

GEMIS: Konzeption und Ergebnisse

U. Fritsche, L. Rausch, K.-H. Simon

Das Öko-Institut bearbeitet z.Zeit zusammen mit der Forschungsgruppe Umweltsystemanalyse der Gesamthochschule Kassel das Projekt Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (kurz GEMIS), bei dem Umweltaspekte verschiedenster Energiesysteme analysiert und vergleichend gegenübergestellt werden. Bereits im früheren Beitrag »Energiesysteme im Umweltvergleich« wurde in den ÖKO-Mitteilungen (Heft 2/87) auf die Grundlagen bei umweltbezogenen Vergleichen näher eingegangen. Im folgenden werden Ergebnisse des kurz vor Abschluß stehenden GEMIS-Projekts dargestellt.

Das GEMIS-Programm

Kernstück von GEMIS ist ein eigens für die Umwelt-Simulation entwickeltes Computerprogramm. Der Programmablauf wurde folgendermaßen konzipiert:

Zu Beginn erfolgt die Definition von **Brennstoffen** (Kohle, Öl, Biogas usw.), im zweiten Schritt werden **Energieanlagen** definiert. Hierbei verstehen wir unter Energieanlagen einerseits alle Techniken, die zur Energiebereitstellung

dienen (z.B. Heizungen, Solarzellen). Andererseits werden auch solche Systeme zu den Anlagen hinzugerechnet, die zur Bereitstellung der Brennstoffe benötigt werden (z.B. Kohlebergwerke, Öltanker usw.). Als Umweltaspekte werden gasförmige Schadstoffe, feste Reststoffe sowie Flächeninanspruchnahme erfaßt. Die Anlagen werden hierzu mit **Emissionsdatensätzen** versehen (SO₂, NO_x, Staub- und CO₂-Emissionen sowie Reststoffe und Flächenbedarf).

Dritter Schritt im Programmablauf ist die Definition von **Szenarien**. So können z.B. einzelne Heizsysteme wie Ölheizung, Stromheizung und Nahwärme einander gegenübergestellt werden, ferner lassen sich Szenarien für Stadtteile, Gemeinden, Landkreise, usw. eingeben. Auf diese Weise können die in einem Energiekonzept bestimmten Optionen mit unterschiedlichen Heizsystemen verglichen werden, wobei auch die Energiequelle »Energieeinsparung« berücksichtigt werden kann.

Ergebnis der Szenarien ist eine Bilanz für die im Emissionsdatensatz enthaltenen Umweltaspekte für die gesamten Prozeßketten.

Neben der Anwendung bei der Erstellung von Energiekonzepten kann GEMIS zur Energieberatung, Energieanlagen-Förderung sowie bei der Umweltverträglichkeitsprüfung von Energieanlagen eingesetzt werden.

Über die Emissionen hinaus

In der Regel sind die aus den Emissionen resultierenden Immissionen **nicht** zu betrachten, da einerseits die hierzu verwen-

deten Rechenmodelle umstritten sind, andererseits Immissionsanalysen, die auf einfachen Ausbreitungsrechnungen beruhen, in den Ergebnissen sehr unsicher sind.

In wenig vorbelasteten Gebieten außerhalb der Ballungsräume reicht es aus, bei den Emissionsbilanzen zwischen den **lokal** freigesetzten (»Standort«) und den überregional emittierten Schadstoffmengen zu differenzieren. Diese Unterteilung liefert grobe **Hinweise** auf die mit »vor-Ort«-Emissionen verbundenen Immissionen, die in überschlägige Be- und Entlastungsrechnungen eingehen können (ÖKO-INSTITUT 1989a).

Die oft aufgestellte Forderung, zwar Luftschadstoffe in den Mittelpunkt der Umweltanalyse zu stellen, andere Umweltaspekte aber nicht zu vergessen (z.B. EULER 1987), können wir nur unterstützen. Hierbei sind insbesondere die Aspekte Boden- bzw. Flächenbelastung, feste Reststoffe, Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten sowie Unfallrisiken zu beachten.

