

cepe

Centre for Energy Policy and Economics  
Swiss Federal Institutes of Technology

# Das Energieverbrauchsfenster, das kein Fenster ist

Daniel Spreng

Andrea Scheller

Brigitte Schmieder

Nicola Taormina

**CEPE Working Paper Nr. 15**  
Juni 2002

**CEPE**  
ETH Zentrum, WEC  
CH-8092 Zürich  
[www.cepe.ethz.ch](http://www.cepe.ethz.ch)

# Das Energieverbrauchsfenster, das kein Fenster ist

Daniel Spreng  
Andrea Scheller  
Brigitte Schmieder  
Nicola Taormina

**CEPE Working Paper Nr. 15**

Juni 2002

**CEPE**

ETH Zentrum, WEC

CH-8092 Zürich

[www.cepe.ethz.ch](http://www.cepe.ethz.ch)

EINLEITUNG.....	3
DER ENERGIEVERBRAUCH ALS SCHLÜSSELINDIKATOR.....	4
DAS ENERGIEVERBRAUCHSFENSTER.....	7
<i>Die drei Dimensionen nachhaltiger Entwicklung als Rahmen des Energieverbrauchsfensters.....</i>	<i>7</i>
<i>Ein „window of opportunity“?.....</i>	<i>8</i>
DIE GRENZEN DES ENERGIEVERBRAUCHS.....	9
<i>Die ökologische Grenze.....</i>	<i>9</i>
<i>Die ökonomische Grenze.....</i>	<i>12</i>
<i>Die soziale Grenze.....</i>	<i>15</i>
DAS FENSTER IST EIN NADELÖHR BEI CA. 2 KW/KOPF.....	16
DAS ENERGIEVERBRAUCHS'FENSTER' IM LÄNDERVERGLEICH.....	17
ZUKUNFTSSZENARIEN.....	18
DISKUSSION.....	18
LITERATUR.....	22

## Einleitung

Nachhaltige Entwicklung, darüber herrscht heute weitgehend Einigkeit, hat eine ökologische, eine wirtschaftliche und eine gesellschaftliche Dimension. Damit auch künftige Generationen ihre Bedürfnisse befriedigen können, sollen Güter dieser drei Dimensionen erhalten bleiben. Dabei ist umstritten, ob die Güter einzeln oder nur als Summe erhalten bleiben sollen. Als Ausgangspunkt für das Aufsummieren werden die Güter oft in die Kategorien natürliches Kapital, produziertes Kapital und Human- bzw. soziales Kapital eingeteilt. Bei der Beurteilung der Veränderungen dieser völlig unterschiedlichen Kapitalstöcke müssen dynamische Variablen wie Produktions-, Abbau- und Akkumulationsraten und deren gegenseitige Wechselwirkungen zu Rate gezogen werden, was zu einer unendlichen Anzahl von Daten- und Messreihen führt. Aus dieser Fülle von Informationen werden dann Indikatoren ausgewählt oder konstruiert. Die daraus resultierende, meist immer noch beträchtliche Menge an Grössen wird schliesslich in einem mehr oder weniger ausgeklügelten Indikatorensystem untergebracht oder nach allen Regeln der Kunst zu einem Index aggregiert. Die Vor- und Nachteile dieser beiden Ansätze sind bekannt: Indikatorensysteme mit vielen Indikatoren können mehr Dimensionen abdecken, sind aber nicht rasch und leicht zu lesen. Aggregierte Indizes sind attraktiv, weil sie mit einem Blick erfasst werden können, aber die Gewichtung, die zur Aggregation vorgenommen werden muss, weist notgedrungen ein beträchtliches Mass an Willkür auf und ist für den Nutzer oft wenig transparent.

