors, des Nachfragesektors, ist die Ermittlung der End- und Zwischennachfrage nach Gütern und Dienstleistungen der einzelnen Wirtschaftsbereiche. Die Endnachfrage besteht aus vier Komponenten, der Nachfrage für

- privaten Verbrauch
- öffentlichen Verbrauch
- der Investitionsgüternachfrage
- und der Nachfrage der übrigen Welt (Exportnachfrage)

Die einzelnen Komponenten der Endnachfrage werden dabei im Falle des privaten und öffentlichen Verbrauchs indirekt aus dem Bruttoinlandprodukt und für den Export über vorgegebene Exportquoten ermittelt. Die Investitionsgüternachfrage wird im fünften Sektor determiniert, der nachfolgend näher beschrieben wird. Die für die Befriedigung der Endnachfrage notwendigen Vorleistungen der einzelnen Wirtschaftsbereiche, also die Zwischennachfrage der Produktionsbereiche, wird mit einer auf die sechs Wirtschaftsbereiche aggregierten Input-Output-Matrix errechnet.

Ist die Nachfrage berechnet, so lassen sich die Investitionsentscheidungen der Unternehmen aufgrund einer auf der vergangenen Entwicklung aufbauenden Nachfrageeinschätzung festlegen, wenn man von anderen das Investitionsverhalten beeinflussenden Faktoren absieht. Die Investitionsaufträge werden also durch die für die Deckung einer bestimmten erwarteten Nachfrage erforderliche Veränderung des Kapitalstocks ermittelt. Die so bestimmten Investitionsaufträge beeinflussen dabei in zweierlei Weise das gesamte Wachstumsverhalten. Einerseits stellen sie selbst einen Teil der Endnachfrage dar und andererseits vermehren die fertiggestellten Investitionsgüter den Produktionsfaktor Kapital. Dabei schließt sich hier ein wichtiger Regelkreis, der von den Investitionen, über den Kapitalstock, den Beitrag zum BIP und die Nachfrage wieder zu den Investitionsaufträgen führt.

Im sechsten Sektor werden die in der Industrie, in den Haushalten, bei den Kleinverbrauchern und im Verkehr verbrauchten Energiemengen errechnet. Dabei wird für die vier industriellen Bereiche nach dem energetischen und nicht-energetischen Verbrauch unterschieden. Bei den Haushalten wird eine Trennung nach den

Verwendungszwecken Raumheizung und übriger Energieverbrauch vorgenommen, und im Verkehr wird der Energieverbrauch den einzelnen Verkehrsträgern der Bereiche Personen- und Güterverkehr zugeordnet.

Als Bestimmungsgrößen für den industriellen Energieverbrauch werden die jeweiligen Produktionszahlen und die mit den kumulierten Investitionen korrelierten spezifischen Energieverbräuche verwendet. Der Energieverbrauch der Haushalte, der Kleinverbraucher und des Verkehrs wird durch aus der wirtschaftlichen Entwicklung abgeleiteten Größen, d.h. durch das verfügbare Einkommen, den Wohnungsbestand und das Verkehrsaufkommen im Personen- und Güterverkehr erklärt. Der so errechnete Endenergieverbrauch wird anschließend durch Struktur-faktoren auf die angebotenen Endenergeträger aufgeteilt.

Die wesentliche Aufgabe des Energieversorgungssektors besteht in der Bestimmung des für einen bestimmten Verbrauch an Endenergie notwendigen Primärenergieeinsatzes. Dabei wird ein Teil der Endenergie über die verschiedenen Umwandlungsverfahren aus der Primärenergie gewonnen, z.B. Strom aus Kohle, Erdgas, Heizöl, Wasserkraft oder Kernenergie, und der andere Teil der Endenergie wird von den nicht umgewandelten Primärenergieträgern gestellt, dies ist z.B. der Fall bei der direkten Nutzung des Erdgases zur Raumheizung. Außerdem ist hierbei noch der Energieverbrauch der Energiewirtschaft, also die Energie, die in den verschiedenen Stufen der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung von Energie selbst verbraucht wird, zu berücksichtigen. Mit Hilfe von vorgegebenen Importanteilen und Produktionsgrenzen für die inländische Produktion läßt sich der gesamte Primärenergiebedarf in die Komponenten Energieimporte und Energiegewinnung im Inland aufteilen. Zusammen mit dem Umwandlungseinsatz und dem Aufwand für die Energieverteilung kann somit die Produktion in allen Teilbereichen der Energiewirtschaft (Gewinnung, Umwandlung und Verteilung) angegeben werden. Sie erfordert ebenso wie die Produktion in den anderen Wirtschaftsbereichen den Einsatz von Beschäftigten, von Kapital und die Bereitstellung von Vorleistungen zur Befriedigung der Zwischennachfrage der Energiewirtschaft. Andererseits trägt auch die Energiewirtschaft zur Einkommensschaffung und zum Bruttoinlandsprodukt bei, und ihre Investitionsaufträge sind Teil der Endnachfrage. Hier erfolgt also wieder die Kopplung der Energiewirtschaft, die aus Gründen einer detaillierten energetischen Betrachtung gesondert behandelt wird, an die anderen Wirtschaftsbereiche und an die im Modell dargestellten wirtschaftlichen Entwicklungsmechanismen.