Das GEMIS-Programm übernimmt die Quantifizierung von **festen Reststoffen** sowie der **Flächeninanspruchnahme** auf allen Prozeßstufen. Diese Kenngrößen sind wegen Datenunsicherheiten allerdings als »weich« anzusehen und somit eher für qualitative Aussagen nutzbar.

Die oft verfolgte **quantitative** Einbeziehung von Risiken (z.B. verlorene Lebens-tage je GWh) ist von Methodik und Datenlage her kontrovers, da

- praktisch alle Wirkungen (»Risiken«) auf **den Menschen** bezogen werden, wobei direkte gesundheitliche Aspekte dominieren, d.h. »Umwelt« wird **anthropozentrisch** definiert und so ein

großer Teil des Problems (z.B. bedrohte Arten) von **vornherein ausgeblendet**

- die **Häufigkeit** des Eintritts von Schäden umstritten ist (z.B. GAU)
- das **Schadensausmaß** unsicher ist, da die Faktoren zur Verknüpfung von Emissionen und Wirkung (z.B. Krebs durch Radioaktivität) eine große Bandbreite (bis Faktor 13) aufweisen
- die resultierenden Belastungen eine **starke Variation** zeigen (geographisch, sozial, zeitlich)

Daher wurde anstelle quantitativer Analysen im GEMIS-Projekt eine **qualitative** Einbeziehung der Risiken verfolgt. Ebenfalls nur qualitativ kann die Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten behandelt werden, wobei hier eine starke **Standort-Abhängigkeit** auftritt, die Vergleiche erschwert. Solche **qualitativen Umweltaspekte** können vom GEMIS-Programm für die betrachteten Energiesysteme aufgezeigt werden, die Bewertung bleibt dem Nutzer überlassen.

Bewertung und Entscheidung

Die Ergebnisse des GEMIS-Programms liefern ein »Umweltprofil« für Energiesysteme — allerdings besteht dieses Profil aus **Einzelwerten** für Schadstoffe und Belastungen. Eine Gewichtung und Aggregation zu **einem** »Wert« ist nach unseren Ergebnissen **nicht** anzustreben, da die Methoden zur Aggregation einer kritischen Analyse nicht standhalten. Ihre Aussagekraft zu **ökologischen** Wirkungen ist definitionsgemäß gering, da die zur Normierung verwendeten Immissionsbegrenzungen in erster Linie am Schutz der **menschlichen** Gesundheit orientiert sind und ökologische Wirkungen kaum abbilden. Für wichtige Schadstoffe wie CO₂ sind zudem keine Grenzwerte definiert, ebenso fehlen sie für krebserregende Substanzen, so daß die Methode der Aggregation und Gewichtung versagt.

Ergebnisse von Umweltanalysen sind daher **unaggregiert** den Entscheidern zu präsentieren. Die Entscheider müssen **ihre eigenen Werturteile** zur Gewichtung der unterschiedlichen Aspekte einbringen, die Umweltanalyse darf allein mit Sensitivitätsbetrachtungen helfen. Diese politische Dimension verlangt zudem, daß die Wertung im politischen Prozeß der Meinungsbildung zu diskutieren sein muß. Dennoch bleiben Fragen, die wis-

senschaftlicher Methodik zugänglich sind:

- welchen **Entscheidungsspielraum** gibt es?
- welche **Voraussetzungen** erleichtern eine Entscheidung?