Wir haben einen dritten Weg gewählt: Im Folgenden berichten wir über den Versuch, mit einem einzigen, leicht verständlichen und weitgehend verfügbaren Indikator eine Aussage zur nachhaltigen Entwicklung zu machen: dem Pro-Kopf-Energieverbrauch. Ein Hinweis darauf, dass es möglich sein könnte, mit nur *einem* Indikator eine nützliche Information bereitzustellen zu können, liefert die Körpertemperatur. Sie ist ein einfacher Indikator für die Gesundheit, einem ähnlich schwierig zu fassenden Thema wie die nachhaltige Entwicklung. Eine erhöhte Temperatur weist darauf hin, dass mit der Gesundheit etwas nicht stimmt, und dass die betroffene Person sich Sorge tragen muss. Das Fieber sagt allerdings nicht viel über Ursache und Art der Erkrankung aus. Und wenn kein Fieber vorliegt, heisst dies auch noch nicht, dass man gesund ist. Der Indikator widerspiegelt also nicht alle Gesundheitsdimensionen. Trotzdem ist es ein oft zu Rate gezogener Indikator, weil er rasch einen ersten Eindruck über den Gesundheitszustand eines Menschen vermitteln kann. Dieselben Eigenschaften vermuten wir für den Energieverbrauch in Bezug auf die Nachhaltigkeit.

## Der Energieverbrauch als Schlüsselindikator

Die Minimalanforderung an einen Indikator der Nachhaltigkeit dürfte sein, dass der Indikator einen Zusammenhang mit den drei Dimensionen Ökologie, Wirtschaft und Gesellschaft aufweist und, direkt oder indirekt, in enger Beziehung zu einer Vielzahl von Gütern steht, die den nachfolgenden Generationen erhalten bleiben sollen.

Was hat der Energieverbrauch mit den drei Dimensionen zu tun?

Der Bezug zum natürlichen Kapital ist offensichtlich: Sowohl Ressourcen als auch Senken werden durch das Energiesystem wesentlich strapaziert. In ihrem klassischen Artikel „The Age of Substitutability“ haben Goeller und Weinberg (1976) gezeigt, dass Energie letztlich die einzige knappe natürliche Ressource ist.<sup>1</sup> Praktisch alle anderen knappen natürlichen Ressourcen können durch andere, ausreichend vorhandene Ressourcen ersetzt werden, wenn man bereit ist, dafür ein bescheidenes Mass an zusätzlicher Energie aufzuwenden. Die durch die Energiesysteme verursachte Umweltbelastung ist beträchtlich, wie ein Auszug aus dem kürzlich erschienenen „World Energy Assessment“ (UNDP 2000b) zeigt (siehe Tab. 1).

---

<sup>1</sup> Goeller H.E. and A.M. Weinberg, 1976, S. 4228

Belastung	natürliche Emissionen (N) (Tonnen pro Jahr)	$\frac{A}{N}$	anthropogene Emissionen durch			
			kommerz. Energieversorgung	tradition. Energieversorgung	Landwirtschaft	Industrielle Produktion
Bleiemission in die Luft	12 x10 <sup>3</sup>	18	<b>41 %</b> (fossile Treib- und Brennstoffe inkl. Additive)	vernachlässigbar	vernachlässigbar	59% (Metallherstellung/-verarbeitung, Müllverbrennung)
Mineralölemission ins Meer	200 x10 <sup>3</sup>	10	<b>44%</b> (Petroleumgewinnung, -verarbeitung und -transport)	vernachlässigbar	vernachlässigbar	56% (Mineralölentsorgung, inkl. Motorenölwechsel)
Cadmiumemission in die Luft	1.4 x10 <sup>3</sup>	5.4	<b>13%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	5% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	12% (Brandrodung, Feldabbrand)	70% (Metallherstellung/-verarbeitung, Müllverbrennung)
Schwefelemission in die Luft	31 x10 <sup>6</sup>	2.7	<b>85%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	0.5% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	1% (Brandrodung, Feldabbrand)	13% (Verhütung, Müllverbrennung)
Methanausstoss in die Luft	160 x10 <sup>6</sup>	2.3	<b>18%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe und deren Verarbeitung)	5% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	65% (Reisfelder, Nutztiere, Urbanisierung)	12% (Kehrichtdeponien)
Stickstofffixierung	140 x10 <sup>6</sup>	1.5	<b>30%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	2% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	67% (Düngung, Brandrodung)	1% (Müllverbrennung)
Quecksilberemission in die Luft	2.5 x10 <sup>3</sup>	1.4	<b>20%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	1% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	2% (Brandrodung, Feldabbrand)	77% (Metallherstellung/-verarbeitung, Müllverbrennung)
Stickoxidemission in die Luft	33 x10 <sup>6</sup>	0.5	<b>12%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	8% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	80% (Düngung, Urbanisierung, Störung des Grundwasserleiters)	vernachlässigbar
Partikelausstoss in die Luft	3.1 x10 <sup>9</sup>	0.12	<b>35%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	10% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	40% (Brandrodung, Feldabbrand)	15% (Verhütung, nichtlandwirtschaftliche Urbanisierung, Kehricht)
Nicht-Methan Kohlenwasserstoffemission in die Luft	1 x10 <sup>9</sup>	0.12	<b>35%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe und Verarbeitung)	5% (traditionelles Verbrennen von Biomasse)	40% (Brandrodung, Feldabbrand)	20% (nichtlandwirtschaftliche Urbanisierung, Kehrichtverbrennung)
CO-Emission in die Luft	150 x10 <sup>9</sup>	0.05	<b>75%</b> (fossile Treib- und Brennstoffe)	3% (Rodung netto für Brennholz)	15% (Rodungen netto für Urbanisierung)	7% (Rodungen netto für Holz und Zementfabrikation)