Mit Hilfe der industriellen Produktion und des Energieverbrauchs nach Energieträgern und Verbrauchssektoren werden im Umweltsektor über spezifische Emissionsfaktoren die Freisetzungsmengen der wichtigsten Schadstoffe bestimmt. Gegenüber Ansätzen, die die Umweltschutzmaßnahmen als Funktion der Zeit vorgeben, ist in diesem Modell versucht worden, die Emissionsreduzierungsmaßnahmen, d.h. die Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren unter Einbeziehung gesellschaftlicher und interessenpolitischer Verhaltensmechanismen zu simulieren. Prinzipiell wird dabei wie folgt vorgegangen. Die verschiedenen Schadstoffemissionen sind die bestimmenden Größen der Umweltsituation bzw. der Umweltbelastung. Das Bewußtwerden einer nicht tragbaren oder nicht gewünschten Umweltsituation würde, unter der Hypothese der Existenz eines Umweltschadens- und -bewußtseins-Regelkreises, nach einiger Zeit zur Verordnung von Emissionsreduzierungsmaßnahmen oder was vergleichbar damit ist, zur Aufstellung von Umweltstandards führen, die wiederum die spezifischen Emissionsfaktoren herabsetzen.

Der Ansatz bildet also die Nicht-Energiesektoren der Wirtschaft mit Hilfe der Cobb-Douglas-Produktionsfunktion in einer Aggregationsstufe ab, die die explizite Behandlung einzelner Technologien nicht erlaubt, während der Energiesektor soweit disaggregiert ist, daß hier einzelne Technologien erfaßt werden.

Die wichtigsten Kopplungsstellen zwischen dem Energiesektor und dem Wirtschaftssektor ergeben sich

1. natürlich über den im wesentlichen produktionsbedingten Energiebedarf
2. über den Beitrag der Energiewirtschaft zum Bruttoinlandsprodukt
3. über den Bedarf an Arbeitskräften der Energiewirtschaft
4. über die Investitionsaufträge und Investitionen der Energiewirtschaft und
5. über den Vorleistungsbedarf der Energiewirtschaft nach Produkten der anderen Wirtschaftsbereiche

Der eben erläuterte unterschiedliche Aggregationsgrad zwischen dem Energie- und den übrigen Wirtschaftsbereichen bedingt natürlich auch eine unterschiedliche Darstellung des "Technischen Fortschritts" bzw. neuer Technologien.

In den höher aggregierten Wirtschaftssektoren erfolgt die Berücksichtigung des "Technischen Fortschritts" in der schon erwähnten Cobb-Douglas-Produktionsfunktion (Bild 3).

Die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion, wie sie hier aufgeschrieben ist, stellt eine funktionale Beziehung zwischen dem Output eines Sektors X und den eingesetzten Primärfaktoren Arbeit L und Kapital K dar.

A stellt eine Skalierungsgröße dar und α bzw. β sind die Produktionselastizitäten von Arbeit und Kapital.

Die Größe φ gibt die Produktionseinflüsse an, die nicht auf L und K zurückzuführen sind und wird gewöhnlich als technischer Fortschritt bezeichnet. Der "Technische Fortschritt" stellt also hier die Produktionssteigerungen dar, die nicht auf einen vermehrten Faktoreinsatz zurückzuführen sind.

