



CHRISTIAN STREFFER  
CARL FRIEDRICH GETHMANN  
KLAUS HEINLOTH  
KLAUS RUMPF  
ANDREAS WITT

**Ethische Probleme  
einer langfristigen  
globalen Energieversorgung**

DE  GRUYTER

Christian Streffer  
Carl Friedrich Gethmann  
Klaus Heinloth  
Klaus Rumpff  
Andreas Witt

Ethische Probleme einer langfristigen globalen Energieversorgung

# Studien zu Wissenschaft und Ethik

Im Auftrag des

Instituts für Wissenschaft und Ethik

herausgegeben von

Matthias Lutz-Bachmann und Dieter Sturma

Band 2



Walter de Gruyter · Berlin · New York

Christian Streffer  
Carl Friedrich Gethmann  
Klaus Heinloth  
Klaus Rumpff  
Andreas Witt

# Ethische Probleme einer langfristigen globalen Energieversorgung



Walter de Gruyter · Berlin · New York

© Gedruckt auf säurefreiem Papier,  
das die US-ASNI-Norm über Haltbarkeit erfüllt

ISBN 13: 978-3-11-018431-0

ISBN 10: 3-11-018431-1

*Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek*

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbiografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© Copyright 2005 by Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 10785 Berlin

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Printed in Germany

Einbandgestaltung: Christopher Schneider, Berlin

Satz: Dörlemann Satz, Lemförde

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Göttingen

## Vorwort

Die Geschichte der Energieversorgung hat die Menschheitsgeschichte entscheidend geprägt. Die Entdeckung und Nutzbarmachung des Feuers mit ihrer mythologischen Verklärung der prometheischen Gabe bei den Griechen, die Entwicklung sowie Nutzung der Wasser- und Windkraft über Jahrtausende, die Entwicklung der Dampfmaschine ebenso wie die Nutzbarmachung der Elektrizität sind Marksteine, die die Entwicklung der Menschheit hinsichtlich ihrer Zahl und Lebensqualität entscheidend beeinflusst haben. Eine möglichst optimale Nutzung der Energiequellen durch technologische Gestaltung hat daher den menschlichen Geist immer wieder gefordert und zu Hochleistungen angespornt. Kriegerische Auseinandersetzungen sind häufig wegen der Energiequellen geführt worden. Gerade in jüngster Zeit erleben wir, in welcher Weise der Zugang zur Energie und die Ausbeutung, heute vor allem Öl und Gas, die Weltwirtschaft bewegt. Mit weiterhin wachsender Weltbevölkerung und dem Verlangen nach Verbesserung des weltweiten Lebensstandards wird dieser Druck noch zunehmen. Die Energieversorgung kann und darf nicht mehr nur regional gesehen werden, die globale Sicht ist notwendig, dieses gilt vor allem auch wegen der damit verbundenen Wirkungen auf die Umwelt des Menschen, auf die Erde insgesamt und auf die sie umgebende Atmosphäre.

Die Entwicklung und Nutzung von Energietechnologien hat auch und wohl zum ersten Mal in dieser ausgeprägten Weise deutlich gemacht, dass Grenzen erreicht werden, an denen erhebliche Besorgnisse in der Bevölkerung aufkommen, die weiteren Entwicklungen Einhalt gebieten. Sehr sorgfältige Überlegungen in wissenschaftlich-technologischer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht sowie in unseren demokratisch verfassten Staaten Prozesse der Kommunikation sind notwendig. So ergeben sich gerade bei der Energieversorgung neben der technologischen Machbarkeit vielfältige ethische, soziologische und ökonomische sowie rechtliche Fragen, die eine interdisziplinäre Behandlung der anstehenden Probleme herausfordern.