Tabelle 1: Emissionen durch menschliche Aktivitäten

Der Energieverbrauch kann auch als Indikator für den Zustand einer Volkswirtschaft betrachtet werden. Im Gegensatz zum Bruttosozialprodukt (BSP) oder zum Bruttoinlandprodukt (BIP) misst der Energieverbrauch nicht Geld und Preise, die sich aus dem Wechselspiel von Angebot und Nachfrage ergeben, sondern eine Grösse, die direkt mit physischer Bewegung, Materialverschleiss und materiellem Konsum verbunden ist.

Ein Begriff, der in den 80er Jahren oft verwendet wurde, ist das „qualitative Wachstum“. Das BIP hat mit qualitativem und quantitativem Wachstum zu tun, es wächst sowohl wenn mehr produziert wird als auch wenn Güter von höherer Qualität produziert werden. Qualitatives Wachstum bedeutet, dass mengenmässig zwar nicht mehr produziert werden soll, mit höherer Qualität und besser auf die individuellen Bedürfnisse angepassten Produkten aber trotzdem ein höheres BIP erzielt werden soll. Der Energieverbrauch nimmt proportional zur physischen Menge der Güter zu, nicht aber proportional zu dem durch höhere Qualität produzierten Mehrwert. Wird effizienter produziert, nimmt der Energieverbrauch ab, werden die Produkte intelligenter gestaltet, ändert sich der Energieverbrauch kaum. Der Energieverbrauch ist also ein Mass für das mengenmässige, für das nicht-qualitative Wachstum.

Energieverbrauch hat auch mit gesellschaftlicher Stellung und (Verfügungs-)Macht zu tun. Einerseits als Statussymbol. Ein grosses Motorrad gibt seinem Lenker das Gefühl der Macht. Ein Staatsbesuch zu Fuss würde als Kapitulation interpretiert. Ein grosses Haus mit Klimaanlage und Indoor Swimming Pool symbolisiert eine gehobene gesellschaftliche Stellung. Andererseits kann Energie auch als machtvolle Handlungsressource verstanden werden: Macht bedeutet die Möglichkeit zu handeln, und das Verfügen über Ressourcen (sowohl materielle wie bspw. Geld oder Raum als auch immaterielle wie bspw. Herkunft oder Bildung) ist die Basis dafür. Je grösser sein Zugang zu Ressourcen, desto mehr Handlungsmöglichkeiten und Gestaltungsfreiheit hat ein Individuum. Energie ist eine wichtige, handlungsermöglichende Ressource. „Wenn ich sechs Hengste zahlen kann, sind ihre Kräfte nicht die meinen? Ich renne zu und bin ein rechter Mann, als hätt' ich vierundzwanzig Beine“<sup>2</sup>. Die Verteilung der Verfügung darüber kommt deshalb als Indikator für die Chancengleichheit in Frage. Eine ungleiche Verteilung des Energieverbrauchs deutet auf eine ungleiche Machtverteilung und insofern auf eine ungleiche Verteilung von Chancen hin.