Zur Erfassung zukünftiger technischer Entwicklungen im Rahmen dieser Produktionsfunktion gibt es im wesentlichen zwei Möglichkeiten. Die erste besteht in einer exogenen Vorgabe der zeitlichen Entwicklung von φ z.B. mittels einer Exponentialfunktion. Eine derartige zeitautonome Vorgabe des "Technischen Fortschritts" unterstellt letztlich, daß "Technischer Fortschritt" quasi ohne Zutun des Menschen ähnlich wie Sonne und Regen einfach vorhanden ist.

Wesentlich besser erscheint mir deshalb jedes Verfahren, das versucht, den "Technischen Fortschritt" auf seine verursachenden Faktoren zurückzuführen. Ein derartiger Erklärungsversuch stellt die hier benutzte Bindung des "Technischen Fortschritts" an die kumulierten Brutto-Investitionen dar. Dieser Ansatz geht dabei davon aus, daß die Verbesserung der Produktionsbedingungen an die Investitionen z. B. neuer Maschinen und Anlagen gebunden ist.

Der in unserem Modell verwendete funktionale Zusammenhang zwischen dem "Technischen Fortschritt" und den Investitionen ist in dem nächsten Bild (Bild 4) exemplarisch für die Industriegruppe Steine und Erden dargestellt.

Aufgetragen ist hier der Reziprokwert des "Technischen Fortschritts" $1/\varphi$ über den kumulierten Brutto-Investitionen I_K .

Gestatten Sie mir noch eine Anmerkung zur Produktionsfunktion selbst. Über die Vor- und Nachteile von Produktionsfunktionen im allgemeinen und der Cobb-Douglas-Funktion im besonderen ist in der Ökonomie schon viel geschrieben worden.

Mein grundsätzlicher Einwand gegen diese Produktionsfunktion ist - und ich bin sicher, daß ich nun Widerspruch bei den Ökonomen unter Ihnen provoziere - daß ja Kapital und Arbeit im Grunde gar keine primären Produktionsfaktoren sind.

Als diese würde ich allein Energie und Wissen bezeichnen.

Eine Produktionsfunktion mit diesen Produktionsfaktoren hätte die folgende allgemeine Form

$$X = E \ W / (R_{\infty} - R)$$

In dieser Funktion wird unter Energie nicht nur der direkte Energieeinsatz zur Produktion eines Gutes verstanden, sondern auch die indirekte Energie, die anteilmäßig z.B. in den Maschinen und Anlagen inkorporiert ist, die zur Produktion des Gutes verwendet werden.

Ebenso wäre die Energie der Arbeitskräfte, die in mechanische Energie umgesetzt wird, hier zuzurechnen.

Die Faktormengen an Energie und Wissen für die Produktion eines Gutes sind natürlich auch abhängig von der Verfügbarkeit der nicht-energetischen Ressourcen, zu denen ich neben den nicht-energetischen Rohstoffen auch die Umwelt (Luft und Wasser) zählen würde. So ist z.B. der Energieaufwand für die Förderung von Erzen sehr stark von ihrem Metallgehalt abhängig. Da gewöhnlich die Lagerstätten mit den höchsten Konzentrationen zuerst abgebaut werden, nimmt der Energieaufwand mit zunehmender Erschöpfung der Reserven zu. Dieser Sachverhalt soll qualitativ durch den Term $1/(R_{\infty} - R)$ angegeben werden. Wobei $R_{\infty} - R$ die Erschöpfung der Ressourcen angibt.

Trotz dieses Einwandes hat die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion einen entscheidenden Vorteil, und zwar den, daß sie praktisch rechenbar ist, weil Kapital und Arbeit statistisch erfaßte Größen sind.

Der hier benutzte Ansatz der Beschreibung des "Technischen Fortschritts" in einer Produktionsfunktion erlaubt natürlich nur eine pauschale und anonyme Behandlung neuer Technologien. Aus diesem Grunde wurde für den Energiesektor selbst, da hier ja der eigentliche Aussagenschwerpunkt des Modells liegt, ein Ansatz gewählt, der

in seinem Aggregationsgrad bis auf die Ebene der einzelnen Energietechnologie heruntergeht.

Die einzelne Technologie wird dabei durch eine Reihe von Parametern beschrieben. Dies sind natürlich neben dem Input und Output im wesentlichen technisch-ökonomische und ökologische Faktoren, die in ihrer Summe eine möglichst vollständige Charakterisierung der Technologie geben sollten (Bild 5).