Dieser Aufgabe haben sich die Autoren des vorliegenden Bandes, eine Projektgruppe des „Instituts für Wissenschaft und Ethik an den Universitäten Bonn und Essen“, angenommen. In vielfachen Diskussionsrunden sind die verschiedenen Problemkreise erörtert und anhand von Textentwürfen besprochen worden. Es werden in dem Band die heute genutzten Energiequellen mit ihren zeitlichen Reichweiten und die technischen Möglichkeiten ihrer Nutzung dargestellt. In sehr umfassender Weise werden die regenerativen Energiequellen mit ihrem heutigen und möglichen zukünftigem Einsatz besprochen. Ferner werden auch Optionen, die noch

in der Zukunft liegen, behandelt. Schließlich wird eine Bewertung der Energieoptionen unter den oben angesprochenen Gesichtspunkten vorgenommen.

Diese Arbeiten sind durch finanzielle Mittel von dem Stifterverband für die deutsche Wissenschaft ermöglicht worden. Für diese Unterstützung danken die Autoren sehr.

Essen im Juni 2005

Christian Streffer  
Institut für Wissenschaft und Ethik e.V.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	V
1. Einleitung . . . . .	1
2. Kriterien für die Beurteilung von Energiesystemen . . . . .	7
2.1 Die regulative Idee der Nachhaltigkeit und die Unverzichtbarkeit von Kriterien . . . . .	7
2.2 Entfaltung der Kriterien . . . . .	10
2.2.1 Wirtschaftlichkeit . . . . .	11
2.2.2 Langfristigkeit . . . . .	20
2.2.3 Umweltverträglichkeit . . . . .	27
2.2.4 Sozialverträglichkeit . . . . .	29
2.2.5 Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	51
3. Darstellung der verschiedenen Energieoptionen . . . . .	57
3.1 Fossile Energieträger . . . . .	57
3.1.0 Reserven, Ressourcen und Reichweiten . . . . .	57
3.1.1 Erdöl . . . . .	63
3.1.2 Erdgas . . . . .	73
3.1.3 Kohle . . . . .	84
3.1.4 Umweltprobleme der Verbrennung fossiler Brennstoffe . . . . .	90
3.2 Kernenergie . . . . .	120
3.2.1 Physikalische Grundlagen . . . . .	120
3.2.2 Technik . . . . .	122
3.2.3 Die langen Schatten des Krieges . . . . .	125
3.2.4 Märkte und Prognosen . . . . .	128
3.2.5 Neue Reaktorgenerationen . . . . .	131
3.2.6 Kosten . . . . .	135
3.2.7 Reichweite der Kernbrennstoffe . . . . .	139
3.2.8 Umweltprobleme durch die Kernenergie . . . . .	144
3.3 Kernfusionsenergie – eine Option für die Zukunft!?. . . . .	157
3.3.1 Natürliche Kernfusionsprozesse in der Sonne . . . . .	157
3.3.2 Technisch induzierte Kernfusionsprozesse . . . . .	158
3.3.3 Erfolge und Misserfolge auf dem Weg zur Kernfusionsenergie . . . . .	160
3.4 Erneuerbare Energien . . . . .	166
3.4.1 Allgemeines . . . . .	166
3.4.2 Sonnenlicht . . . . .	171



