

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 78 (1987)

**Heft:** 2

**Artikel:** Energie und Umwelt

**Autor:** Suter, P.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903804>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

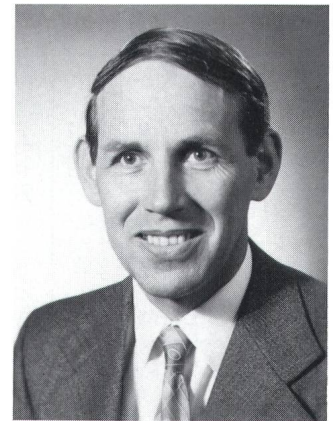
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Energie und Umwelt

P. Suter



**Berichte von zwei WEC-Arbeitsgruppen und zahlreiche Beiträge in verschiedenen Sessions waren an der Weltenergiekonferenz den Umweltfragen gewidmet. Während z. B. im Hinblick auf die Verbrauchsentwicklung und die Substitution positive Entwicklungen zu verzeichnen sind, geben in bezug auf die Umwelt verschiedene Beobachtungen nach wie vor Anlass zu grosser Sorge. Dies gilt insbesondere für die Gefahr von Klimaveränderungen infolge des Treibhauseffektes. Eine effiziente Umweltpolitik ist mit zahlreichen noch zu lösenden Problemen konfrontiert.**

## Globale Umweltprobleme

Mit der Nutzung von Energien sind zahlreiche Umweltprobleme verbunden, die alle Bereiche der belebten und unbelebten Umwelt sowie die Gesundheit der Menschen selbst betreffen (Fig. 1). Wie Fig. 2 verdeutlicht, ist

die Zahl der Schadstoffe, der möglichen Emittenten und Auswirkungen sehr gross. Angesichts der Tatsache, dass die vom Menschen in Bewegung gesetzten Vorgänge bereits die Grössenordnung der natürlich ablaufenden Vorgänge erreichen oder überschreiten

**Figur 1**  
Auswirkungsmöglichkeiten von Schadstoffen

WEC  
1986

Auswirkung auf	
Boden	Flora Fauna Menschen <ul style="list-style-type: none"> <li>– Lärm</li> <li>– Akute Krankheit</li> <li>– Chronische Krankheit</li> <li>– Erbsubstanz</li> <li>– Landschaftsbild</li> </ul>
Wasser	
Luft	
Klima	
Bauten	
Abiotische Sphäre	Biosphäre

**Figur 2**  
10 Hauptgruppen atmosphärischer Schadstoffe im Zusammenhang mit Energie

WEC  
1986

10 Gruppen atmosphärischer Schadstoffe	Anthropogene Quellen
SO <sub>2</sub> und Sulphate	Kohleverbrennung Motoren, thermische Kraftwerke Diesel, Holz, Gas Sekundär aus NOX usw. Fossile Brennstoffe Kohle, Kehrlicht, Holz Kehrlicht Spraydosen Kehrlicht Kernenergie, Kohle
NOX	
Kohlenwasserstoffe	
Ozon, Oxydanten	
CO <sub>2</sub>	
Aerosole	
Schwermetalle	
Freone	
Dioxine und Furane	
Radionukleide	

**Adresse des Autors**

Prof. Dr. Peter Suter, Institut für Energietechnik, Eidg. Technische Hochschule (ETH), 8092 Zürich

WEC  
1986

Stoff	Reservoirkapazität kmol		Jahresumsatz kmol/a	
			natürlich	anthropogen
CO <sub>2</sub>	Biosphäre	1 · 10 <sup>14</sup>	} 0,15 · 10 <sup>11</sup>	4 · 10 <sup>11</sup>
	Luft	5 · 10 <sup>13</sup>		
	Meer	3 · 10 <sup>15</sup>		
SO <sub>2</sub>	Luft	2 · 10 <sup>7</sup>	1 · 10 <sup>9</sup>	2 · 10 <sup>9</sup>

Figur 3 Umsatz von natürlichen und anthropogenen CO<sub>2</sub>-Quellen

(Fig. 3), kann das gesamte Problem nicht einfach negiert werden. Zum Teil treten vom Menschen verursachte Stoffflüsse auf, die im Vergleich zu den in der Natur vorhandenen Reservoiren in Boden, Wasser oder Luft beträchtlich sind, so dass diese in relativ kurzer Zeit stark verändert werden.