Die Behauptung, der Energieverbrauch sei auf nationaler Ebene ein guter Nachhaltigkeitsindikator, wurde in der Diplomarbeit, in Ergänzung zur obigen Argumentation, in einem direkten Vergleich mit den Indikatoren der „Commission on Sustainable Development“ (CSD) der Vereinten Nationen geprüft. Mit Ausnahme der Indikatoren in der Kategorie „Institutionen“ und Indikatoren, die Chemikalien betreffen, stehen praktisch alle Indikatoren der CSD-Liste in direktem oder – natürlich häufiger – indirektem Zusammenhang mit dem Energieverbrauch. Auch diese Analyse bekräftigt die These, dass der Energieverbrauch sich als grober Indikator für die Nachhaltigkeit eignet.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Mephistopheles, in Goethe J.W.

<sup>3</sup> Allerdings hat die Prüfung auch ergeben, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoss für die ökologische Grenze auf nationaler Ebene ein noch geeigneterer Indikator darstellen dürfte als der Energieverbrauch selbst. Es wird dadurch zwar eine Emission als besonders wichtig herausgehoben, aber es macht die Bestimmung einer universell gültigen Grenze möglich. Dieses Resultat hat Eingang gefunden in die Konstruktion des Energieverbrauchsfensters.

Aufgrund der Einsicht, dass Energieverbrauch sowohl mit Umweltverzehr, Materialumsatz in der Wirtschaft und Machtverteilung in der Gesellschaft zu tun hat, stellte sich einer der AutorInnen die Frage, ob sich diese drei Elemente nicht mit einem Indikator abbilden lassen, und entwickelte die Theorie eines Energieverbrauchsfensters.

## Das Energieverbrauchsfenster

In einer Diplomarbeit der ETH Zürich wurde die konzeptionelle Idee des Energieverbrauchsfensters kritisch hinterfragt und quantitativ getestet.

### Die drei Dimensionen nachhaltiger Entwicklung als Rahmen des Energieverbrauchsfensters

Die drei Aspekte nachhaltiger Entwicklung (der ökologische, der ökonomische und der soziale) bestimmen die Grenzen des Energieverbrauchs.<sup>4</sup> Die Grenzen sollen den Fensterrahmen des Energieverbrauchsfensters bilden, innerhalb welchem der Energieverbrauch bei nachhaltiger Entwicklung liegt. Ökonomische Kriterien sollen die untere, ökologische die obere Begrenzung bestimmen, das Ausmass der ungleichen Verteilung soll als vertikale Begrenzung dargestellt werden.

Das Energieverbrauchsfenster verwendet den Energieverbrauch pro Kopf<sup>5</sup> eines Landes als Nachhaltigkeitsindikator. Die Höhe des Fensters definiert den Bereich, in welchem nachhaltige Entwicklung möglich erscheint.