---

3.4.3	Windenergie . . . . .	192
3.4.4	Exkurs: Technische und wirtschaftliche Grenzen der Einspeiseleistung aus schwankenden Energiequellen . .	200
3.4.5	Wasserkraft . . . . .	208
3.4.6	Energie der Gezeiten . . . . .	216
3.4.7	Energie der Meereswellen . . . . .	219
3.4.8	Biomasse . . . . .	225
3.4.9	Geothermische Energie . . . . .	255
3.4.10	Erneuerbare Energien – Märkte und Prognosen . . . .	265
3.5	Weltraumgestützte Solarkraftwerke . . . . .	273
3.5.1	Allgemeines . . . . .	273
3.5.2	Technik . . . . .	275
3.5.3	Das geplante japanische Pilotkraftwerk . . . . .	276
3.5.4	Kosten . . . . .	276
3.5.5	Ökologie und Risiken . . . . .	278
3.6	Steigerung der Energieeffizienz („Energiesparen“) . . . . .	278
3.6.1	Allgemeines . . . . .	278
3.6.2	Verringerung von Energieverlusten . . . . .	280
3.6.3	Verringerung des End- und Nutzenergiebedarfs . . . .	289
3.6.4	Energieeffizienz und Wirtschaftswachstum . . . . .	290
3.6.5	Bescheidenerer Lebensstil . . . . .	292
4.	Beurteilung der verschiedenen Energieoptionen . . . . .	295
4.1	Fossile Energieträger . . . . .	295
4.1.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	295
4.1.2	Langfristigkeit . . . . .	296
4.1.3	Umweltverträglichkeit . . . . .	297
4.1.4	Sozialverträglichkeit . . . . .	298
4.1.5	Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	299
4.2	Kernenergie . . . . .	302
4.2.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	302
4.2.2	Langfristigkeit . . . . .	303
4.2.3	Umweltverträglichkeit . . . . .	303
4.2.4	Sozialverträglichkeit . . . . .	305
4.2.5	Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	306
4.3	Kernfusionsenergie . . . . .	308
4.3.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	308
4.3.2	Langfristigkeit . . . . .	309
4.3.3	Umweltverträglichkeit . . . . .	309
4.3.4	Sozialverträglichkeit . . . . .	310
4.3.5	Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	311
4.4	Erneuerbare Energien . . . . .	311
4.4.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	312

---

4.4.2	Langfristigkeit . . . . .	314
4.4.3	Umweltverträglichkeit . . . . .	315
4.4.4	Sozialverträglichkeit . . . . .	316
4.4.5	Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	317
4.5	Weltraumgestützte Solarkraftwerke . . . . .	317
4.5.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	317
4.5.2	Langfristigkeit . . . . .	318
4.5.3	Umweltverträglichkeit . . . . .	318
4.5.4	Sozialverträglichkeit . . . . .	318
4.5.5	Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	319
4.6	Steigerung der Energieeffizienz . . . . .	319
4.6.1	Wirtschaftlichkeit . . . . .	319
4.6.2	Langfristigkeit . . . . .	320
4.6.3	Umweltverträglichkeit . . . . .	320
4.6.4	Sozialverträglichkeit . . . . .	320
4.6.5	Verteilungsgerechtigkeit . . . . .	321
4.7	Zielkonflikte und Gewichtungskriterien . . . . .	321
4.8	Abwägung der Energieoptionen . . . . .	323
4.8.1	Heute verfügbare Optionen . . . . .	323
4.8.2	Zukünftige Energieoptionen . . . . .	330
4.9	Pragmatische Schlussfolgerungen . . . . .	332
	Größenangaben und Einheiten für Energie . . . . .	336
	Literatur . . . . .	339
	Namen- und Sachwortverzeichnis . . . . .	353
	Die Autoren . . . . .	361



# 1. Einleitung

Der Mensch benötigt für sein Überleben Energie u. a. in Form von Nahrung, Wärme und Licht. Ohne diese Energieformen ist kein menschenwürdiges Leben möglich; ihre dauerhafte Verfügbarkeit ist eine Grundvoraussetzung für das menschliche Leben im Rahmen höherer Gesellschaftsformen.

Von daher spielte Energie bei der Entstehung und Entwicklung menschlicher Gesellschaften stets eine Schlüsselrolle. Daher wird die Beherrschung des Feuers und damit die Verfügbarmachung einer neuen Energiequelle als Indikator für den Beginn der menschlichen Kultur angesehen. Die Herrschaft über das Feuer änderte das Leben des Menschen umfassend: Durch die Erzeugung von Wärme verringerte sich seine Abhängigkeit von den Unbilden der Witterung und die Möglichkeit Nahrung zu kochen revolutionierte seine Ernährungsgewohnheiten. Der griechische Mythos macht diese Erfahrung anschaulich: Es ist der Gott Prometheus, der dem Menschen das Feuer bringt und ihm damit zugleich ein Machtmittel an die Hand gibt, das ihn den Tieren überlegen und den Göttern ähnlich macht.

