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: 81 (1990)

Heft: 2

Artikel: Energie und Umwelt

Autor: Suter, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903061

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

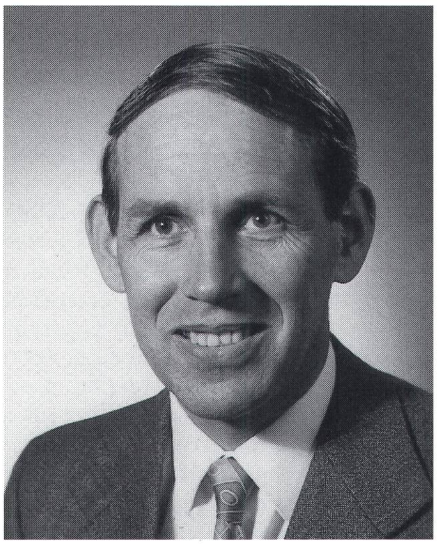
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.01.2026

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

Energie und Umwelt

P. Suter



Die Liste der Umweltschädigungen infolge des Energieeinsatzes ist lang, wird jedes Jahr noch länger und verursacht beim Laien, Fachmann und Politiker Verwirrung. Diese Tatsache ist aber nicht erstaunlich, denn unsere Umwelt ist ein vielfältiges System, dessen viele Partner in komplexen Beziehungen vernetzt sind. Die ausgezeichnete Arbeit des «Technical Committee on Energy-Related Air Pollution» [1] vermag aber doch einen ordnenden Rahmen und eine Synthese der heutigen Kenntnisse und Wissenslücken zu geben.

Emission energierelevanter Schadstoffe

Die Schadstoffe können in 3 Hauptgruppen gegliedert werden:

- *Hauptschadstoffe* wie Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x), Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMKW) und davon abgeleitete Sekundärschadstoffe wie Ozon (O_3)
- *Spezielle Schadstoffe* wie Metalle, organische Schadstoffe (Polyaromate, PCB, Dioxin), Radioaktivität
- *Treibhausgase* wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Ozon (O_3), Distickstoffoxid(N_2O), Kohlenmonoxid (CO) und Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW).

Für einige wichtige Vertreter dieser Schadstoffe sind in Tabelle I die Anteile der natürlichen und der zivilisationsbedingten Emissionen angegeben, und bei den letzteren zudem der energierelevante Anteil. Während die energiebedingten Emissionen heute recht gut abgeschätzt werden können, ist bei den anderen die Unsicherheit noch sehr gross.

In Tabelle IIa bis IIc sowie in Bild 4 wird abgeschätzt, wie sich diese Emissionen im Laufe des 21. Jahrhunderts mit den heute festgelegten Massnahmen (Katalysatorautos, Montreal-Protokolle für FCKW) entwickeln werden, wobei bis zum Jahre 2050 eine Verdoppelung der Weltbevölkerung und eine Erhöhung des Energieeinsat-

natürliche Produktion = 100	natürlich	anthropogen	
		Total	energiebedingt
SO_2	100	65	60
NO_x	100	70	60
NMKW[8]	100	40	2[1]
Arsen	100	300	20[2]
Cadmium	100	800	30[3]
Quecksilber	100	50	3
Blei	100	1800	1200[3]
Polyzykl. Aromate	100	1000	700
Fluor-Chlor-KW	0	100[6]	25
CH_4	100	15	3
CO_2	100[4]	7[5]	5
Radioaktivität	100	200[7]	1

Tabelle I Anteile der anthropogenen und der natürlichen Emissionen wichtiger Schadstoffe, geschätzt nach [1]

[1] Kohle- und Holzverbrennung
[2] Holzverbrennung
[3] Treibstoffe
[4] Im säkularen Gleichgewicht
[5] Nicht-Energie-Teil von Waldzerstörung
[6] Da in Natur nicht vorkommend, ist hier 100 gesetzt
[7] Wohnen in Häusern; Medizin
[8] Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe

Adresse des Autors:

Prof. Dr. *Peter Suter*, Institut für Energietechnik der ETH Zürich, 8094 Zürich

Smog, saurer Regen		
	1989	2050
SO_2	100	30–100[1]
NO_x	100	30
NMKW	100	50

Tabelle IIa Mögliche Entwicklung der Emission von Smog-Verursachern, 1989 = 100

[1]alte Technik in Entwicklungsländern

Ozonlochproblem-Emission		
	1989	2050
FCKW	100	50

Tabelle IIb Mögliche Entwicklung der Emission von Gasen, die zur Zerstörung des stratosphärischen Ozons beitragen (FCKW), 1989 = 100

Treibhausgas-Emission		
	1989	2050[1]
Energie	53	126
Andere	47	54[2]
Total	100	180

Tabelle IIc Mögliche Entwicklung der jährlichen Emission von Treibhausgasen mit dem heutigen Energiemix, aber ohne spezielle neue Massnahmen (siehe auch Bild 4), 1989 = 100

[1] Bevölkerung: ×2
Energieumsatz: ×2,5
[2] Raubbau Wälder beendet, Montreal-Protokolle für FCKW

zes um den Faktor 2,5 unter Beibehaltung des gegenwärtigen «Mix» vorausgesetzt werden.

Auswirkungen der Schadstoffe

Welche Schadstoffe haben welche Auswirkungen? Angesichts der Komplexität dessen, was wir Umwelt nennen, werden 6 Auswirkungskreise betrachtet:

- Menschliche Gesundheit, insbesondere – Reizung und Erkrankung der Atemwege (Smog)
  - Nervengifte
  - Krebs
  - Mutation der Erbsubstanz
- Schädigung des Lebens in Gewässern
  - Übersäuerung
  - Eutrophierung
- Wuchseinbusse in der Landwirtschaft
- Waldschädigung
- Materialzerstörung
  - Sandsteinangriff
  - Leitungszerstörung in Boden/Wasser
- Treibhauseffekt

In Tabelle III sind Wirkungszusammenhänge der energierelevanten Schadstoffe angegeben. Dazu werden nachfolgend einige Erläuterungen angebracht.

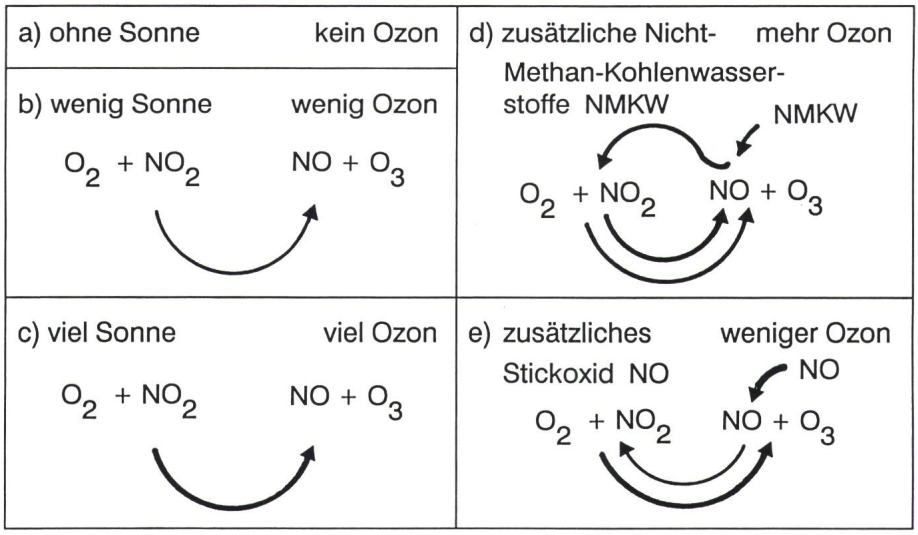


Bild 1 Mechanismen, die die Bildung von Ozon (O_3) in der Atmosphäre beeinflussen

Ozonproblem

Verwirrend ist die Tatsache, dass manchmal zu viel und manchmal zu wenig Ozon vorhanden sein soll. Hier ist klarzustellen:

In grosser Höhe (Stratosphäre) brauchen wir genügend (normal gebildetes) Ozon, um die Ultraviolettstrahlung der Sonne abzuschwächen, die sonst Hautkrebs verursachen würde. Menschlich erzeugte Ozonfresser (FCKW) steigen nun aber in der Atmosphäre hoch und verursachen dort das sogenannte «Ozonloch». Nahe dem Boden schädigt hingegen das Ozon sowohl unsere Atemorgane als auch Wälder und Felder (es beeinflusst die Blattschliessvorgänge), ist also unerwünscht. Könnte das, was unten zu viel ist, nicht das Defizit oben decken? Nein, denn die Transportzeit ist viel zu lange und die Lebensdauer des Ozons zu kurz.