Szenarienorientierte Entscheidung

Die Frage nach dem Spielraum dient der Klärung, welche positiven/negativen Beiträge zur Erfüllung von Zielen der Entscheider durch die Optionen geleistet werden. Die Klärung läßt sich unterstützen, indem **Szenarien** formuliert werden, die jeweils **einen** Zielbereich optimal erfüllen. Durch die **Gegenüberstellung** der Szenarien wird erkennbar, welche Optionen gegenüber mehreren Zielen positive Beiträge leisten, und ob es Optionen gibt, die **robust** und gegenüber mehrfacher Zielsetzung sind. **Szenarien können den Entscheidungsspielraum ausloten.** Die szenarienorientierte Bewertung wird von einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen in Seattle (USA) verwendet, um das zukünftige Mix von Stromerzeugungsoptionen zu bestimmen (SCL 1987). Ein deutsches Beispiel hierzu ist die Arbeit der Berliner Energie-Enquête-Kommission, die u.a. ein »ÖKO«-Szenario entwickelte.

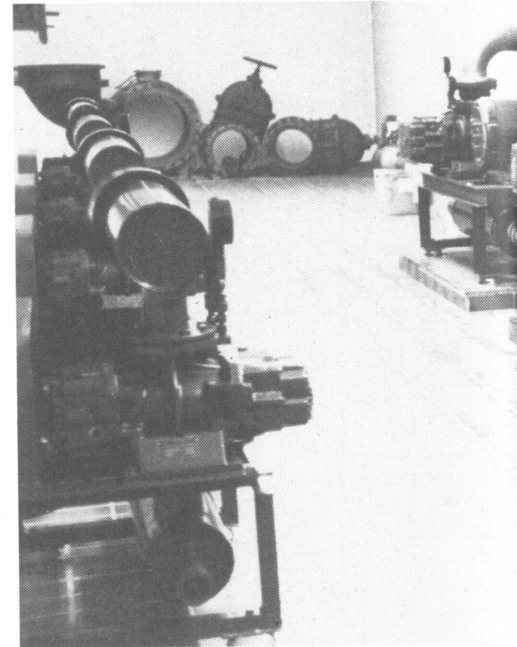
Hier zeigt sich die Stärke von GEMIS: der Computer-Einsatz erlaubt es, schnell solche Szenarien zu entwerfen und verschiedene Gewichtungen »durchzuspielen«, sogar im direkten Dialog mit Entscheidern!

Vorbedingungen als Hilfe zur Entscheidungsfindung

Darüber hinaus kann durch Festlegung von geeigneten Vorbedingungen die **Vielfalt** der Umweltprobleme reduziert und so die Entscheidung erleichtert werden. Die Idee ist dabei, nicht etwa Aspekte zu ignorieren, sondern Umweltaspekte durch **Minderungsmaßnahmen** und Nutzungsschranken so weit zu reduzieren, daß sie nicht mehr **entscheidungsrelevant** sind.

Dies bietet sich besonders für **qualitative** Umweltaspekte der regenerativen Energien sowie der Energieeinsparung an:

- Bei der Biomasse-Gewinnung dürfen nur Flächen ohne Erosionsgefahr und (Grund)Wasserprobleme genutzt werden. Weiterhin ist der Biomasse-Entzug auf die Menge zu begrenzen, die das jeweilige Ökosystem ohne nachhaltigen Nährstoffverlust anbietet.
- Solaranlagen (thermisch und elektrisch) sind vorrangig auf schon genutzten Flächen (z.B. Dächer) zu installieren. Standorte dürfen nicht zu