Jahrtausendlang blieb die Wirtschaft des Menschen hauptsächlich auf die Nutzung traditioneller Biomasse wie Holz, Stroh und Tierdung beschränkt. Bereits in den frühen Hochkulturen trat neben die traditionelle Biomasse-Nutzung jedoch auch die Energiegewinnung aus Wind- und Wasserkraft unter Zuhilfenahme von aufwendigen technischen Geräten. Das Aufblühen der städtischen Kultur und die Wiederbelebung des Fernhandels im Europa des 12. und 13. Jahrhunderts beruhte nicht zuletzt auf einer verbesserten technischen Nutzung der Wind- und Wasserkraft.

Trotz dieser Erfolge blieb mechanische Energie in der Hauptsache weiterhin an menschliche Arbeitskraft gebunden, und ausreichende Verfügbarkeit über diese Energieform bedeutete im Kontext vormoderner Gesellschaften meist Leibeigenschaft oder Sklaverei.

Die jahrtausendlang Abhängigkeit der menschlichen Wirtschaft von erneuerbaren Energiequellen änderte sich erst mit der Förderung von fossilen Rohstoffen am Beginn der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert. Die Dampfmaschine, verbunden mit der industriellen Massenförderung von Kohle, bildete das Rückgrat dieser Revolution und drängte die Bedeutung physischer menschlicher Arbeitskraft zunehmend zurück. Damit leistete die Dampfmaschine einen objektiven Beitrag zur Überwindung von Leibeigenschaft und Sklaverei.

Die Nutzung fossiler Brennstoffe in Wärmekraftmaschinen machte in den Industrieländern Energiedienstleistungen aller Art in einem bis dahin nie bekanntem Ausmaß verfügbar und führte zu einem – verglichen mit

vormodernen Zeiten – hohen Wohlstand. Neben der zuverlässigen Verfügbarkeit von Wärme und Licht wurde nun erstmals auch breiten Bevölkerungsschichten räumliche Mobilität in einem bis dahin nicht gekannten Ausmaß möglich. Die Erfindung des Generators durch Siemens Ende des 19. Jahrhunderts und der Beginn der großindustriellen Erzeugung elektrischer Energie verlieh der Entwicklung einen weiteren Schub, indem sie die technische Voraussetzung dafür schuf, Energie ununterbrochen auch für private Haushalte bereitstellen zu können. Nach zaghaften Anfängen in den Ballungszentren der Industrieländer trat die Elektrifizierung einen weltweiten Siegeszug an; eine Entwicklung, die angesichts der Tatsache, daß rund zwei Milliarden Menschen immer noch keinen Zugang zum öffentlichen Stromnetz haben, noch längst nicht abgeschlossen ist. Wie die Erfahrung vieler Schwellenländer zeigt, ist die Bereitstellung von ausreichender und bezahlbarer Energie für die Menschen in den Entwicklungsländern zugleich ein wichtiges Instrument im Kampf gegen Hunger, Armut und Umweltzerstörung.

Genügend Energie zu erzeugen, um heute sechs, bald wahrscheinlich schon zehn Milliarden Menschen auf der Erde zumindest ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen, ist daher eines der zentralen Probleme des 21. Jahrhunderts. In den Industrieländern stehen heute praktisch in jedem Wohn- und Arbeitsraum elektrische Anschlüsse zur Verfügung. Sie ermöglichen so die Abfrage von Energiedienstleistungen an jedem Ort und zu jeder Zeit in nahezu beliebiger Höhe. Dem modernen Menschen ist die Allgegenwart von leicht verfügbarer und preiswerter Energie so selbstverständlich geworden, dass ihm die dahinter verborgene ungeheure technische Logistik nur noch selten bewusst wird. Vielen Menschen fehlt daher ein Gefühl für die Abhängigkeit ihrer Energieversorgung von begrenzten Ressourcen. Trotz der Erfindung des Generators und der Erschließung der Kernenergie als neuer Primärenergiequelle Mitte des 20. Jahrhunderts sind fossile Brennstoffe bis heute die mit Abstand dominierende Primärenergiequelle.