Im einzelnen sind dies die in dem folgenden Bild aufgezählten Parameter.

Bei einer derartigen Vorgehensweise ist es nun möglich, die Auswirkungen einzelner Technologien explizit aufzuzeigen, sie schafft damit die Voraussetzungen für eine ganzheitliche Beurteilung dieser Technologie.

Ich möchte Ihnen nun das zweite Beispiel einer Kopplung von Energie- und Wirtschaftssektor erläutern. Diese Kopplung sieht methodisch völlig anders aus, weil hier eine andere Fragestellung im Vordergrund stand.

Es handelte sich dabei um Fragen aus dem Bereich der energetischen Analyse von Technologien und Produkten, - der englische Fachausdruck dafür ist "energy accounting" also um die Ermittlung des gesamten Energieaufwandes (direkt und indirekt), der für die Produktion eines Gutes notwendig ist.

Derartige Fragestellungen sind ja in der jüngsten Zeit stark in der öffentlichen Diskussion vertreten.

Die in diesem Fall verwendete Methode der Verknüpfung von Energie- und Wirtschaftssektor geht auf R. Herendeen zurück. Sie ist eine Verknüpfung der Input-Output-Tabelle mit der Energiebilanz.

Die Input/Output Tabelle stellt die wertmäßige Verflechtung der Sektoren einer Volkswirtschaft dar. Das Bild 6 zeigt die Handhabung einer Input/Output Koeffizientenmatrix. Der Feldplatz A_{ij} gibt den wertmäßigen Anteil der Vorleistungen aus dem Sektor i am Gesamtoutput des Sektors j an.

Der Gesamtoutput des Sektors i setzt sich zusammen aus dem Endverbrauch Y_i und der Summe der Vorleistungen für andere Sektoren.

Dieser Zusammenhang läßt sich in Matrixschreibweise als

$$\underline{X} = \underline{A} \underline{X} + \underline{Y} \quad (1)$$

darstellen, wobei Vektoren einmal und Matrizen zweimal unterstrichen wurden. Durch eine einfache Umwandlung

$$\underline{X} = \underline{(I - A)}^{-1} \underline{Y} = \underline{C} \underline{Y} \quad (2)$$

ergibt sich die inverse Leontief-Matrix \underline{C} , wobei mit \underline{I} die Einheitsmatrix bezeichnet wurde.

Die Elemente dieser Matrix C_{ij} geben an, wieviele Werteinheiten des Sektors i insgesamt produziert werden müssen, damit die Nachfrage nach einer Werteinheit des Sektors j befriedigt werden kann.

Diese Matrizen liegen vor und man entnimmt z.B. der Matrix der BRD für 1966 für ein Diagonalelement $k = j =$ Elektrizitätswirtschaft den Wert 1,265.

Dieser Wert besagt, daß für jede an den Verbraucher abgegebene Werteinheit zusätzlich nahezu 27 % geliefert werden mußten, damit die notwendigen direkten und indirekten Vorleistungen für die Elektrizitätswirtschaft erbracht werden konnten.

Führt man nun die Energielieferungen der Energiesektoren an die einzelnen Sektoren und die Endnachfrage ein, wobei E_i der Energieoutput des Energiesektors i ist und E_{ik} die Energiemengen, die an die Wirtschaftssektoren geliefert werden und E_{iy} die Lieferungen zur Deckung der Endnachfrage sind, so lassen sich den Wertströmen Energieströme zuordnen.

Einführung der Energieströme

$$E_i = \sum_{k=1}^n E_{ik} + E_{iy} \quad (3)$$

$$E_{ik} = \frac{E_{ik}}{X_k} X_k = \frac{E_{ik}}{X_k} \sum_{l=1}^n \left[\underline{(I - A)}^{-1} \right]_{ki} Y_l \quad (4)$$

(4) in (3)

$$E_i = \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \frac{E_{ik}}{X_k} \left[\frac{(I-A)^{-1}}{\quad} \right]_{ki} Y_{\ell} + \frac{E_{iy}}{Y_i} Y_i \quad (5)$$