So macht z. B. bei dem für alles Leben, aber auch für die Verwitterung wichtigen Reservoir «CO<sub>2</sub> in der Luft» der jährliche Umsatz etwa ein Hundertstel des Reservoirinhalts aus mit der Konsequenz, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Luft seit der vorindustriellen Zeit von etwa 260 auf 335 ppm angestiegen ist und momen-

tan jährlich um etwa 1,5 ppm ansteigt, wobei der vom Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoss noch zunimmt (die heutige Steigerungsrate liegt bei etwa 4% pro Jahr, bedeutet also eine Verdoppelung in 17 Jahren; im Mittel der nächsten 60 Jahre dürfte die jährliche Steigerungsrate je nach der Entwicklung der Bevölkerungszahl und des Energieverbrauchs 1 bis 3% pro Jahr betragen).

Die Auswirkungen des durch diesen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes bedingten Treibhauseffektes auf das Klima werden dadurch verschärft, dass noch andere «Treibhaus-Gase» in die gleiche Richtung wirken (Fig. 4). Zwar mag in

WEC  
1986

Quelle	Stoff	Treibhaus-effekt
Jeder fossile Energieträger	CO <sub>2</sub>	~ 45%
Gaswirtschaft	CH <sub>4</sub>	} ~ 45%
Spraydosen	Freone	
Diesel, Kohle, Holz	Kohlenwasserstoffe	
Kohle, Holz	Aerosole	~ 10%

Figur 4 Stoffe, die zum Treibhauseffekt beitragen

WEC  
1986

Beispiele für Ursache-Wirkungs-Ketten	
Bekannt	Unklar
Schwermetalle – Gesundheit	Waldschädigung
Radioaktivität – Gesundheit (hohe Dosis)	Radioaktivität – Gesundheit (geringe Dosis)
Säurebildner – Baumaterialangriff	Treibhauseffekt

Figur 5 Geklärte und ungeklärte Ursache-Wirkungs-Ketten

WEC  
1986

Verfrachtungsdistanz (Beispiele)	
gering	Lärm NOX als Smog Radon
mittel	Photooxydanten (NOX)
gross	Saurer Regen Treibhausgase (Klima) Gewisse Radionukleide

Figur 6 Beispiele für Schadstoffe mit geringer und grosser Verfrachtungsdistanz

einigen Gegenden eine gewisse globale Erwärmung durchaus begrüsst werden, doch würde sie in anderen Gebieten Hunderte von Millionen Menschen nachteilig betreffen. Die globale Klimaänderung ist deshalb, zusammen mit der Bodenschädigung, das schwerwiegendste Umweltproblem.

### Ursache-Wirkungs-Ketten z. T. noch unklar

In bezug auf die Auswirkungen der Schadstoffimmissionen fehlen in wichtigen Fällen die Einsichten in die Ursache-Wirkungs-Ketten noch (s. Fig. 5).

Auf einige wichtige Gesichtspunkte soll hier hingewiesen werden:

- Wie in Figur 6 dargestellt ist, ist zu unterscheiden,
  - ob die Wirkung einer Quelle auf eine definierbare Zone beschränkt ist, was mit eher kleiner Verfrachtungsdistanz gleichbedeutend ist (weniger als 100 km); in diesem Fall liegt vor allem ein nationales Problem vor und es ist zweckmässig, mit *Grenzwerten der Konzentration am Wirkungs-ort*, d.h. in Bodennähe (Immission), zu operieren.
  - oder ob weiträumige Verfrachtung ein internationales Problem schafft, so dass unbedingt die *Emissionen der Quelle* beschränkt werden müssen; blosse Verdünnung durch höhere Kamine ist dann sicher zwecklos.
- Die zusätzliche Dosis, welche auf Menschen, Tiere, Pflanzen, Bauten wirkt, ist stets ins Verhältnis zu setzen zur natürlichen Dosis und ihren Schwankungen.
- Ein Schadstoff wirkt auf die Umwelt nicht nur dann, wenn er giftig ist (nach Paracelsus kann je nach Dosis jede Substanz giftig sein), sondern auch, wenn er die ökologischen Wettbewerbsbedingungen

ändert, denn die Akteure eines Biosystems leben und vergehen in einem sehr subtilen dynamischen «Gleichgewicht».

- Das Ausmass der zulässigen Wirkungen auf den Menschen ist meist das Ergebnis eines unbewussten Entscheides; eine gewisse Schädigung wird akzeptiert, wobei psychische und emotionelle Faktoren eine grosse Rolle spielen. Dabei wird oft nicht beachtet, dass eine Wirkung wie z.B. Krebs von verschiedenen Stoffen verursacht werden kann, und dass diese aus der Natur, aber auch von verschiedenen Energieprozessen stammen können.
- Bezüglich der Wirkung kleiner Zusatzdosen auf einen grossen Personenkreis besteht noch viel Unklarheit; die Annahme eines linearen Zusammenhangs liegt, wegen Selbsttheileffekten und Schwellenwerten, praktisch stets auf der sicheren Seite.

## Situation in einigen Problemkreisen

- Bei der schon erwähnten Klimaveränderung infolge des Treibhauseffektes spielt neben dem bei allen Verbrennungen fossiler Brennstoffe entstehenden CO<sub>2</sub> auch Methan eine bedeutende Rolle; auf vielen Erdöl- und Erdgasfeldern werden noch gewaltige Mengen freigesetzt.
- Bezüglich der Wasser- und Bodenversäuerung («saurer Regen») hatte bislang der SO<sub>2</sub>-Ausstoss weltweit sinkende Tendenz; beizufügen ist, dass die vorgängig oder gleichzeitig erfolgte starke Reduktion der Rauchgaspartikelemission (sie sind eher alkalisch) aber bewirkte, dass die Versäuerungswirkung doch noch anstieg. Sollte in Zukunft in erhöhtem Masse schlechte Kohle ohne genügende Entschwefelung verbrannt werden, so würde das Problem rasch schlimmer.
- Die Emission von Photooxidanten, wie Kohlenwasserstoffe oder Stickoxide (Wirkung auf Menschen und Pflanzen; Teilaspekt des «Waldsterbens») wächst weltweit weiterhin stark an, verursacht vor allem von Verbrennungsmotoren und Kohlekraftwerken; die Einführung der an sich bereitstehenden technischen Verfahren zur starken Reduktion dieser Schadstoffemissionen geht äusserst schleppend vor sich.
- Auch die Emissionen kanzerogener

Kohlenwasserstoffe (von der Holzverbrennung oder von Dieselmotoren) steigt weltweit.

- Alle seriösen Untersuchungen zeigen, dass das «Waldsterben» mit Luftverschmutzung viel, mit Radioaktivität hingegen überhaupt nichts zu tun hat.

## Schadstoffbegrenzung

Es ist eine Tatsache, dass die Schadstoffbegrenzung bislang

- desto besser gelang, je mehr der Einzelne sicht- oder riechbar betroffen wurde (siehe z.B. Gewässerverschmutzung)
- desto schlechter gelang, je eher der Einzelne der Verursacher ist (Individualverkehr).

