

Energiesysteme im Umweltvergleich

Uwe Fritsche

Die massiven Umweltschäden erfordern konsequente und nachhaltige Reduzierungen des Schadstoffausstoßes, vor allem bei der Energiebereitstellung.

Um solche Reduzierungen zu erreichen, ist die Kenntnis der jeweiligen Umweltfolgen von in Zukunft einsetzbaren Energiesystemen notwendig. Nur dann können die ökologisch vorteilhaften Energiesysteme auch — politisch — eingefordert werden.

Im Rahmen der Energiewende-II-Studie wurden für die Schadstoffemissionen von Energiesystemen solche Vergleiche entwickelt. Diese Arbeiten zeigen, daß neben der Energieeinsparung vor allem die Kraft-Wärme-Kopplung und die erneuerbaren Energien ökologisch vorteilhafte Nutzungsoptionen darstellen. Die Anwendung von Elektrizität im Wärmemarkt ist hingegen, ebenso wie die rein thermische Kohlenutzung, unter Emissionsgesichtspunkten abzulehnen.

Im folgenden Beitrag werden methodische Ansätze und Ergebnisse unserer Arbeiten zu Umweltvergleichen von Energiesystemen vorgestellt. Zudem wird besonders auf die erneuerbaren Energien eingegangen und abschließend die Perspektiven unserer Arbeit erläutert.

Einleitung

Die heute auftretenden massiven Umweltschäden werden zu einem erheblichen Teil durch die Energieerzeugung verursacht. Die Energiepolitik spielt daher eine entscheidende Rolle für das zukünftige Ausmaß der Umweltbelastung insgesamt. Eine wirksame Politik zur Bekämpfung der ökologischen Schäden muß die in der Energiewende-II-Studie aufgezeigten Hemmnisse gegen eine umweltfreundliche Energiepolitik beachten.

Hierzu gehört aber auch, über eine tragfähige Definition des Kriteriums **Umweltverträglichkeit** zu verfügen.

Dem Kriterium Umweltverträglichkeit kann dabei keine absolute Bedeutung zugeordnet werden. Vielmehr ergibt es sich als **relative** Größe aus einem **Vergleich von Alternativen**:

am umweltverträglichsten ist das Energiesystem, welches für eine bestimmte Energiedienstleistung im Vergleich zu anderen Systemen die geringsten Umweltwirkungen aufweist. Entsprechend ist das Sys-

tem am wenigsten umweltverträglich, das für dieselbe Energiedienstleistung die höchsten Umweltwirkungen verursacht.

Dazu ist es unerlässlich, einerseits über objektivierte, am heutigen Kenntnisstand orientierte **Daten über Umweltwirkungen** verschiedener Energiesysteme, andererseits über ein **methodisch klares Verfahren** zum Vergleich dieser Umweltwirkungen zu verfügen.

Im folgenden werden mehrere Studien zu diesem Problemkreis kurz dargestellt und diskutiert.

Ihnen allen sind drei Grundfestlegungen gemein:

- Es werden nicht Umweltwirkungen im Wortsinn untersucht, sondern auf **Schadstoffemissionen** als „Indikator“ für Umweltwirkungen abgestellt. Dies liegt darin begründet, daß bis heute nur wenige verlässliche Erkenntnisse über quantitative Verknüpfungen von Emissionen und daraus resultierenden Umweltwirkungen vorliegen. Die Heranziehung der Emissionen als „möglicher Umweltwirkung“ entspricht dem Vorsorgeprinzip.
- Als wichtigste — quantitativ erfaßbare — Umweltwirkungsindikatoren werden **Luftschadstoffe** betrachtet. Dies wird mit den heute zu besorgenden Umweltschäden begründet, die im wesentlichen durch diese Schadstoffe direkt oder indirekt verursacht werden und die schnell zu reduzieren sind.
- Im Vordergrund der Analyse stehen Energiesysteme, die **Raumwärme** bereitstellen. Diese Beschränkung erfolgt einerseits, um die Schadstoffabgaben der Systeme auf eine gleiche Bezugsbasis zu normieren („gleicher Nutzen“), andererseits wird (in der BRD) die meiste Energie für diese Dienstleistung nachgefragt. Energiesysteme, die sowohl Raumwärme wie auch Strom bereitstellen (Kraft-Wärme-Kopplung), werden durch eine Verrechnung des parallel erzeugten Stroms durch eine „Stromgutschrift“ auf die reine Wärmebereitstellung zurücknormiert. Als Stromgutschrift werden die Emissionen abgezogen, die in einem modernen Mittellast-Steinkohlekraftwerk bei der Erzeugung derselben Strommenge freigesetzt würden.

Der Stand der Dinge Allgemeine Methodik und Datenlage

In der Diskussion um die Umweltauswirkungen der Energienutzung wurden in den letzten Jahren verschiedene Emissionsvergleiche erarbeitet, um die Schadstoffmengen aus Heizsystemen auf der Stufe der Nutzungsanlagen (Heizung + Hausverteilung) zu erfassen (AGFW/BGW/VDEW 1984), EULER 1985, FRITSCH 1984 a, PROGNOS/FICHTNER 1984, 1984—1986). Einen Überblick zu diesen Studien gibt PETERS 1984.

Diese Arbeiten unterscheiden sich nur wenig in ihren Ergebnissen: überall sind solche Systeme emissionsseitig günstig, die mit Kraft-Wärme-Kopplung arbeiten (Fern- und Nahwärme) oder sonst nicht genutzte Wärme einer Nutzung zuführen (industrielle Abwärme, nichtelektrische Wärmepumpen). Öl- und Gasheizungen liegen in einem mittleren Feld, während elektrische und mit Festbrennstoffen betriebene Heizsysteme am ungünstigsten liegen.