Woher entsteht denn unten das Ozon? Es ist kein primärer, sondern ein sekundärer Schadstoff. Es bildet sich aus dem Stickoxid NO_2, sobald Sonnenlicht vorhanden ist, aber nur bis zu einem Gleichgewicht zwischen NO_2, Ozon und NO (siehe Bild 1).

Schadstoffe	SO_2	NO_X	NMKW	Metalle	Polyarom.	FCKW	CH_4	CO_2	Radon
Wirkung:									
Atemorgane		○	○						
Krebs				○	○	○	○		○
Landwirtschafts-Einbusse	○	○	○						
Fischerei-Einbusse	○	○		○					
Waldschädigung	○	○	○						
Materialangriff	○	○							
Treibhauseffekt, Klima						○	○	○	

Tabelle III Wirkungszusammenhänge nach [1]

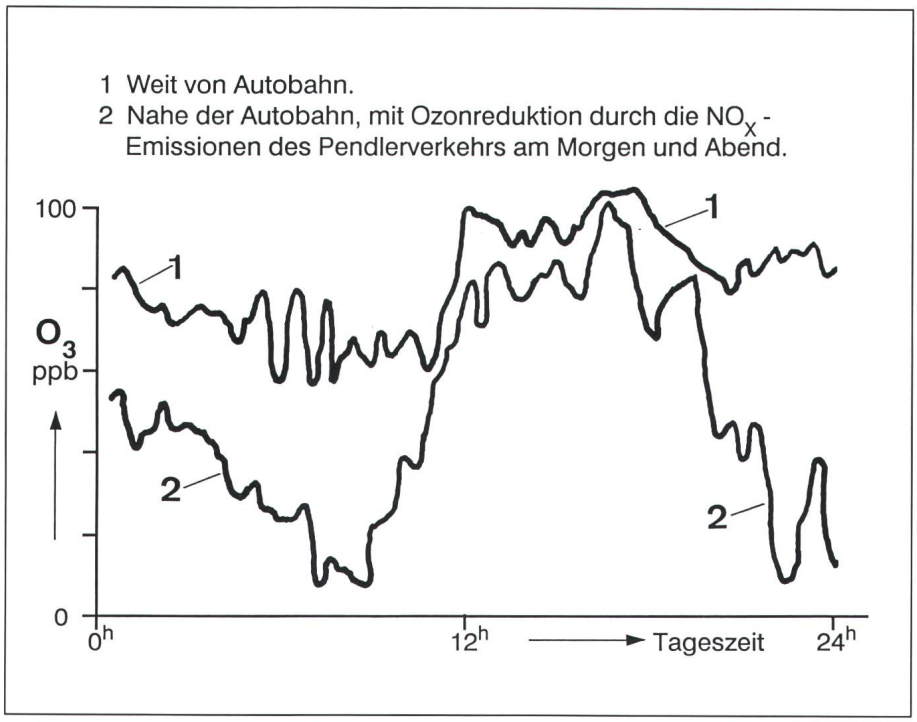


Bild 2 Tagesgang des Ozongehaltes an typischen Standorten

Fehlt das Sonnenlicht, so verschwindet es wieder. Wird z.B. von Autos zusätzliches NO ausgestossen, so bewirkt dies, wegen des erwähnten Gleichgewichts, sogar eine *Reduktion* des Ozongehaltes, was während der morgendlichen Pendlerverkehrsspitze regelmässig beobachtet werden kann (siehe Bild 2). Treten nun aber noch Kohlenwasserstoffe NMKW hinzu, so wird zusätzliches NO zu NO_2 umgewandelt, und wegen des erwähnten Gleichgewichts muss zusätzliches Ozon entstehen. Es ist deshalb festzuhalten:

Die Sonnenstrahlung ist wichtiger als der NO_x-Gehalt für die Ozonbildung; so hat Payerne regelmässig mehr Ozon als Zürich.