Die Wärmekraftmaschinen des Industriezeitalters sind in ihrer Mehrzahl „Carbonivoren“ geblieben, d. h. eine Art Kohlenstoffesser, die ihre Energie aus fossiler Pflanzennahrung beziehen. Im Gegensatz zur Nahrungsbasis der tierischen Pflanzenfresser „ernähren“ die Wärmekraftmaschinen sich jedoch von einer nicht erneuerbaren Ressource. Die Begrenztheit der fossilen Rohstoffreserven, die von den modernen Industriegesellschaften oft verdrängt wird, erzwingt langfristig eine ähnlich einschneidende Umstrukturierung der Energiesysteme, wie sie zuletzt zu Beginn der industriellen Revolution stattgefunden hat, und sie wird möglicherweise ähnlich einschneidende ökonomische und soziale Folgen mit sich bringen. Aber nicht nur die faktische Begrenztheit der fossilen Ressourcen ist es,

die längerfristig eine Ablösung der fossilen Brennstoffe als Primärenergiequelle unausweichlich macht, auch die mit dem Abbau und der Verbrennung von fossilen Brennstoffen einhergehenden Umwelt- und Klimaprobleme haben ein in der Kulturgeschichte bislang nie gekanntes Ausmaß erreicht.

Auf der Suche nach der fossilen Nahrung für seine Wärmekraftmaschinen ist der Mensch selbst in die abgelegensten Räume des Planeten vorgegrungen, hat dabei die Landschaft massiv verändert und teilweise schwer geschädigt. Für den Tagebergbau von Stein- und Braunkohle sind ganze Landstriche in den USA, Australien und Deutschland in verwüstete Landschaften verwandelt worden, die heute mühselig rekultiviert werden müssen, und selbst an so unwirtlichen Orten wie dem Nigerdelta und den arktischen Regionen Sibiriens wird Öl und Gas gefördert, oft ohne Rücksicht auf die natürlichen Ökosysteme und die dort lebende indigene Bevölkerung. Schadstoffemissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe bedeuten eine Belastung der menschlichen Gesundheit, führen zu Immissionsschäden an Pflanzen und zu globalen Umweltveränderungen.

Die seit Beginn der Industrialisierung steigende Freisetzung ehemals fossil gebundenen Kohlenstoffs hat zudem den natürlichen Kohlenstoffkreislauf der Biosphäre aus dem Gleichgewicht gebracht und zu einem Anstieg des Kohlendioxidanteils in der Atmosphäre um rund ein Drittel geführt. Da Kohlendioxid neben Methan und anderen Gasen als Treibhausgas wirkt, stimmen Klimatologen weitgehend darin überein, dass noch in diesem Jahrhundert die weltweite Durchschnittstemperatur abhängig von der weiteren Emission von Treibhausgasen um ein bis vier Grad ansteigen wird, mit bislang unklaren Folgen für das weltweite Klima und die natürliche Vegetationsdecke der Erde.

Auch die nichtfossilen Energien, d.h. die Kernenergie und die erneuerbaren Energien haben problematische Umweltfolgen mit sich gebracht.