Bei all diesen Studien wird allerdings vernachlässigt, daß **zusätzlich** auch Emissionen bei der Bereitstellung der Endenergie entstehen: Die im Heizkessel eingesetzte Ölmenge muß vor ihrer Nutzung erst gefördert, in Raffinerien umgewandelt und zum Öltank im Haus transportiert werden; Erdgas muß vor der Verbrennung in Heizkesseln gereinigt und durch große Pipelines transportiert werden usw.

Diese der eigentlichen Energienutzung **vorgelagerten** Emissionen bleiben bei o. g. Arbeiten außer Betracht, die Emissionsvergleiche waren **vereinfacht**.

Da die vorgelagerten Prozesse aber z. T. erhebliche Schadstoffabgaben aufweisen (vgl. dazu unten), müssen sie in einer Gesamtbilanzierung berücksichtigt werden (PETERS 1984).

Ein Ansatz zur Erfassung der **Gesamtemissionen** von Energiesystemen beruht auf der **Prozesskettenanalyse**. Dieses Instrument wurde insbesondere von der KFA Jülich entwickelt, um den Gesamtenergieaufwand für bestimmte Energiesysteme zu bestimmen (KFA 1978 + 1986). Hierbei wird ein Energiesystem ausgehend von der Primärenergiegewinnung über Transport und Umwandlung bis hin zur Nutzenergie in einzelne **Stufen** zerlegt. Für jede Prozessstufe werden der spezifische Energieverbrauch und die jeweili-

gen Emissionsfaktoren bestimmt. Anschließend werden die Emissionen auf jeder Prozeßstufe durch Multiplikation der Emissionsfaktoren mit den Energieverbräuchen errechnet und aufsummiert. Damit werden die gesamten Emissionen erfaßt, die pro Nutzereinheit entstehen.

Die Daten für solche Prozeßketten wurden in der BRD erstmals im Rahmen eines Projekts für das Umweltbundesamt (UBA) ermittelt (INFRAS 1981, BOSSEL 1981, ISP 1981). Weitere Arbeiten aus den letzten Jahren versuchten, genauere Daten zu gewinnen (KFA 1982 + 1983), sind aber bislang nicht nachvollziehbar.

Die Arbeiten von H. Euler hingegen umfassen z. T. die notwendigen Daten einer Gesamtbilanzierung (EULER 1984), sind aber auf dem Datenstand von 1983.

Durch die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen (Großfeuerungsanlagen-Verordnung, TA Luft), den verbesserten Emissionsminderungstechniken und die höheren Wirkungsgrade von Energieanlagen (Heizungen!) ist es notwendig, die bis 1983 vorliegenden Daten für Prozeßkettenanalysen zu aktualisieren und zu ergänzen.

Im Rahmen der EW-II-Studie wurde eine solche Ergänzung vorgenommen.

gesetzliche Auflagen und fortschrittliche Reinigungsverfahren FRITSCHÉ 1985 wurden für alle Energiesysteme Emissionsdatensätze (EDS) für drei Randbedingungen entwickelt:

EDS 1: aktuelle gesetzliche Vorgaben wie TA Luft und Großfeuerungsanlagen-Verordnung („Gesetz“)

EDS 2: Werte der Umweltrichtlinie des Hessischen Ministers für Umwelt und Energie („HMUE“)

EDS 3: Werte für optimierte Minderungstechniken („Opt. Tech.“)

Bei der Datenauswahl für die den Heizsystemen vorgelagerten Prozeßstufen wurde **aus Konsistenzgründen** unterstellt, daß alle beteiligten Anlagen jeweils entsprechend der EDS-Rahmensetzung betrieben werden — also z. B. beim EDS 1 auch die Raffinerien, Tanken, Grubenkraftwerke usw. der GFAVO und TA Luft unterliegen — ob sie nun in der BRD stehen oder anderswo. Diese Annahme führt daher zu einer **unteren Grenze** der Gesamtemissionen eines Energiesystems. Eine genauere Begründung dieses Ansatzes und eine Gegenüberstellung zu anderen Methoden der Datenfindung findet

lans dienen. Dies wird immer dann zu fordern sein, wenn hoch vorbelastete Gebiete untersucht werden, wo die zukünftige „Vor-ort“-Schadstoffabgabe durch Heizsysteme deutliche Anteile an der Immissions-situation erhalten können.

Die Schadstoffangaben sind jeweils auf eine Einheit Nutzwärme bezogen, um die Emissionen vergleichbar zu machen. Bei den Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen (KWK) wurde der parallel erzeugte Strom als „Stromgutschrift“ mit den Emissionen eines modernen Mittellast-Steinkohlekraftwerks verrechnet, daher ergeben sich hier in der Gesamtbilanz z. T. **negative** Werte. Dies bedeutet, daß die **gesamten** Emissionen des KWK-Systems **geringer** sind als die Emissionen, die bei der Erzeugung der gleichen Strommenge in konventionellen Kohlekraftwerken entstehen würden.

Die Wärmebereitstellung durch KWK-Anlagen führt daher gegenüber der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme zu deutlichen **Umweltentlastungen**.