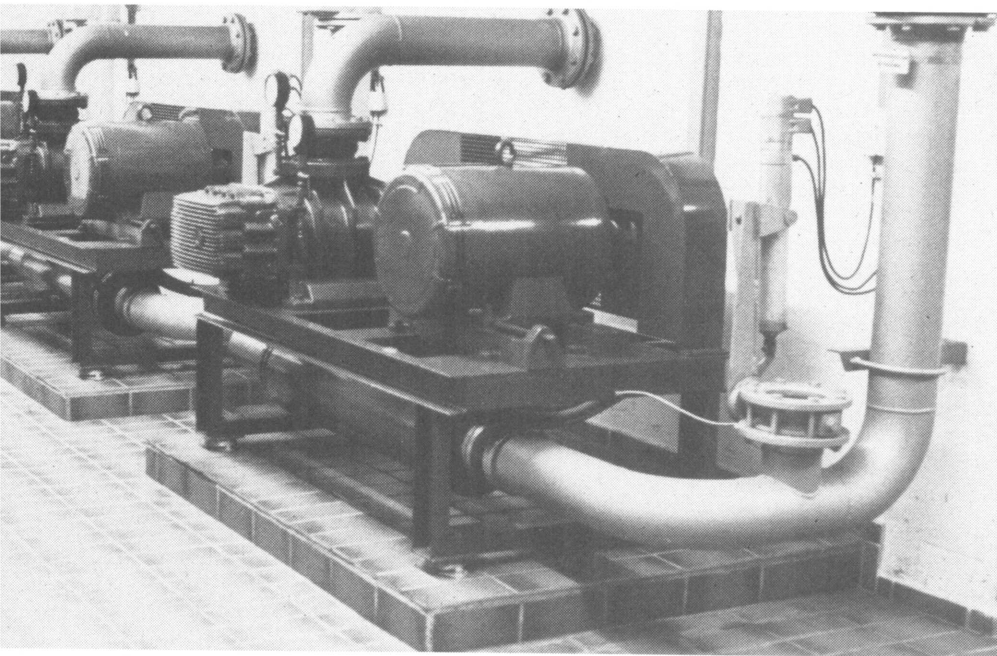


Gefährdungen der Tier- bzw. Pflanzenwelt führen, sondern sind im Gegenteil als Biotope zu gestalten (STOY 1987)

- Umweltrelevante Einsatzstoffe für stromsparende Geräte (z.B. FCKW-Kältemittel in Kühlschränken, Quecksilber in Leuchtstoff-Lampen) sind zu recyklieren, Materialien für Maßnahmen zur rationellen Energienutzung dürfen keine Gefährdung der Nutzer (z.B. Asbest, PU-Schäume) hervorrufen.

Zum einen wird durch diese **Vorbedingungen** das technisch-wirtschaftliche Potential der Ressourcen reduziert, zum anderen kann das **verbleibende** Potential als »generell umweltfreundlich« bewertet werden. Durch die Ausklammerung wird also erreicht, wichtige qualitative Aspekte aus der Bewertung herauszuziehen und damit die Bewertung zu vereinfachen.

Die gleiche Methode kann auch bei quantitativen Umweltaspekten zur Erleichterung der Entscheidung dienen: z.B. kann eine Energieoption wenig SO₂, dafür aber hohe Reststoffmengen abgeben und eine andere wenig Reststoffe, dafür aber viel SO₂. In solchen Fällen ist zu prüfen, ob nicht durch **Minderungsmaßnahmen** diese Gegenläufigkeit soweit verringert werden kann, daß eine Option robust gegenüber dem Ziel einer Minimierung von SO₂ und Reststoffen ist. Somit ist die umweltbezogene Bewertung von Energiesystemen kein »Einmal-Durchlauf«, sondern ein **rekursiver** Pro-



zeß, der mit EDV-gestützten Instrumenten wie dem GEMIS-Programm sinnvoll gestaltet werden kann.

Erste Ergebnisse

Im folgenden werden die bisherigen Ergebnisse unseres Projekts zusammengefaßt, wobei hier »Standard«-Daten zugrunde liegen, d. h. im Einzelfall sind diese Daten den konkreten Bedingungen anzupassen. Die Resultate werden summarisch erläutert, Einzelheiten gibt die Literatur (ÖKO-INSTITUT 1989b).

Rationelle Wärme- und Stromnutzung

Am umweltverträglichsten sind alle Energieoptionen, die zur rationelleren **Nutzung** von Endenergien (Strom, Treibstoffe...) führen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die mit der **Herstellung** der Komponenten (Dämmaterialien, Elektronik usw.) verbundenen Emissionsmengen gegenüber den eingesparten **vernachlässigbar gering** sind, wenn moderne Herstellungsverfahren eingesetzt und anfallende Reststoffe minimiert/zykliert werden.