So ist in der Kraftwerkstechnik der Industrieländer die Entstaubung, Entschwefelung und Entstickung ein üblicher Teil der Ausrüstung und damit ein wesentlicher Kostenfaktor geworden; es bestehen aber noch sehr erhebliche Unterschiede je nach Land, nach Brennstoffqualität, Anlagentyp und Alter des Anlageparkes. Schadstoffbegrenzungsmassnahmen führen aber manchmal zu neuen Umweltproblemen (Deponien usw.), so dass unbedingt die ganze Prozesskette betrachtet werden muss.

In der dezentralen häuslichen Energietechnik ist in den Industrieländern wegen des reduzierten Schwefelgehalts der Brennstoffe eine Verbesserung, in den andern Regionen hingegen eher eine Verschlechterung festzustellen, vor allem im Zusammenhang mit der Bevölkerungszunahme (Verarmung führt zu immer schlechteren Brennstoffen und Einrichtungen, der Wald wird infolge Übernutzung zerstört, die Motorfahrzeuge sind in katastrophalem Zustand, aber doch relativ zahlreich).

Reine Schadstoffbegrenzung ohne Nebenwirkungen bringt nach bisheriger Kenntnis

- das Energiesparen durch bessere Geräte, bessere Anlagekonzepte oder bessere Betriebsführung
- die Verbesserung der Energietechnik, so dass Schadstoffe gar nicht entstehen (CO<sub>2</sub> entsteht aber in jedem Fall bei fossilen Brennstoffen)
- der Einsatz erneuerbarer Energie, z.B. von Biomasse, sofern die Einsatzztechnik schadstofffrei ist
- eine allfällige künftige Wasserstoffwirtschaft, wobei aber die Herstellung umweltverträglich sein muss
- unfallfreie Kerntechnik.

## Strategien und Umweltpolitik

Im allgemeinen gelang bisher der Einbezug der sozialen Kosten (Umweltkosten) in die Energiewirtschaft nur auf dem indirekten Weg der Festlegung von Limiten. Dabei kamen aber, differierend von Land zu Land oder von Energiesystem zu Energiesystem, sehr verschiedene Prinzipien zur Anwendung, was den ökologischen und erst recht den ökonomischen Vergleich verschiedener Optionen verunmöglicht, so z.B.

- Limite = wirtschaftlich tragbares Mass
- Limite = technisch machbares Mass (ALARA)
- Limite = Bruchteil der natürlichen Immission
- Limite = ökologisch/gesundheitlich erforderliches Mass

Figur 7 zeigt beispielhaft einige frappante Unterschiede.

Das langfristig wohl einzig sinnvolle Prinzip ist das vierte; es setzt die Quantifizierung der Ursache-Wirkungs-Relationen voraus, wofür aber noch gewaltige Forschungsanstrengungen nötig sind.

Ob die Einbindung der sozialen Kosten anders als durch Maximal-Limiten, etwa durch ein Bonus-System beim Unterschreiten der Limiten, geschehen und damit der Anreiz für umweltgerechtes Verhalten verstärkt werden könnte, erscheint durchaus prüfenswert.

Was soll aber in den zahlreichen Fällen getan werden, wo die Ursache-Wirkungs-Ketten nicht einmal qualitativ abgeklärt sind? Hier muss doch wohl als Minimalstrategie dafür gesorgt werden, dass kein «Weglaufen» des Umweltsystems eintritt. Dabei sind aber natürlich die Zeitkonstanten des Systems «Umwelt» einerseits und diejenigen des Systems «Energiewirtschaft» andererseits von kapitaler Bedeutung, wobei in letztere auch der Zeitbedarf für die Forschung einzubeziehen ist.

Was den energiepolitisch wichtigen Vergleich verschiedener Energiesysteme für dieselbe Nutzenanwendung betrifft, so ist eine zufriedenstellende Methode für die gegenseitige Verrechnung verschiedenartiger Wirkungen (z.B. radioaktive Bestrahlung versus Klimaänderung versus Bodenversäuerung) noch keineswegs in Sicht. Hier ist wohl noch lange nur der politische Entscheid möglich, für welchen aber die Konsequenzen wirtschaftlicher