Allerdings gilt dieses Resultat bei **kleineren** HKW nur für den Fall, daß technische Emissionsminderungen **über das gesetzlich geforderte Maß** hinaus angewendet werden, wie der Vergleich zwischen den EDS „Gesetz“ und „Optimierte

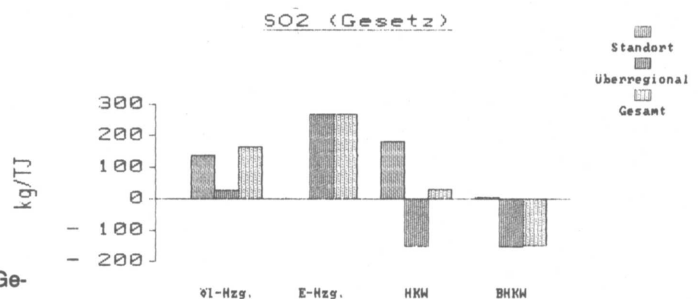


Abb.: Ausgewählte Ergebnisse des Emissionsvergleichs für die EDS „Gesetz“ und „optimale Technik“, Erläuterungen siehe Text

Die Ergebnisse der EW-II-Studie

Das ÖKO-Institut hat in der Energiewende-II-Studie den aktuellen emissionsseitigen Datenstand zusammengetragen und methodische Ansätze entwickelt, die den o. g. Anforderungen einer Prozeßkettenanalyse entsprechen ÖKO-Institut 1985. Als methodische Grundlage wurde ein Rechenverfahren entwickelt und begründet, das die Emissionen von Energiesystemen von der Primärenergiegewinnung über die jeweiligen Umwandlungsstufen bis hin zur Nutzenergie berücksichtigt und bilanziert (FRITSCHÉ 1984 b + 1987) a.

Ausgehend von einer Datensammlung über die Emissionen von Energiesystemen (Stand Jahresanfang 1985), den möglichen Emissionsminderungen durch

sich in dem Materialienband zum Umweltteil der Energiewende-II-Studie (FRITSCHÉ 1987 a).

Ausgewählte Ergebnisse des Emissionsvergleichs für die EDS „Gesetz“ und „Optimierte Technik“ zeigen die **Abbildungen 1—7**.

Die Emissionsbilanzen wurden nicht nur für die Gesamtemissionen der Energiesysteme berechnet, sondern es wurde zusätzlich zwischen den lokal freigesetzten („Standort“) und den überregional emittierten Schadstoffmengen („überregional“) differenziert.

Mit dieser Unterteilung wird es möglich, einerseits den Einfluß der vorgelagerten Prozeßkettenstufen zu erkennen.

Andererseits kann — unter **Immissions** Gesichtspunkten wichtig — die lokale Emissionsmenge bei unterschiedlichen Energiesystemen als ergänzender Vergleichsmaßstab zur überregionalen Bi-

Technik“ zeigt.

Die Ergebnisse belegen weiterhin, daß die Verwendung von Elektrizität zur Wärmebereitstellung (Elektrospeicherheizung) die **höchsten** Schadstoffabgaben aufweist, selbst wenn optimistische Annahmen für die Rauchgasreinigung in den die E-Heizung versorgenden Kraftwerken getroffen werden.

Zudem erfordern Stromheizungen nach unseren Ergebnissen auch den **höchsten Primärenergieaufwand** pro Nutzwärmeinheit.

Diese Größe kann als **Indikator** für andere Umweltbelastungen herangezogen werden: die Arbeiten von Euler zeugen, daß der Primärenergieaufwand je Nutzwärmeinheit als Maß für die Flächen- und Wasserbelastung der Energiesysteme dienen kann (EULER 1984).

Daher ist die E-Heizung auch für einen über Emissionsbilanzen hinausgehenden

ökologischen Blickwinkel ungünstig zu bewerten.

Wegen der erheblichen Bedeutung dieser Ergebnisse für die Debatte um das elektrische Heizen wird ein ausführlicher Beitrag hierzu in den nächsten ÖKO-Mitteilungen erscheinen.

Regenerative Energien und Energieeinsparungen

Über die bisher diskutierten Energiesysteme hinaus müssen auch die regenerativen Energien sowie die Energieeinsparung als „Energiequellen“ in Umweltvergleichen beachtet werden, da sie in einer ökologischen Energiewirtschaft eine zunehmende Bedeutung erlangen (GERTIS 1986, ÖKOINSTITUT 1985, FRITSCH 1987b).

Die erneuerbaren Energien weisen mit Ausnahme der Biomasse keine direkten Luftschadstoffemissionen bei ihrer Nutzung aus. Ihre Umweltwirkungen werden **indirekt** verursacht (vgl. unten).

Die bei der Nutzung von **Biomasse** entstehenden direkten Emissionen weisen

- die Nutzung von Biogas (Klärgas usw.)
- die direkte thermische Nutzung von Abfallbiomasse (Holz + Stroh)
- die Vergasung von Biomasse

Die Erzeugung von **Biogas** durch die anaerobe Zersetzung von Biomasse (Vergärung) liefert ein methanreiches Gas, das sich nach der Trocknung und ggf. Entschwefelung zur Nutzung in Gaskesseln, Blockheizkraftwerken oder auch Gasturbinen gut eignet.

Biogas aus landwirtschaftlichen Abfallbiomassen (Gülle aus Mastbetrieben und sonstiger Tierhaltung) kann zudem Umweltentlastungen hinsichtlich der Geruchsemissionen bringen und einen gut nutzbaren Dünger bereitstellen, der wiederum energie- und emissionsintensiv hergestellten Kunstdünger ersetzt und so zusätzlich indirekt Emissionen einspart. Die Entstickung von biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken (BHKW) ist mittlerweile Stand der Technik, ebenso wie die z. T. erforderliche Vorentschwefelung des Biogases (HMUE 1986 a).

Weiterhin besteht, zumindest bei der Einhaltung besonderer Anforderungen, auch ein ökologisch akzeptabel nutzbares Bio-

triebene Anlagen.