Führt man nun ein

$$R_{ik} = \frac{E_{ik}}{X_k} \quad \text{u.} \quad S_{ik} = \frac{E_{iy}}{Y_i} \quad (6)$$

$$\Rightarrow \underline{E} = \left[\begin{array}{c} \underline{R} \quad \underline{(I-A)^{-1}} \quad \underline{S} \end{array} \right] \underline{Y} = \underline{\underline{\epsilon}} \underline{Y} \quad (7)$$

Die Elemente der Matrix $\underline{\underline{\epsilon}}$ geben an, wieviel Energie des Energiesektors i insgesamt, d.h. einschließlich aller direkten und indirekten Vorleistungen erforderlich ist, um eine Werteinheit des Sektors j an den Endverbraucher liefern zu können. Für Lieferungen der Energiesektoren an den Endverbraucher müssen zusätzlich noch die Energieinhalte addiert werden, da so nur die Aufwendungen für ihre Erzeugung verrechnet werden.

Diese Art der Verknüpfung von Energie- und Wirtschaftssektor liefert Ergebnisse, wie sie im nächsten Bild (Bild 7) dargestellt sind.

Aufgetragen sind hier die spezifischen direkten und indirekten Energieaufwendungen einzelner Wirtschaftssektoren der BRD gemessen in kg SKE/100 DM Produktionswert.

Die Sektoren mit dem höchsten Energieaufwand pro Produktionswert sind die Industrie der Steine und Erden (9), die eisenschaffende Industrie (11) und der Verkehr (17), während die Sektoren Kleinverbrauch (18), Elektrotechnik (13) und Holzindustrie (19) einen um mehr als 50 % geringeren Energieaufwand haben.

Die wohl wichtigste Kritik an diesem Ansatz ist die, daß die Energie entsprechend den Wertströmen zwischen den einzelnen Sektoren aufgeteilt wird.

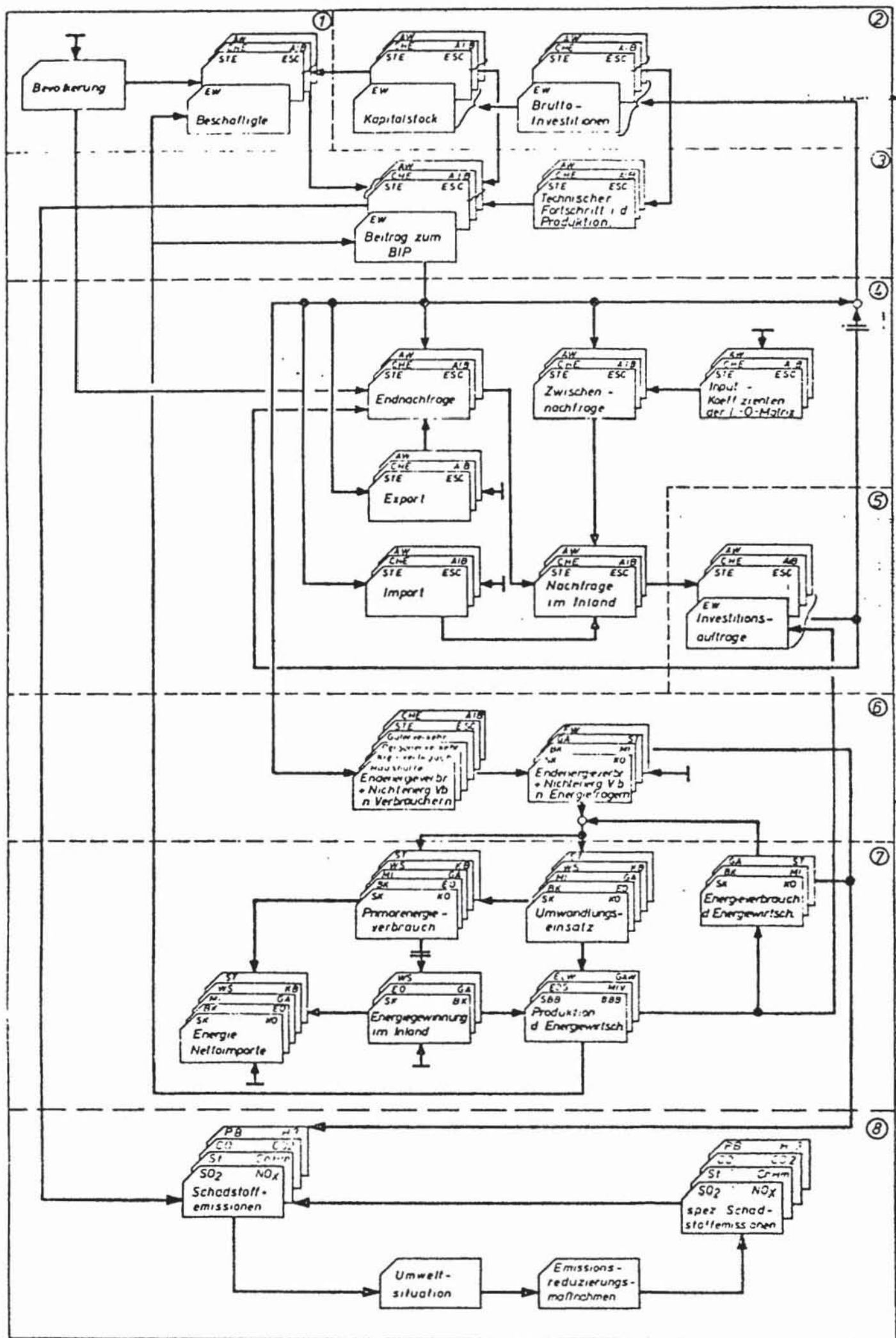
Lassen Sie mich nun abschließend folgendes Fazit ziehen