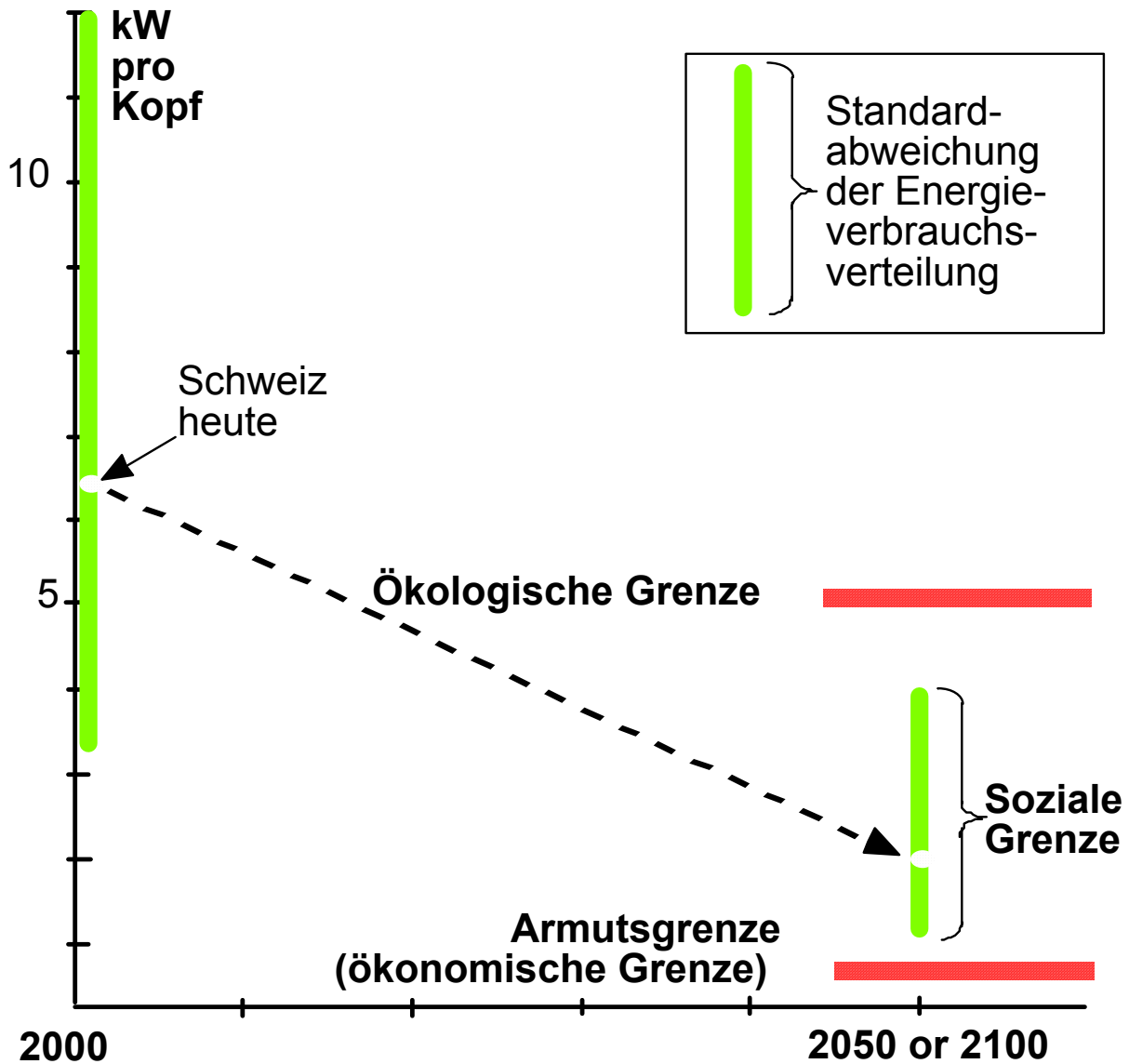
- Die ökonomische Grenze ist als untere Grenze definiert. Für eine nachhaltige ökonomische Entwicklung ist ein minimaler Energieverbrauch erforderlich. Nur wenn der Energieverbrauch pro Kopf eine gewisse Armutsgrenze übersteigt, ist nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung möglich. Die „energetische Armutsgrenze“ ist ein zuverlässigeres Mass als eine durch das Einkommen definierte Armutsgrenze, weil sie davon unabhängig zustande kommt, ob der betrachtete Haushalt Teil des formellen oder des informellen Sektors ist.
- Die ökologische Obergrenze gibt an, welcher Energieverbrauch der Planet Erde erträgt, ohne aus dem derzeitigen ökologischen Fließgleichgewicht zu geraten. Hier bieten sich die globalen Klimamodelle an, um einen oberen Grenzwert des Energieverbrauchs abzuleiten.
- Die soziale Grenze begrenzt die Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Pro-Kopf-Energieverbrauch eines Landes. Sie wird als allgemeiner Richtwert und ohne daraus eine Handlungsanweisung abzuleiten festgelegt.