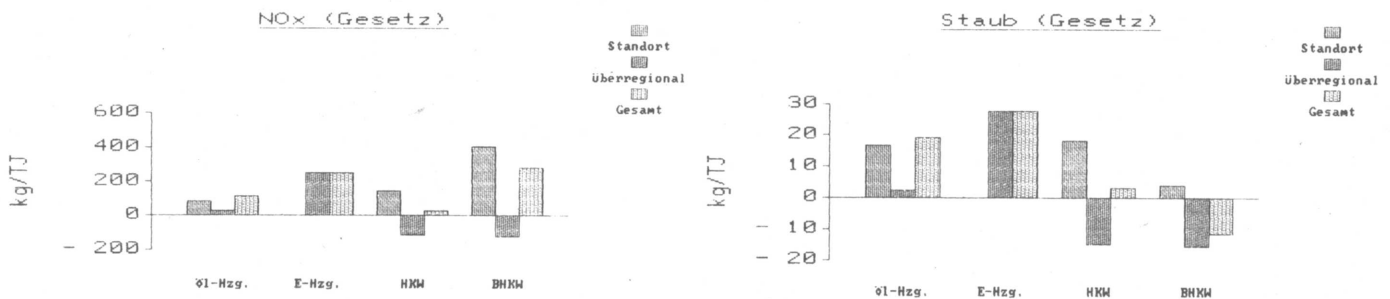
Die zweite Nutzungsart der Biomasse besteht in der direkten Verbrennung von Abfall- oder Restholz sowie von Rest- oder Überschußstroh.

Die direkte Verbrennung von **Holz** hat in der BRD zwar eine lange Tradition, bislang aber wegen überwiegend unzulänglicher Verbrennungstechnik und falscher Brennstofflagerung und -aufbereitung hohe Schadstoffabgaben pro bereitgestellter Nutzenergie.

Als Verbrennungstechnik für Holzfeuerungen kommt wegen der Emissionsproblematik z. Zt. im unteren Anlagenbereich nur teilvergasende Holzhackschnitzel- oder Pelletfeuerung in Frage.

Diese Feuerungstechnik nutzt einen weitgehend homogenisierten Brennstoff, der geregelt zugeführt werden kann und unterteilt die Verbrennung in eine Vergasungsphase und eine Nachverbrennung. Dies erlaubt zusammen einen schadstoffarmen Betrieb (FRITSCH 1987 a, HMUE 1986 b), der durch den Einsatz von Katalysatoren noch weiter optimiert werden kann.

Bei größeren Leistungen ist vor allem die Wirbelschichtfeuerung (WSF) geeignet, geringe Emissionen und hohe Wirkungs-



im Gegensatz zu den bisher behandelten Energiesystemen nur geringe Mengen an „klassischen“ Schadstoffen wie Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x) auf. Umweltseitig problematisch sind hier vielmehr die an den Stäuben haftenden und gas- und aerosolförmig vorliegenden **organischen Schadstoffe**, die z. T. mutagene und kanzerogene Wirkungen zeigen und daher besonders gesundheitlich relevant sind. Wegen dieser anders gelagerten Umweltprobleme wurde im Materialienband zum Umweltteil der EW-II-Studie ein eigenes Kapitel für die Umweltwirkungen der Biomasse vorgesehen. Die folgenden Darstellungen beziehen sich im wesentlichen auf diese Arbeit, da dort ausführlich Einzelquellen und Daten nachgewiesen sind (FRITSCH 1987)a. Biomasse kann als Brennstoff für Energiesysteme in verschiedenen Nutzungsoptionen eingesetzt werden, die jeweils unterschiedliche Schadstoffabgaben aufweisen:

gaspotential in der Vergärung der organischen Fraktionen im Hausmüll („Naßmüll“).

Als besondere Anforderung ist hier vor allem die **getrennte Erfassung** dieser Naßmüllfraktion zu nennen, um die Verschmutzung durch andere Abfälle und damit die Schadstoffgehalte in der Biomasse gering zu halten. Nur dann kann der Vergärungsrückstand auch weiter als Kompost genutzt und eine emissionsseitig problematische „Verschleppung“ von z. B. halogenierten Kohlenwasserstoffen in das Biogas vermieden werden.

Als Verwertungstechnik für Biogas haben sich neben den mittlerweile bekannten Gas-Ottomotoren mit Leistungen ab 100 kW(El) auch sogenannte Total-Energie-Module (TOTEM) bewährt, die auf der Basis von Pkw-Motoren arbeiten. Diese TOTEMs können auch für kleine Anlagen — ab 15 kW(El) — eingesetzt werden und arbeiten mit Dreibeige-Katalysatoren noch schadstoffärmer als erdgasbe-

grade zu erreichen. Für die WSF muß der Brennstoff ebenfalls in Pellet- oder Hackschnitzelfan zugegeben werden.

In den USA wurde in den letzten Jahren mit der direkt holzbefeuerten **Gasturbine** eine weitere Technik für die energetische Holznutzung entwickelt. Im Rahmen des Biomasse-Forschungsverbunds Pazifik/Nord-Westen konnte eine 350kW(El)-Gasturbine erfolgreich erprobt werden, mittlerweile wird eine 3-MW(El)-Anlage betrieben. Zum Einsatz kommen auch hier Holzhackschnitzel, die mit einem Teil der Turbinenabgase vorgetrocknet werden. Leider liegen bisher noch keine übertragbaren Emissionsergebnisse vor, da in der BRD noch keine derartigen Anlagen existieren.

Dem Einsatz von **Stroh** in Feuerungen stehen prinzipiell die gleichen Probleme gegenüber wie der Holznutzung. Allerdings sind bisher die Erfahrungen mit emissionsarmen Stroheuerungstechniken in der BRD praktisch Null, da nur we-

nige Anlagen betrieben und emissionsseitig optimiert wurden. Die direkte Verbrennung von Stroh mit heutigen Techniken ist gegenüber der Holzfeuerung emissionsintensiver.

Alle Versuche, mit speziellen Feuerungstechniken die hohen CO-Emissionen und organischen Schadstoffe zu vermindern, sind bisher wenig erfolgreich, da bei hohen Verbrennungstemperaturen der Mineralienanteil des Stroh zu Verschlackungen führt, die den Betrieb der Feuerung und die Entaschung behindern. Auch der Versuch, ähnlich der Aufbereitung von Holz zu HHS das Stroh zu verdichten (Pellets oder Cobs), haben nur geringe Verbesserungen auf der Emissionsseite gebracht.