1. Die Art und Weise der Verknüpfung von Energie- und Wirtschaftssektor wird im wesentlichen von den Zielsetzungen der Modellentwicklungen bestimmt.
2. Der Begriffsinhalt von "Technischem Fortschritt" wie er heute noch in der Ökonomie verwendet wird, scheint mir im Rahmen von systemanalytischen Untersuchungen zu eng zu sein. Erforderlich ist vielmehr eine Beschreibung einzelner Technologien, die neben den ökonomischen auch die technischen und ökologischen Auswirkungen der Nutzung dieser Technologien erlaubt.

ZIELSETZUNGEN DES ENERGIEMODELLS

- ANALYSE DER ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN DES ENERGIE-
SYSTEMS UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG SEINER
WECHSELWIRKUNGEN MIT DEN ÜBRIGEN WIRTSCHAFTSBE-
REICHEN UND DER UMWELT

- UNTERSUCHUNG DER STRUKTUREIGENSCHAFTEN UND DES
DYNAMISCHEN VERHALTENS
(ZEITKONSTANTEN, STABILITÄT)



Grundstruktur des Energiemodells der BRD

COBB-DOUGLAS - PRODUKTIONSFUNKTION

$$X = A \cdot L^{\alpha} \cdot K^{\beta} \cdot \varphi$$

X PRODUKTIONSOUTPUT

L FAKTOREINSATZ ARBEIT

K FAKTOREINSATZ KAPITAL

α PRODUKTIONSELASTIZITÄT DES FAKTORS ARBEIT

β PRODUKTIONSELASTIZITÄT DES FAKTORS KAPITAL

A SKALIERUNGSGRÖSSE

φ "TECHNISCHER FORTSCHRITT"