Die Kohlenwasserstoff-Emissionen sind für die Ozonbildung wichtiger als der NO_x-Gehalt.

Wald- und Landwirtschaftsschädigung

Die Beurteilung ist darum schwierig, weil viele Faktoren hemmend oder fördernd zusammenspielen:

- prädisponierende Faktoren (z.B. Erbmaterial, Bodenverdichtung, Alter)
- auslösende Faktoren (z.B. Frost, Trockenheit, Luftschadstoffe)
- beitragende (z.B. Insekten, Pilze)

Mutationen

Es ist wenig bekannt, dass jeder zehnte Mensch eine Mutation seiner Erbsubstanz aufweist, und dass dies durch natürliche Radioaktivität und durch chemische Einflüsse zustande kommt. Der überwiegende Teil führt nicht zu beobachtbaren Veränderungen.

Radioaktivität

Nach übereinstimmendem Befund aller Kreise stellt sie *kein* energierelevantes Problem dar – ausser im bisher einzigen Fall der unmittelbaren Umgebung von Tschernobyl – im Vergleich zur natürlichen, medizinischen oder gebäudetechnischen Dosis. Nur wenn wegen mangelnder Energie nicht ausreichend gelüftet werden darf, tritt eine energiebedingte Wirkung auf (Radonpoblem).

Treibhauseffekt

Es ist bekannt, dass er auf einer Störung der Balance zwischen einfallender Sonnenstrahlung und Infrarot-Abstrahlung der Erdoberfläche beruht. Letztere geschieht im Wellenbereich zwischen 3 µm und 100 µm. Für diesen ist aber die Atmosphäre undurchlässig, denn der Wasserdampf sowie das natürlicherweise schon vorhandene CO_2 absorbieren die Strahlung; nur im Bereich des sogenannten «atmosphärischen Fensters» zwischen 8 µm und 12 µm ist eine gewisse Durchlässigkeit vorhanden (siehe Bild 3). In diesem Bereich können nun aber CH_4, N_2O, O_3 absorbieren, aber diese Substanzen sind noch relativ selten; desto grösser ist aber noch ihr Spielraum zur «Verdunkelung» des Fensters. Dies führt dazu, dass zwar CO_2 auch zur «Verdunkelung» beiträgt, dass aber pro Zusatzmolekül die Treibhaus-Wirkung z.B. von Methan etwa 32mal stärker ist als von CO_2.

Ein Ersatz von Kohle durch Erdgas (welcher zunächst einleuchtet, denn die CO_2-Freisetzung pro Energieeinheit ist bei Erdgas nur halb so stark wie bei Kohle, da bei ersterem auch noch die H-Atome verbrennen können) ist also nur dann für den Treibhauseffekt vorteilhaft, wenn die Leckrate des ganzen Gassystems (Gewinnung, Transport, Feinverteilung, Nutzprozess) weniger als 1% beträgt.

Beurteilung

Bei der Beurteilung der Wirkungen und der möglichen Abhilfemassnahmen ist nun dreierlei zu beachten:

- Gehört die Schadstoffemission fundamental zum betreffenden Energiepfad (Verbrennung fossiler Brennstoffe bringt unweigerlich CO_2) oder ist sie eine Nebenwirkung? Im letzteren Fall kann sie durch eine bessere Prozessführung, also bessere Technik, reduziert und vermieden werden. Dazu gehören alle Schadstoffe ausser CO_2! Im ersteren Fall muss der Energiepfad geändert werden.
- Welches ist der räumliche Wirkungsbereich?
  - lokal (Ozon)
  - regional (saurer Regen)
  - global (Treibhausgase)
- Welches ist der Zeitmassstab der Wirkung?
  - Stunden und Tage (Ozon)
  - Wochen (saurer Regen)
  - Jahrzehnte (Treibhauseffekt)

Strategien zur Verbesserung der Schadstofflage

Bezüglich der Strategien können 3 Hauptarten unterschieden werden:

- Nichts tun, bis alles hieb- und stichfest bewiesen ist – ein angesichts des komplexen Systems «Umwelt» nie erreichbares Ziel

- Wenn eine Emission möglicherweise schädlich ist, sofort jede existierende und wirtschaftlich überhaupt ertragbare Technik zur Emissionsverminderung einsetzen
- Angesichts der meist mangelhaften Einsicht in die Zusammenhänge eine 3-Phasen-Strategie anwenden:
  - Unbegrenztes Ansteigen der Emission verhindern, d.h. im Zaume halten; daneben aktiv Wissenslücken schliessen
  - Wenn das Wissen besser ist, dann zunächst die kostengünstigen Eindämmungsmassnahmen veranlassen
  - Wenn Klarheit erreicht ist über die Wirkung und die effektivste Massnahme, dann die so gesicherte Lösung mit aller Kraft einleiten

Was ist deshalb zu tun? Die Haupt- und die speziellen Schadstoffe können durch bessere Technik reduziert werden; über die technischen Möglichkeiten und ökonomisch-institutionellen Bedingungen wird in anderen Beiträgen referiert.

Bei den Treibhausgasen ergibt sich, angesichts der Schwere und der Zeitkonstante des Problems, nur ein kombinierter Lösungsansatz:

- Rationeller Energieeinsatz auf Versorgungs- und Nutzerseite, ein auch relativ kurzfristig (20 Jahre) wirksamer Beitrag
- Brennstoffwechsel (Erdgas statt Kohle), ebenfalls kurzfristig denkbar, aber nur sinnvoll bei Leckraten des Gassystems unter 1%
- Konventionelle (Wasserkraft, Kernenergie) und neue CO_2-freie Energieressourcen
- Eventuelles Entsorgen von CO_2, z.B. unter Druck in leere Gas- und Ölfelder (eine Pilotanlage wird demnächst in den Niederlanden erstellt). Es wäre hierzu erforderlich, grosse fossile Kraftwerke mit spezieller Prozessführung zu erstellen, dergestalt, dass CO_2 unvermischt herauskommt; diese Kraftwerke sollten direkt über den Gas-/Ölfeldern liegen.

Zu den *erneuerbaren Energien* ist zu bemerken, dass sie unter speziellen Umständen sogar jetzt schon wirtschaftlich sein können, dass aber angesichts der tiefen Ausgangslage noch viele Dekaden Zeit und noch starke Entwicklungsschübe zur Erzielung wirtschaftlicher Gestehungkosten nötig sind, damit ihr Potential weltweit ausgeschöpft werden kann. Gegen die Jahrhundertmitte könnten sie bei starker Förderung aber doch etwa 50% des heutigen oder 20% des dannzumaligen Endenergiebedarfs decken.

In Kalifornien liefern bereits solarthermische Anlagen der Firma Luz von 80 MW zu Spitzenzeiten *Elektrizität aus Sonnenenergie* ins Netz; in 3 Jahren sollen es 600 MW sein. Aber nur durch besondere Umstände (u.a. Kopplung mit Erdgas) ist dies dort wirtschaftlich gerechtfertigt, denn eine normale betriebswirtschaftliche Rechnung würde einen Kilowattstundenpreis (mit der Sonnenstrahlung von Kalifornien) von über 16 ct/kWh geben. Windenergie ist heute ebenfalls nur an besonders windreichen Standorten und mit Steuererleichterungen wirtschaftlich, es sei denn, man könne an isolierten Standorten die Kosten für die Erstellung eines Netzes sparen, was den Einsatz natürlich sofort günstig macht. Dies gilt ebenfalls für die Photovoltaik, bei welcher die Preise heute noch gut doppelt so hoch sind wie bei Luz.

Bei der *Biomasse* erfolgt heute der grösste Teil der Nutzung in der Dritten Welt, meist mit sehr schlechtem Wirkungsgrad und starken Schadstoffemissionen. Gezielte grosstechnische Biomasseverwertung (Äthanol aus Zuckerrohr in Brasilien) ist noch gut doppelt so teuer wie normale Brennstoffe; langfristig ist aber hier ein wesentliches wirtschaftliches Potential auszumachen; eine Konkurrenz zur Welternährung besteht im Grunde nicht, da schon die heutige Landwirtschaft ohne Transport- und Speicherverluste die doppelte Erdbevölkerung ernähren könnte.