In den skandinavischen Ländern sind einige vielversprechende Ergebnisse von größeren Strohfeuerungen mit Abgasreinigung erzielt worden. Da bisher nur wenige Projekte zur schadstoffarmen Nutzung von Stroh existieren, liegt hier noch ein Entwicklungspotential.

Bei der Betrachtung muß außerdem den Emissionen bei einer energetischen Nutzung von Reststroh die erhebliche Schadstoffbelastung bei dem heute üblichen

Durch Gaswäschen oder Kondensatfallen entstehen Abwässer, die mit aufwendigen Reinigungstechniken behandelt oder energieintensiv nachverbrannt werden müssen, bevor sie in die Kanalisation oder einen Vorfluter eingeleitet werden dürfen. Die Verbesserung des Vergasungsprozesses hin zu einem teerfreien Produktgas und damit zu einer Lösung des Kondensatproblems steht noch aus. Die deutsche Referenzanlage konnte nur mit Kondensatverbrennungen betrieben werden. In den USA sind dagegen Vergaser entwickelt worden, die auf der Basis der Wirbelschichttechnik sehr teerarme Gase bereitstellen.

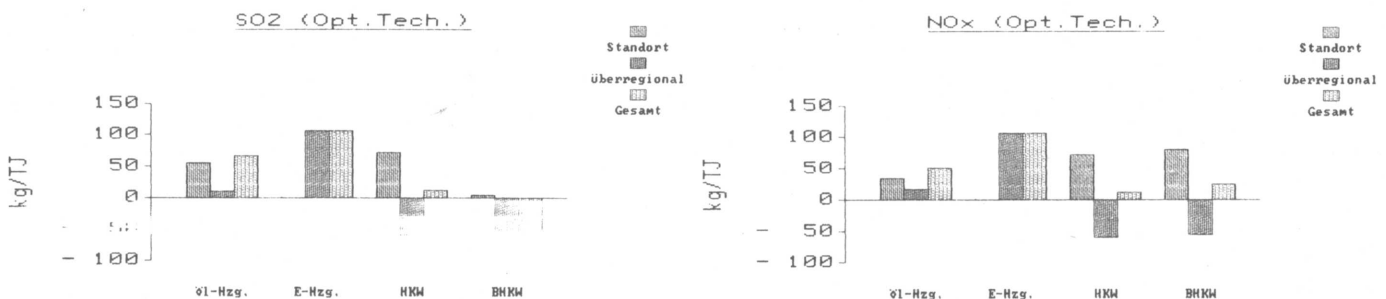
In der Bundesrepublik sind vergleichbare Entwicklungen nur für Großanlagen der Holzindustrie bekannt.

Die Vergasung von Stroh ist über die o. g. Probleme hinaus wiederum wegen den gegenüber Holz ungünstigeren Stoffeigenschaften noch mit dem Verschlackungsproblem bei den hohen Vergasungstemperaturen, die für ein teerarmes Gas erforderlich sind, verbunden. Die Vergasung in der deutschen Anlage war zudem mit gehäckseltem Stroh nur extrem schwierig aufrecht zu erhalten.

den, daß die hierbei auftretenden Emissionen bei sachgerechter Nutzungstechnik hinsichtlich SO₂ und NO_x **geringer** als bei konventionellen Energiesystemen sind und die Staubwerte und organischen Schadstoffe durchweg im **Bereich** der herkömmlichen fossilen Energien liegen. Unter diesen Aspekten gesehen ist die Biomassenutzung noch nicht besonders vorteilhaft.

Da aber bei der Nutzung von Rest- und Abfallbiomasse kein zusätzliches CO₂ freigesetzt wird (Nettobilanz), keine anteiligen Flächen- oder Wasserbelastungen auftreten und die Schwermetallemissionen gering sind, ist die ökologische Gesamtbilanz der Biomassenutzung **eindeutig** besser als bei den konventionellen Energieträgern.

Bei den anderen Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien, insbesondere Solarkollektoren, Solarzellen, sowie Wind- und Wasserkraftanlagen sind keine direkten Emissionen vorhanden. Hier wird vielmehr die Umwelt **indirekt** beeinflusst durch die Emissionen bei der Herstellung der Energiewandler (Anlagen und andere Systemkomponenten).



unkontrollierten Abflammen von Überschußstroh gegenübergestellt werden. Als zweite Option zur Verwendung von Holz und Stroh als Energieträger kommt die „Veredelung“ des Feststoffs zu Gas in Frage — die Verflüssigung scheidet wegen erheblicher Schadstoffprobleme aus, wenn nicht ganz neue Verfahren hierzu entwickelt werden.

Die Vergasung fester Biomasse ist — vom Prinzip her — eine durchaus bekannte Technik, die in den USA verstärkt und in der BRD immerhin teilweise zu modernen Anlagenkonzepten weiterentwickelt wird. Die Vergasung von Holz führt zu einem in Gaskesseln, Motoren oder Gasturbinen gut nutzbaren Schwachgas, sodaß von der Nutzungsseite her keine Schwierigkeiten existieren.

Die Probleme bei Systemen auf Holzgasbasis liegen vielmehr in den teerbelasteten Produktgasen, die vor der thermischen oder motorischen Nutzung aus dem Gas entfernt werden müssen (FRITSCH 1987 a).

Nach heutigen Erkenntnissen scheint hier die Verdichtung des Stroh zu zylinderröhrigen kleinen Preßlingen (Cobs) Abhilfe zu schaffen, genauere Daten stehen aber noch aus.