Ohne diese Voraussetzungen sind auch Optionen zur rationellen Energienutzung **nicht per se** umweltfreundlich. Vielmehr ergibt sich dann als Problem, die Umwelt-

aspekte der Maßnahmen gegenüber denen der eingesparten Energieträger zu bewerten, was nicht generell möglich ist.

Konventionelle Heizsysteme

Ausgehend von modernen Anlagenkonzepten wurden im GEMIS-Projekt typische Zentralheizsysteme vergleichend analysiert.

Bei herkömmlichen Heizsystemen emittieren **gasbetriebene** Systeme die wenigsten Schadstoffe und weisen auch bei anderen Umweltaspekten die geringsten Belastungen auf. Hierbei verursachen Gas-Gebläsebrenner, die sogar mit NO_x-Katalysatoren erhältlich sind, die geringsten Umweltbelastungen. **Ölheizungen** bilden das Mittelfeld, sie emittieren mehr SO₂- und CO₂ als Gassysteme und weisen auch höhere NO_x- und Staubwerte auf. **Nachtstrom-Heizungen** werden überwiegend mit Strom aus Steinkohlekraftwerken betrieben, daher sind die Emissionen **deutlich höher** als bei Öl- und Gasheizungen (vor allem bei NO_x, Staub, CO₂), auch die Reststoffmengen sind **drastisch** höher. Sollten **zukünftig** Atomkraftwerke Heizstrom bereitstellen, sinken zwar die »klassischen« Emissionen, dafür muß aber das Unfallrisiko berücksichtigt werden. Weiterhin verschärft sich das Reststoffproblem wegen der ungelösten »Entsorgung« des Atom Mülls, sodaß die Umweltbeurteilung des elektrischen Heizens **nicht besser** wird.

Am **schlechtesten** schneiden **Kohle-Heizungen** (Stein- und Braunkohle-Brikett) ab, ihre Emissionen sind nochmals höher als die der Stromheizung. Hinzu kommen erhebliche Mengen an

krebserregenden Stoffen, die in niedriger Quellhöhe abgegeben werden. Dies spricht dafür, **Heizungen nicht mit fossilen Festbrennstoffen zu betreiben** (ÖKO-INSTITUT 1987).

Kraft-Wärme-Kopplung

Gegenüber konventionellen Heizsystemen sind Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aufgrund der rationelleren Energienutzung **in der Regel** weniger umweltbelastend, weshalb ihr verstärkter Einsatz z. B. vom Sachverständigenrat für Umwelt nachdrücklich gefordert wird (SRU 1987). Diese Aussage bedarf jedoch einer Differenzierung:

- KWK-Anlagen zur Nutzung von **Kohle** sind **nur dann** emissionsseitig günstig gegenüber konventionellen Heizsystemen, wenn sie mit leistungsfähigen Abgasreinigungssystemen ausgestattet sind. Dies gilt üblicherweise **nur** für große Heizkraftwerke (HKW) über 300 MW_{th} Feuerungswärmeleistung. Beim Einsatz modernster Emissionsminderungstechnik sind dagegen **alle** HKW-Systeme als umweltfreundlich gegenüber normalen Heizsystemen zu bezeichnen. Kohle-HKW erreichen **geringere** CO₂-Emissionen je Nutzwärmeeinheit als selbst Gasheizungen, und auch die Netto-Reststoffmengen liegen im Bereich der bei Gas- und Ölheizungen.
- Kleinere KWK-Anlagen, sog. Blockheizkraftwerke (BHKW), nutzen meist Erdgas als Brennstoff, womit geringe SO₂-, Staub- und CO₂-Emissionen erreicht werden. Dafür erzeugen Gasmotoren und Gasturbinen z. T. sehr hohe NO_x-Mengen, die durch Entstickungsmaßnahmen stark gesenkt werden müssen, um in den Bereich anderer Systeme zu kommen. Am **Standort** der Anlagen sind die NO_x-Emissionen üblicher BHKW etwa 5 mal höher als bei Gas- oder Ölheizungen, woraus bei hoher Vorbelastung Immissionsprobleme resultieren können. Unter Einrechnung der Stromerzeugung liegen die NO_x-Werte dagegen im Bereich der Gasheizungen. Beim Einsatz modernster Emissionsminderungstechnik (3-Wege-Katalysator) können Gasmotor-BHKW trotz Stromerzeugung sogar am **Standort geringere** NO_x-Werte erzielen als Gasheizungen und so zu drastischen Immissionsverbesserungen führen. Da Gas-BHKW auch bei anderen Umweltaspekten (Reststoffe, Schwermetalle, Flächenbedarf) extrem geringe Belastungen zeigen, sind sie unter **fossil** betriebenen