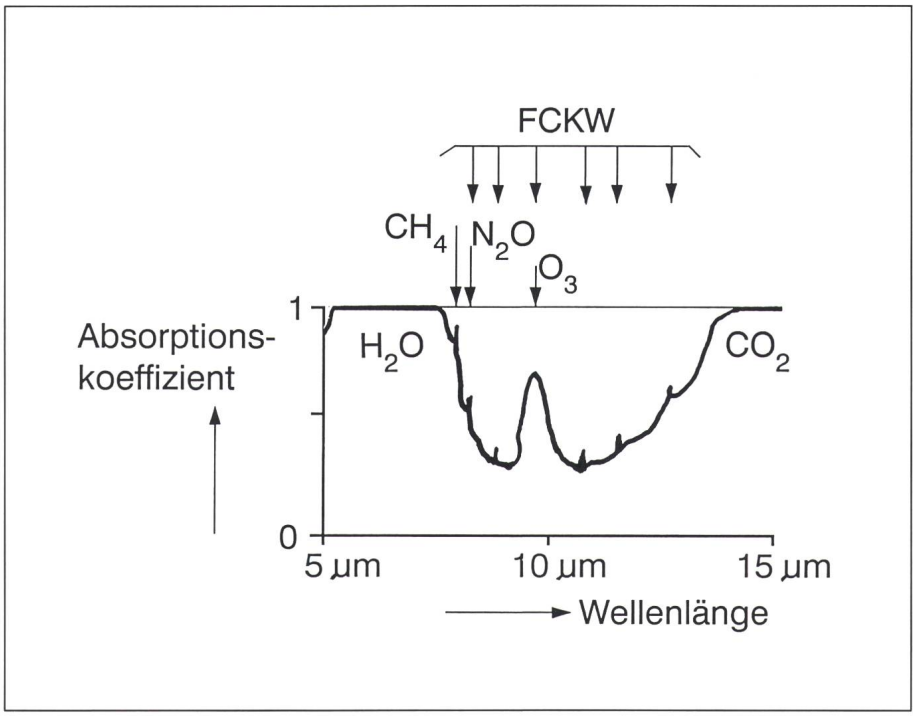


Bild 3 Erhöhung der Strahlungsemission durch Treibhausgase im atmosphärischen Fenster

Gesamtschau zum Treibhausproblem

Führen wir zusammenfassend die diskutierten Massnahmen in das Szenario der Entwicklung des Treibhauseffektes ein, so können bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts gegenüber der «unbeeinflussten» Entwicklung (siehe Tab. II) durch technische Massnahmen wesentliche Verbesserungen erzielt werden (siehe Tab. IV und Bild 4, die Zahlen sind bezogen auf die heutige gesamte Emission von Treibhaus-Gasen):

- etwa 32% durch zusätzlich erhöhte Effizienz (die Zahl ist nicht höher, weil schon in der unbeeinflussten Entwicklung stetige Verbesserungen eingeschlossen sind, wie sie auch schon in der Vergangenheit eintraten; von 1970 bis 1990 werden sie auf 20% geschätzt)
- etwa 10% durch CO_2-Entsorgung
- etwa 16% durch (vorübergehenden)

Brennstoffwechsel (Gas statt Kohle)
- etwa 25% durch erneuerbare Energien (ohne Wasserkraft)
- etwa 12% durch vermehrten Einsatz von Kernenergie und Wasserkraft (sie tragen in der unbeeinflussten Entwicklung bereits etwa 19% bei, so dass sich der totale Beitrag auf etwa 31% stellt, mit etwa gleichen Anteilen)

Es wäre damit trotz des Anwachsens der Weltbevölkerung gegenüber heute doch eine starke Reduktion der energierelevanten Treibhausgas-Emissionen zu erzielen; die Technik hätte an diesem Ergebnis den Hauptverdienst.