Sowohl für Holz wie auch für Stroh gilt, daß die Kombination von Vergasung und nachgeschalteter KWK-Anlage zwar unter günstigen Bedingungen schadstoffarm und effizient Strom und Wärme bereitstellen kann, die Kosten der Anlagen aber mit 4.000— 5.000 DM/kW(El) unter den heutigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen nur dann wirtschaftlich ist, wenn hohe Anlagenverfügbarkeiten und hohe Jahresnutzungsstunden gefahren werden können.

Kann jedoch eine angemessene Stromgutschrift realisiert werden, wie dies von uns unterstellt wird, so sind Vergasereinheiten **generell** wirtschaftlich zu betreiben, wenn das Kondensatproblem gelöst ist.

Zusammenfassend kann für die energetische Biomassenutzung festgehalten wer-

Diese indirekten Emissionen entstehen einmalig bei der Erzeugung der Materialien, aus denen die Systeme gefertigt werden sowie bei der Herstellung der Anlagen selbst.

Eine Umrechnung auf nutzenergiebezogene Emissionsfaktoren, die dann direkt vergleichbar mit den Ergebnissen der Emissionsbilanzen der konventionellen Systeme sind, kann erreicht werden, wenn die gesamte indirekte Emission durch die in der Lebensdauer insgesamt gelieferte Nutzenergie dividiert wird (zu den Einzelheiten vgl. FRITSCH 1987 a). Nach amerikanischen Untersuchungen sind diese indirekten Emissionen z. T. erheblich hoch (vgl. z. B. ANL 1982). Auch Angaben der KFA-Jülich führen zu relativ hohen indirekten Emissionen, die umgerechnet Emissionsfaktoren im Bereich von modernen Ölfeuerungen ergeben (KFA 1982 + 1983).

Im Rahmen der EW-II-Studie wurde eine aktualisierte Abschätzung der indirekten Emissionen vorgenommen, die vor allem

die neue TA Luft und die GFAVO berücksichtigt, da diese Regelungen zu spürbaren Senkungen der Schadstoffemissionen im Produktionsbereich führen werden.

Mit dieser Analyse konnte gezeigt werden, daß die für die deutschen Produktionsverhältnisse zu erwartenden indirekten Emissionen von regenerativen Energiesystemen deutlich unter denen von herkömmlichen Energiesystemen liegen (FRITSCH 1987 a).

Da die erneuerbaren Energieträger zudem langfristige Anteile auch der Energieversorgung im Produktionsbereich übernehmen können (vgl. ÖKO-INSTITUT 1980), werden die indirekten Emissionen in Zukunft noch wesentlich weiter sinken und rd. **eine Größenordnung unter** den Direktmissionen von fossilen Energiesystemen liegen.

Damit sind die regenerativen Energiesysteme insgesamt neben der Energieeinsparung (vgl. unten) die umweltfreundlichsten Energieoptionen.

Der Ansatz zur Bestimmung der indirekten Emissionen durch den Materialauf-

medämmermaterials erfaßt und mit den Emissionsfaktoren der Energiebereitstellung verknüpft (FEIST 1986 a). Auch bei dieser Arbeit erwies sich die Wärmedämmung in ihren indirekten Emissionen als sehr günstig.

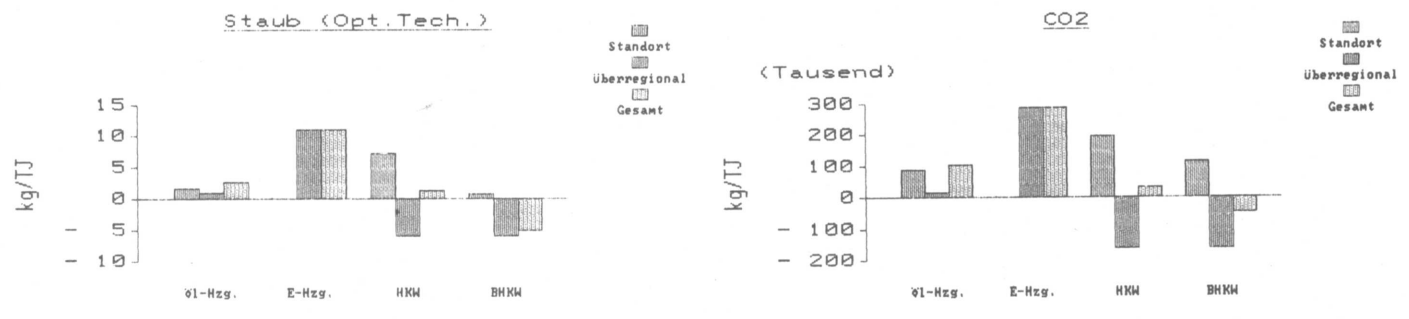
Gestützt werden diese Resultate zudem durch ein **Fallbeispiel**, daß in KLINKENBERG/TIESLER 1984 diskutiert wird. Hier wurden die Emissionen bei der Herstellung von Mineralfaser-Dämmstoffen frei Fabrik erfaßt und der Emissionsminderung gegenübergestellt.

Eingewendet wird **gegen** die Umweltfreundlichkeit der Wärmedämmung, daß gut gedämmte Häuser zu erhöhten Schadstoffbelastungen in den Innenräumen, insbesondere durch organische Verbindungen und das radioaktive Gas Radon führe. Wie FEIST 1986 b aber ausführlich diskutiert, stimmt diese Argumentation für eine bauphysikalisch und wohnhygienisch richtig ausgelegte Dämmung **nicht**, da hier ausreichende Luftwechselraten schon zur Feuchtigkeitsabfuhr eingeplant werden und die Dämmung sogar einen abschirmenden Effekt gegen Ra-

sionen des aktiven Heizsystems.

Wird dieses aktive System so gewählt, daß es schon geringe Emissionen aufweist, (Gas-Brennwertkessel, Nahwärme aus KWK- Anlagen, regenerative Energien), ergibt sich **zusammen** mit der Dämmung das **ökologisch günstigste Heizsystem**.