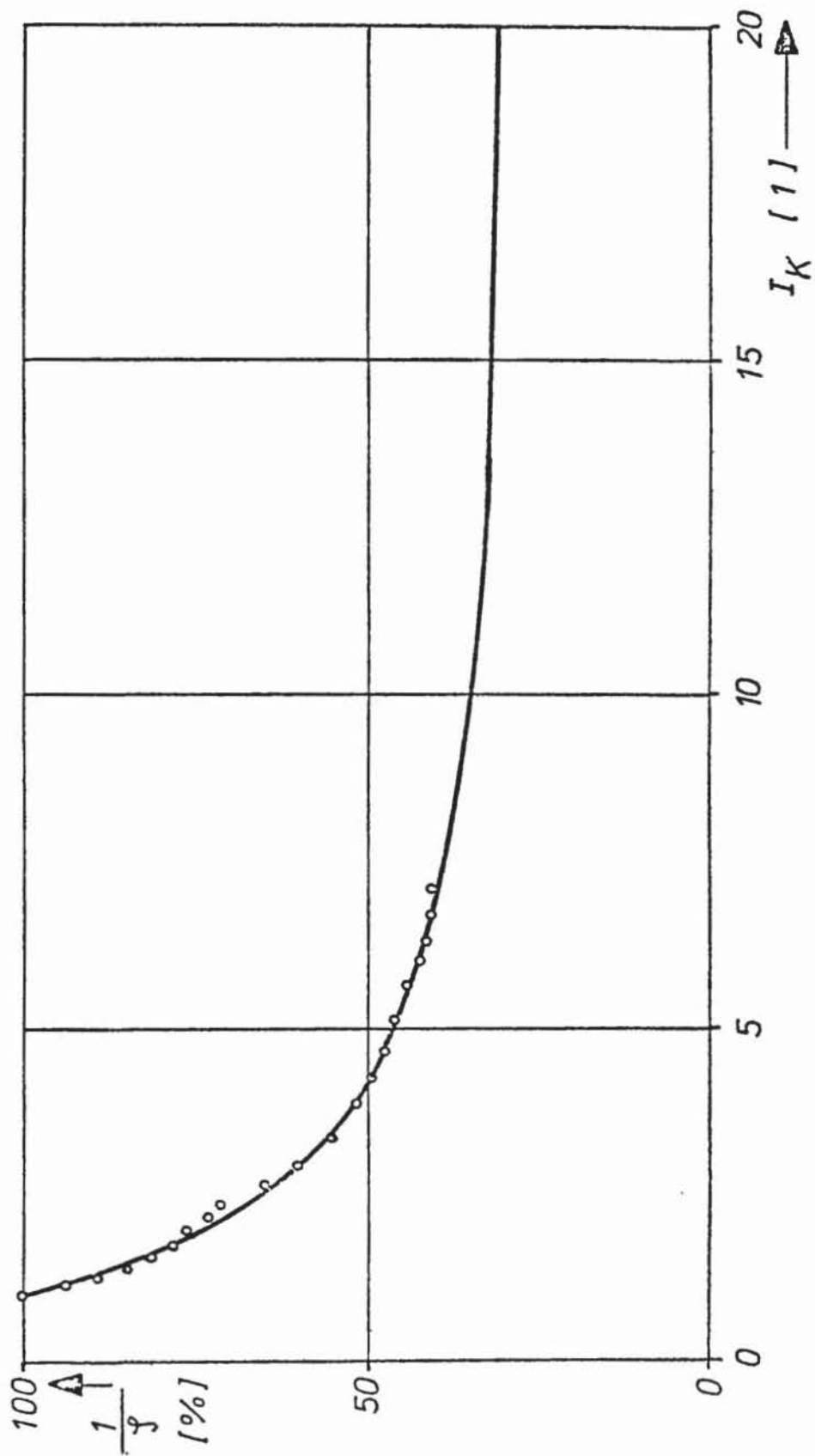
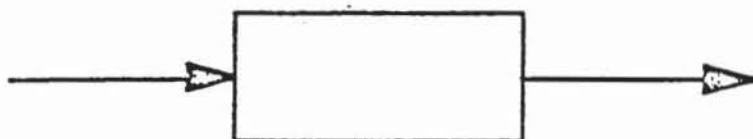


Bild 4

GRÖSSEN ZUR BESCHREIBUNG NEUER TECHNOLOGIEN

INPUT

OUTPUT



INPUT Z.B. KOHLE

OUTPUT Z.B. STROM

TECHNISCHE PARAMETER

- WIRKUNGSGRAD
- TEMPERATUR
- DRUCK U.S.W.

ÖKONOMISCHE PARAMETER

- INVESTITIONSKOSTEN
- BETRIEBSKOSTEN
- ENERGIEINHALT

ÖKOLOGISCHE PARAMETER

- ABWÄRME
- SCHADSTOFFEMISSIONEN
- LÄRM U.S.W.

SONSTIGE PARAMETER

- FLÄCHENBEDARF
- RISIKEN U.S.W.