Die bereits im sogenannten Montreal-Protokoll beschlossene Reduktion der FCKW ist nicht nur für das Ozonlochproblem, sondern auch für das Treibhausproblem günstig; sie kann zusammen mit dem Wiederaufforsten statt Roden der Tropenwälder dazu verhelfen, dass trotz der demographisch bedingten Erhöhung der nichtenergetischen Treibhausemissionen (Reisfelder, Rinderzucht) die totale Mehrbelastung so im Zaume gehalten werden kann, dass kein katastrophaler Klimaeffekt auftritt. Allerdings scheinen die starken Forderungen der Toronto-Konferenz von 1988 (Reduktion gegenüber heute auf 80% bis 2005 bzw. 50% bis 2050) kaum realisierbar.

Es ist aber zu unterstreichen, dass die Zeit drängt, denn globale Massnahmen benötigen viel Zeit. Deshalb muss jeder Beitrag willkommen sein, auch wenn er relativ bescheiden scheint.

Reduktion Treibhausgas-Emission anno 2050 Unbeeinflusst: 180% (in % der Emission 1989)		
I	Effizienz	32
II	Gas statt Kohle	16
	vermehrte Kernenergie, Wasserkraft	12[1]
	Sonne	25
III	Entsorgen	10
	Total Technik	95

Tabelle IV Reduktion der jährlichen Emissionen von Treibhausgasen anno 2050

[1] total mit normalem Anteil Kernenergie + Wasserkraft: 31

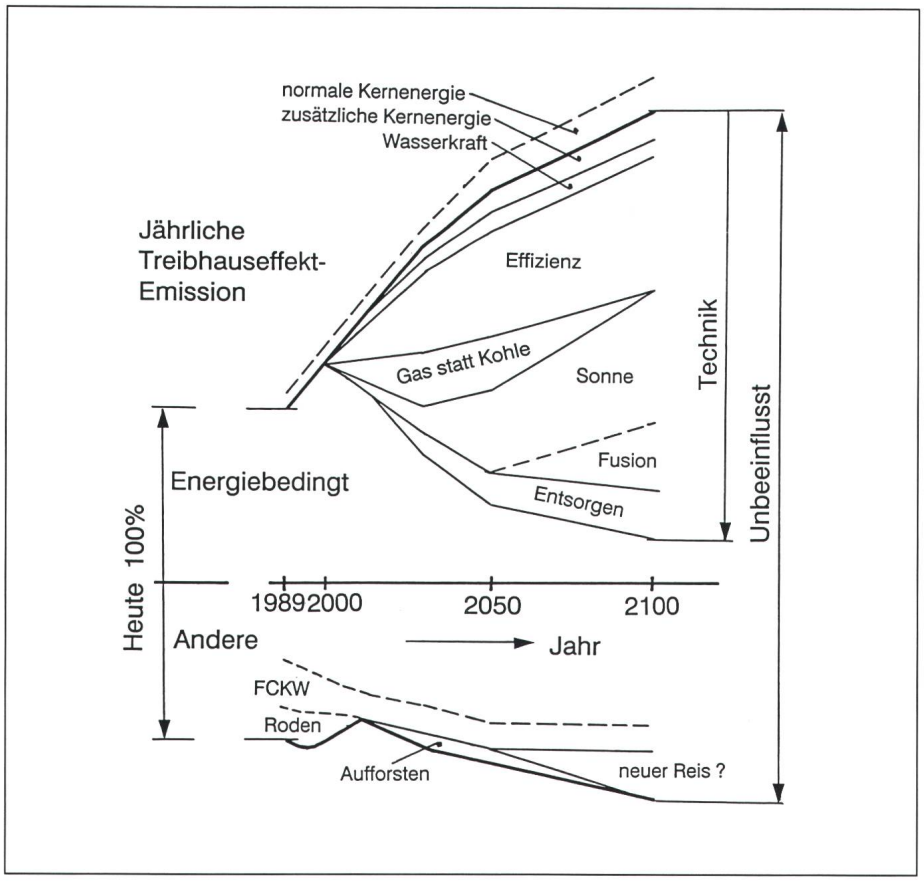


Bild 4 Denkbare Reduktion der Treibhauseffekt-Emission im 21. Jahrhundert

Literatur:
[1] World Energy Conference: An Assessment of Worldwide Energy-Related Atmospheric Pollution. Report 1989. WEC, London, 1989