Beim Abbau von Uran sind in vielen Teilen der Welt, so z.B. in den USA, Kasachstan und der ehemaligen DDR radioaktive Nuklide freigesetzt und teilweise auch in die Nahrungskette eingetragen worden. Zudem fällt beim Betrieb von Kernkraftwerken radioaktiver Müll an, für den bislang weltweit kein Endlager existiert und der teilweise in nicht optimal geschützten Zwischenlagern deponiert wird. Bei den erneuerbaren Energien hat vor allem eine nicht nachhaltige Nutzung traditioneller Biomasse in vielen Entwicklungsländern, insbesondere aber in Afrika und Indien, zu einem ausgesprochenem Raubbau an den natürlichen Ökosystemen geführt. Große Staudämme wie der Assuan Staudamm in Ägypten haben einen bedeutenden Beitrag zur Elektrifizierung der Dritten Welt geleistet, zugleich aber auch massive Einschnitte in die natürliche Flussökologie mit allen damit verbundenen Folgeproblemen bewirkt. Die Gewinnung und

Bereitstellung von für das menschliche Überleben notwendige Energie beginnt also paradoxerweise eben dieses Leben zu gefährden.

Eine umweltverträgliche Energieversorgung, die allen Menschen ausreichend Nutzenergie bereitstellt, ist daher eine Schlüsselfrage des menschlichen Überlebens im 21. Jahrhundert. Neben der Versorgungssicherheit haben in den letzten Jahren Fragen der Umweltverträglichkeit von Energiesystemen zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Trotz oder gerade wegen der unerwünschten ökologischen Nebenfolgen von Energiesystemen herrscht sowohl weltweit als auch in Deutschland kein Konsens über die zukünftigen einzuschlagenden Pfade der Energiegewinnung: Sollen die mit Blick auf die Versorgungssicherheit zuverlässigen fossilen Energiesysteme – wenn auch unter erhöhten Umweltauflagen – weiterbetrieben werden, solange dies die Ressourcenbasis erlaubt, oder sollten sie bereits mittelfristig durch alternative Energiequellen ersetzt werden? Welcher der beiden alternativen Primärenergiequellen – erneuerbare Energien oder Kernenergie – wäre im Falle einer notwendigen Umstrukturierung der Energiewirtschaft der Vorzug zu geben? Sollten beide Pfade gleichberechtigt verfolgt werden oder sollte auf die nukleare Energieoption wegen ihres Gefahren- und Missbrauchspotenzials womöglich gänzlich verzichtet werden? Werden neuartige Technologien, wie die Fusionsenergie oder weltraumgestützte Solarkraftwerke schon bald eine umweltfreundliche Lösung der Energiefrage bringen?

Dies sind die zentralen Fragen im Hinblick auf die zukünftige globale Energiepolitik.

Hinsichtlich der möglichen Alternativen herrscht kein Konsens. Die im Hinblick auf eine großtechnische Nutzung ausgereifteste Alternative zu den fossil dominierten Energiesystemen, nämlich die Kernenergie, ist seit ihrer Einführung Gegenstand hitziger Kontroversen und trifft in vielen Ländern auf Akzeptanzprobleme. Gerade in der Bundesrepublik Deutschland hat die Auseinandersetzung um die Kernenergie in der Vergangenheit – wie etwa um die ehemals geplante Wiederaufbereitungsanlage in Wackersdorf – nachgerade bürgerkriegsähnliche Zustände angenommen. Um keine andere Technologie, die moderne Reproduktionsmedizin und die Gentechnik vielleicht ausgenommen, wurde und wird ähnlich leidenschaftlich gestritten. In der Frage der Kernenergienutzung besteht sowohl innergesellschaftlich als auch international kein politischer Konsens. In drei Ländern Europas, nämlich Österreich (1979), Italien (1987) und Schweden (1980), hat sich die Bevölkerung in der Vergangenheit in Volksentscheiden gegen die Nutzung der Kernenergie ausgesprochen. Vor dem Hintergrund fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz haben mittlerweile fünf von acht EU-Staaten mit Kernkraftwerken, darunter auch Deutschland, einen Atomausstieg beschlossen oder zumindest angekündigt. Andere europäische Länder, darunter insbesondere Frankreich, halten hingegen an der