Sektor	1	j	Y	Σ
1		↑ nach				X_1
⋮	→ von					
i			A_{ij}		Y_i	X_i
⋮						
$X_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot X_j + Y_i$						

KFA	Prinzipielle Darstellung der Input/ Output Matrix	STE
-----	--	-----

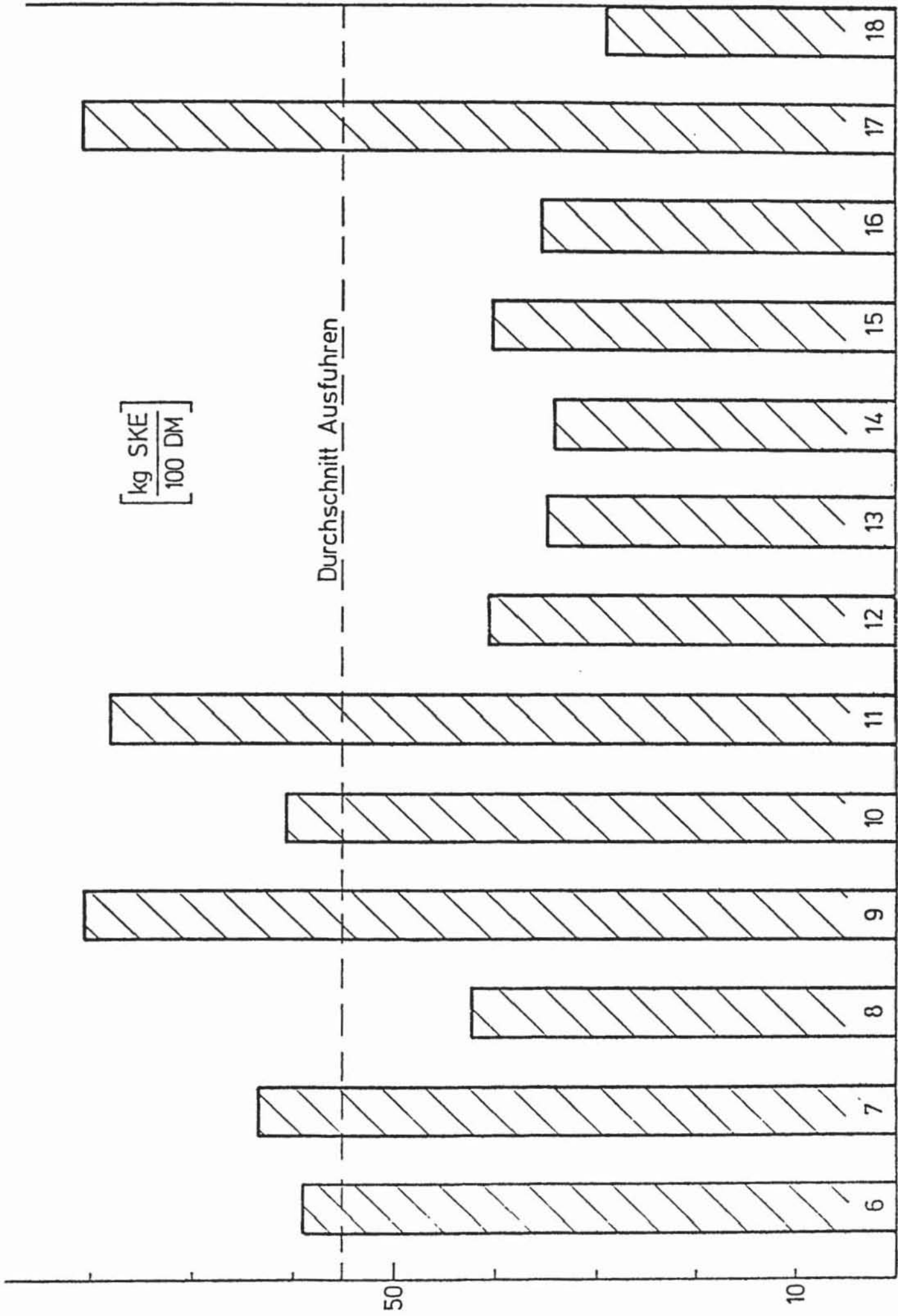


Bild 7

Zu Bild 7:

Sektorenbenennung

Nr.

- | | |
|----|--|
| 6 | Übriger Bergbau |
| 7 | Chemie |
| 8 | Kunststoff + Arbeitsverarbeitung |
| 9 | Steine + Erden |
| 10 | Feinkeramik |
| 11 | Eisenschaffende Industrie |
| 12 | Stahl + Leichtmetall-, + Maschinen + Fahrzeugbau |
| 13 | Elektrotechnik, Feinmechanik |
| 14 | Holzindustrie |
| 15 | Eisenwaren, Papier, Textilien |
| 16 | Nahrungs- + Genußmittel |
| 17 | Verkehr |
| 18 | Kleinverbrauch |