Energiesystemen die **ökologisch günstigsten**.

- BHKW auf der Basis von **Dieselmotoren** dagegen können trotz guter Energieauslastung nur mit extrem aufwendigen Maßnahmen (SCR-Entstickung, Rußfilter) vergleichbar niedrige Schadstoffwerte erzielen, wobei solche Minderungsmaßnahmen aus ökonomischen Gründen nur bei **Großanlagen** (Größenordnung 5 MW_{th}) sinnvoll sind. Kleine Diesel-BHKW sind daher aus Umweltsicht z.Zt. nicht attraktiv.

Regenerative Energien

Im Vergleich zu fossil betriebenen Energiesystemen sind regenerative Energiequellen generell umweltfreundlicher (OECD 1988), da Solar-, Wind- und Wasserkraft praktisch keine direkten Schadstoffabgaben aufweisen. Unter den o.g. Voraussetzungen und Nutzungseinschränkungen sind diese Ener-

giesysteme, neben rationeller Energienutzung, die **wirklich umweltfreundlichen** Systeme, da auch qualitative Umweltaspekte im Vergleich zu fossilen Energieanlagen gering sind. Selbst die Einbeziehung der bei der Herstellung der Energiewandler freigesetzten Emissionen ändert diese Beurteilung nicht.

Bei Systemen zur Nutzung von **Biomasse** (Holz, Stroh, Biogas) hängt die Beurteilung dagegen stark vom jeweiligen Nutzungssystem ab. Während Biogas — nach Entschwefelung — ein emissionsarmer Brennstoff ist und sein Einsatz in Gasmotoren umweltseitig positiv wirkt, führt die direkte Verbrennung von Stroh und Holz in konventionellen Einzelöfen zu hohen Schadstoffbelastungen. Wird Holz und Stroh dagegen in **modernen** für diese Brennstoffe konzipierten Feuerungen oder Heizwerken eingesetzt, ist ein umweltfreundlicher Betrieb im Vergleich zu fossilen Brennstoffen möglich. Günstig ist Biomasse generell hinsichtlich CO₂, da

die bei der Verbrennung freigesetzte CO₂-Menge der beim Pflanzenwachstum eingebundenen CO₂-Menge entspricht (keine Netto-Emission), und nur geringe Schwermetall-, Halogen- und Reststoffbelastungen auftreten.

Diese Ergebnisse gelten für die Nutzung von Restbiomassen (Waldrestholz, Reststroh, tierische Exkrementen), nicht aber für sog. Energieplantagen — hier kommen andere Umweltaspekte ins Spiel, die derzeit nicht abschließend zu beurteilen sind.

Abgegrenzt werden muß die Beurteilung der Biomasse auch gegenüber der Verbrennung von Reststoffen wie Haus- oder Gewerbemüll, da hier die Belastungen in der Regel höher sind und andere — z.T. extrem toxische — Schadstoffe emittiert werden. Die energetische Beurteilung der Müllverbrennung ist daher ungünstig (ÖKO-INSTITUT 1988) — ihre Beurteilung muß vielmehr im Rahmen von **abfallwirtschaftlichen** Alternativen erfolgen.