Die günstige Umweltbilanz der Dämmung kann dagegen konterkariert werden, wenn ein Niedrig-Energiehaus für die Restwärmebereitstellung ein elektrisches Heizsystem nutzt — dann kann **bestenfalls** der Emissionsstandard von heutigen Ölheizungen (ohne Dämmung!) erreicht werden — und dieser liegt gegenüber dem o. g. ökologisch interessanten Heizsystemen 2—10 mal höher.



wand kann auch genutzt werden, um die spezifischen Schadstoffabgaben **pro eingesparter Heizenergie** zu bestimmen. Die Energieeinsparung, insbesondere durch Wärmedämmung, kann nämlich ebenfalls als „Heizsystem“ verstanden und daher in den Emissionsvergleich der Heizenergiesysteme aufgenommen werden.

Im Rahmen der EW-II-Studie wurden entsprechende Analysen durchgeführt (vgl. FRITSCH 1987 a). Als Resultat bleibt festzuhalten, daß, wie bei den erneuerbaren Energiesystemen auch, die Wärmedämmung extrem geringe indirekte Emissionen verursacht, die zudem ebenfalls in Zukunft noch weiter abnehmen werden. Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit einer methodisch anders ansetzenden Analyse. Hier wurde nicht eine Prozeßkette für die Materialvorleistungen bestimmt, sondern der spezifische Energieaufwand zur Herstellung des Wär-

donaustritt vor allem aus dem Erdreich bewirkt.

Die Energieeinsparung ist daher das umweltfreundlichste „Heizsystem“ überhaupt.

Dieses gilt umso mehr, als gut gedämmte Häuser auch noch durch **passiv-solare** Bauweise (für die **überhaupt keine** Emissionen anzurechnen sind) ohne aktive Technik Sonnenenergie zu höheren Anteilen nutzen können (FEIST 1986 c).

Für den Vergleich von Heizenergiesystemen muß aber beachtet werden, daß die Wärmedämmung **allein**, zumindest für deutsche Klimaverhältnisse und beim heutigen technischen Stand, nicht zur Beheizung eines Hauses ausreicht — wirkliche „Nullenergie-Häuser“ wie z. B. das von A. Lovins in den USA erfordern eine höhere Sonneneinstrahlung.

Die Dämmung führt aber wegen ihrer vernachlässigbar geringen indirekten Emissionen zu einer Nutzenergieeinsparung proportionalen Verringerung der Emis-

Perspektiven unserer Arbeit

Nicht-quantifizierbare Umweltwirkungen

Die bisher diskutierten Arbeiten dienen alle der Erfassung von quantitativen Umwelteffekten. Für den Anspruch, Umweltwirkungen von Energiesystemen aufzuzeigen und für Entscheidungen verfügbar zu machen, sollten aber **zumindest perspektivisch** auch die bislang nur **qualitativ** faßbaren Umweltwirkungen einbezogen werden, zumal hier schon erste Untersuchungen (zu Flächenbedarf und Wasserverbrauch) vorliegen (EULER 1984).

Dies ist immer dann zu fordern, wenn solche Effekte zumindest prinzipiell vorliegen können und in ihrer Intensität nicht vernachlässigbar (z. B. gegenüber anderen Verursachern außerhalb des Energiebereichs) erscheinen.

Hierzu ist es notwendig, solche qualitativen Wirkungen systematisch zu erfassen und nach der „Verursachungsintensität“ durch die jeweiligen Energiesysteme zu fragen.

In diese Überlegungen müssen zudem auch die gegenüber konventionellen Energiesystemen sehr unterschiedlichen Umweltwirkungen der Atomenergie einbezogen werden.

Ob und wie weit dies alles gelingen kann, konnte in den bisherigen Arbeiten des ÖKO-Instituts nicht geklärt werden — der Problembereich ist noch weitgehend offen.

Ein neues Projekt

Ausgehend von diesen offenen Fragen sowie der Notwendigkeit, über ein standardisiertes und leicht nutzbares Instrument zur Emissionsbilanzierung im Rahmen von Energiekonzepten und Energieberatungen zu verfügen, hat das ÖKO-Institut mittlerweile Forschungsanträge zu diesen Problemkreisen beim UBA und beim HMUE gestellt.

Im Rahmen dieses Projektes sollen außer den o. g. Fragen vor allem weitere Daten über emissionsseitig optimierte regenerative Energiesysteme sowie über die Emissionen durch vorgelagerte Prozeßstufen (Bergbau, Raffinerien, Transport, Materialvorleitungen) erhoben werden, da hierzu bisher die am wenigsten abgesicherten Werte vorliegen.

Weiterhin kann durch das neue Projekt auch weiterhin die wissenschaftliche Diskussion um die Umweltauswirkungen von Energiesystemen intensiv verfolgt werden, womit eine Grundlage für auch zukünftig gg. erforderliche kritische Stellungnahmen zu neuen Arbeiten gegeben ist.

Solche Untersuchungen sind beispielsweise bei der — nicht gerade als ökologisch orientiert bekannten — Forschungsstelle für Energiewirtschaft z. Zt. im Gange (SCHAEFER/HARTMANN/JENSCH 1986).

Die Debatte ist also nicht zu Ende!

Literatur

- AGFW/BGW/VDEW 1984:** Parameterstudie Örtliche und Regionale Versorgungskonzepte für Niedertemperaturwärme, Frankfurt
- ANL 1982:** National implications of high solar and biomass energy growth: Executive Summary of the Technology Assessment of Solar Energy (TASE) Project, ANL-EES-TM-215, Argonne (USA)
- BFLR 1984:** Umweltwirkungen von Wärmeversorgungssystemen und Möglichkeiten ihrer Reduzierung, H. Euler/A. Peters, in: Energie und Umwelt, Informationen zur Raumentwicklung Heft 7/8 (1984), S. 749 ff
- BOSSEL 1981:** Abschätzung der Umwelteinwirkungen energierelevanter Rechtsnormen und Gesetzesvorhaben im Bereich der Raumwärme: Aufgabenstellung, Instrument, Anwendung. Hannover/Freiburg/Zürich.
- DIW/ISI 1984:** Abschätzung des Potentials erneuerbarer Energiequellen in der BRD, Berlin/Karlsruhe
- EULER 1984:** Umweltverträglichkeit von Energieversorgungskonzepten, Forschungen zur Raumentwicklung Bd. 12, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn
- EULER 1985:** Ökologische Bewertung von Energieversorgungskonzepten für industrielle Ballungsgebiete unter dem speziellen Blickwinkel der SO₂- und NO_x-Emissionen und - Immissionen, H. Euler, in: Luftverunreinigung 1985, Düsseldorf, S. 37 ff
- FEIST 1986 a:** Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen, W. Feist, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
- FEIST 1986 b:** Betrifft: Radon-Zerfallsprodukte in Häusern, W. Feist, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt (Juni)
- FEIST 1986 c:** Niedrig-Energiehäuser — ein Reisebericht, W. Feist, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt (Dezember)
- FRITSCHKE 1984 a:** Wie heizt man umweltfreundlich? in: Das Waldsterben, AK Chemische Industrie (Katalyse Umweltgruppe (eds.), Köln 1984, S. 223 ff
- FRITSCHKE 1984 b:** Zur Umweltwirkung von Energiesystemen, in: ÖKO-INSTITUT 1984
- FRITSCHKE 1985:** Technischer Stand der Emissionsminderung, Werkstattreihe des ÖKO-Instituts Nr. 21, Freiburg
- FRITSCHKE 1986:** Umweltwirkungsanalyse im Rahmen des Energiekonzepts Viernheim, Darmstadt (hekt. Man.)
- FRITSCHKE 1987 a:** Umweltrelevanz als Beurteilungskriterien für Energiesysteme, Werkstattreihe des ÖKO-Instituts, Freiburg
- FRITSCHKE 1987 b:** Alternativen zur Atomenergie, Vortragsmanuskript, Darmstadt +
- GERTIS 1986:** Wärmedämmung, Energieeinsparung und Umweltschutz, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart
- HMUE 1986 a:** „Klärgasnutzung in Kraft-Wärme-Kopplung — Dokumentation einer Fachtagung“, Hessischer Minister für Umwelt und Energie, Wiesbaden
- HMUE 1986 b:** „Energieerzeugung aus Restholz — technische, wirtschaftliche und umweltbezogene Parameter“, Studie der HLT/COOPERATIVE im Auftrag des Hessischen Ministers für Umwelt und Energie, Wiesbaden
- INFRAS 1981:** Prozeßdatenspiegel für 42 Förderungs- Transport- und Umwandlungsprozesse im Bereich der Raumwärmeverorgung (UBA-Projekt 101 05 006), Zürich
- ISP 1981:** Abschätzung der Umweltverträglichkeit energierelevanter Gesetzesvorhaben — Rechenprogramm, Arbeitsverfahren und Anwendung, Hannover
- KFA 1978:** Der Energieaufwand zum Bau und Betrieb ausgewählter Energieversorgungstechnologien, H. J. Wagner, Berichte der KFA Jülich 1561, Jülich
- KFA 1982:** Umweltgefährdung durch Heizungssysteme — ein Vergleich ausgewählter Systeme, W. Huber, in: Wissenschaft und Umwelt Heft 3 (1982), S. 147 ff
- KFA 1983:** Stand und Entwicklungstendenzen der Raumwärmeverorgung der Haushalte — Vergleich ausgewählter Heizungssysteme unter energetischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten, M. Plewnia/J. Schmitz/W. Huber, spezielle Berichte der KFA Jülich Nr. 234/Bd. 3, Jülich
- KFA 1986:** Fernwärme — energetisch betrachtet, H. J. Wagner, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen Heft 10 (1986), S. 881 ff
- KLINKENBERG/TIESLER 1984:** Mineralfaser- Wärmedämmstoffe — ein Beitrag zur Luftreinhaltung, D. Klinkenberg/H. Tiesler, in: wksb Heft 18 (1984), S. 35 ff
- OECD 1983:** Environmental effects of energy systems — the OECD COMPASS project, Paris
- ÖKO-INSTITUT 1980:** Energiewende, H. Bossel / F. Krause/ K.-F. Müller-Reißmann, Frankfurt
- ÖKO-INSTITUT 1984:** Energie und Umwelt, Werkstattreihe des ÖKO-Instituts Nr. 11, Freiburg
- ÖKO-INSTITUT 1985:** Energiesysteme im Umweltvergleich, in: Die Energiewende ist möglich, P. Hennicke et al., Frankfurt
- PROGNOS/FICHTNER 1984:** Parameterstudie Örtliche und Regionale Versorgungskonzepte für Niedertemperaturwärme, Frankfurt
- SCHAEFER/HARTMANN/JENSCH 1986:** Dezentrale Energieversorgung — Aspekte und Chancen, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen Heft 10 (1986), S. 610 ff
- UBA 1984 a:** Umweltaspekte der Fernwärme, P. Beck/H. Blümel/W.-D. Glatzel, in: VDI 1984, S. 179 ff
- UBA 1984 c:** Umweltvorsorge durch Energieversorgungskonzepte, W.-D. Glatzel/P. Beck, in: BFLR 1984, S. 769 ff
- VDI 1984:** Umweltschutz in der kommunalen Energieversorgung, VDI-Bericht 543, Düsseldorf

Der Autor:

Uwe Fritsche ist Mitarbeiter am Öko-Institut, Büro Darmstadt