Literatur

Euler 1987: Umweltbezogenes Wertesystem zur Beurteilung von Wärmeversorgungssystemen, Beitrag zur PBE/BfLR-Tagung Umweltfreundliche Wärmeversorgungskonzepte am 23./24. 3. 1987, Norderstedt

OECD 1988: Environmental Impacts of Renewable Energy Sources, Paris

ÖKO-INSTITUT 1987: Stellungnahme zur Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung, U. Fritsche/M. Führ, Darmstadt

ÖKO-INSTITUT 1988: Stellungnahme zu ausgewählten Fragen des Planfeststellungsverfahrens der MVA Ffm-Osthafen, H. Bracker/R. Fendler/U. Fritsche, i.A. der Stadt Offenbach, Darmstadt

ÖKO-INSTITUT 1989a: Stellungnahme zu ausgewählten Fragen des BImSchG-Verfahrens zu Staudinger Block V, J. Bizer/U. Fritsche/M. Führ, Untersuchung im Auftrag der Stadt Hanau, Darmstadt

ÖKO-INSTITUT 1989b: Umweltwirkungsanalyse für Energiesysteme — Entwicklung eines Gesamt-Emissions-Modells Integrierter Systeme (GEMIS), U. Fritsche/L. Rausch/K.-H. Simon, ÖKO-INSTITUT/GH Kassel, i.A. des Hessischen Ministers für Wirtschaft und Technik, Darmstadt/Kassel (in Vorbereitung)

SCL 1987: Strategic Corporate Plan 1987—88 Vol. II (Analysis), Seattle City Light, Seattle WA

SRU 1987: Umweltgutachten 1987, Sachverständigenrat für Umweltfragen, Stuttgart/Mainz

STOY 1987: Stromerzeugung durch Windenergie und Solaranlagen — Machbarkeit, Grenzen, Umwelteinflüsse, B. Stoy, in: Kraftwerk und Umwelt 1987 VGB (ed.), Essen, S. 19—28

Autoren

Uwe Fritsche, seit 1982 Mitarbeiter im Energiebereich (Büro Darmstadt), Projektleiter für GEMIS, Schwerpunkte: Umweltaspekte und (Energie)Modellfragen

Lothar Rausch, seit 1987 Mitarbeiter im GEMIS-Projekt, z.Zt. tätig am WZ III der GH Kassel, Schwerpunkte: Software-Entwicklung und Stromnetz-Fragen

Dr. Karl-Heinz Simon, Mitarbeiter der Forschungsgruppe Umweltsystemanalyse an der GH Kassel, Schwerpunkte: Planungs- und Bewertungsmethodik, EDV-Hochsprachen (Künstliche Intelligenz)

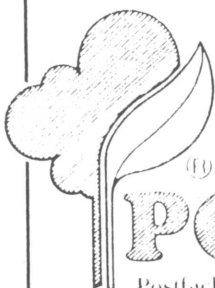
Anzeige:

Aus gutem Grund: **Natürlich und gesund schlafen und wohnen**

Entscheiden Sie sich für die richtigen und wichtigen Dinge in Ihrem Leben.

POLDEC – Federholzrahmen

- human biologisch – Matratzen
- human ökologisch – Betten



POLDEC

Postfach 6/ c 8970 Immenstadt, Tel. 083 23/27 27

Haben Sie Probleme mit Ihren Füßen, wollen Sie gehen wie auf Wolken?

dann tragen Sie doch einfach in Zukunft

Birkenstock-Gesundheits-Schuhe

Wir liefern sämtliche Modelle zu sehr günstigen Preisen und Konditionen.

Fordern Sie unser kostenloses Info-Material (Katalog, Preisliste, Lieferbedingungen etc.) an.

drogo-Minimarkt, Schmiedgässle 3, 7971 Aitrach, Tel. 07565/5955