---

<sup>4</sup> Für eine Diskussion der Bedeutung von Grenzen im Zusammenhang mit Indikatoren der Nachhaltigkeit siehe Spreng D. und K.R. Smith, 2000.

<sup>5</sup> Genau genommen handelt es sich um den Energieverbrauch pro Haushalt dividiert durch die Anzahl Personen pro Haushalt.





Figur 1: Das Energieverbrauchsfenster mit der Schweiz als Beispiel

### Ein „window of opportunity“?

Die Vorstellung, dass es ein „window of opportunity“, für eine nachhaltige Zukunft gebe, steht sowohl im Gegensatz zur Vorstellung, nachhaltige Entwicklung würde sich aus graduellen Verbesserungen automatisch ergeben, als auch zur Idee, Nachhaltigkeit sei ein neuer Name für Umweltschutz. Das Fenster hat eher mit einer Gratwanderung zu tun: sowohl zuviel als auch zuwenig Entwicklung können die Nachhaltigkeit gefährden.

In diesem Zusammenhang ist es nützlich, auf die aktuelle Diskussion um die „2000 Watt-Gesellschaft“<sup>6</sup> Bezug zu nehmen. Im Modell der „2000 Watt-Gesellschaft“ soll – weitgehend mittels technologischer Entwicklungen – der Primärenergieverbrauch von Industrieländern bei

<sup>6</sup> Die 2000 Watt beziehen sich auf einen über ein Jahr gemittelten totalen Energieverbrauch pro Person. Die Bezeichnung Watt für den Energieverbrauch mag verwirrend wirken. In der Physik steht die Einheit Watt für eine Leistung. Auch hinter dem Energieverbrauch steckt eine Leistung: Der Energieverbrauch bezieht sich immer auf eine Zeit, hat somit die Einheit Energie pro Zeit. 2000 Watt entspricht einem Energieverbrauch von 2000 Joule pro Sekunde oder 172'800 Kilojoule pro Tag (entspricht 48 kWh pro Tag).

gleichbleibender Lebensqualität auf 2000 W pro Person gesenkt werden.<sup>7</sup> In der Schweiz liegt der aktuelle jährliche Pro-Kopf-Energieverbrauch bei ca. 6000 W.

Bezüglich der Berechnung der Grenzen des Energieverbrauchsfensters wurden folgende Quellen verwendet:

- Zur Festlegung einer oberen Grenze des Energieverbrauchs kann von Empfehlungen des „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) zu Emissionen von CO<sub>2</sub> ausgegangen werden. Dabei ist der Kohlenstoffgehalt der eingesetzten Energie in Rechnung zu stellen. Die Grenze ist zudem abhängig von der Wahl des Zeithorizonts. Die Grenze sinkt, je länger die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht drastisch reduziert werden. Die obere Begrenzung des Fensters wird umso unschärfer, je mehr man sie in die Ferne schiebt; ein verführerischer Umstand.
- Für die Berechnung eines Mindestverbrauchs an Energie kann auf Arbeiten von José Goldemberg et al.<sup>8</sup> zur 1 kW-Gesellschaft zurückgegriffen werden.
- Die Energieverbrauchsverteilung innerhalb eines Landes wurde, wenn keine anderen Daten vorlagen, aus der Einkommensverteilung abgeleitet

## Die Grenzen des Energieverbrauchs

### Die ökologische Grenze

Die ökologische Grenze, die durch die Begrenzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmt wird, ist vor allem für industrialisierte Länder relevant. Deren Energieverbrauch liegt heute vielfach weit über dem Verbrauch dieser ökologischen Grenze.

Die Begrenzung von Emissionen ist nicht nur auf politischer Ebene ein heftig diskutiertes Thema. Insbesondere das „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC)<sup>9</sup> hat sich in den letzten Jahren im Zusammenhang mit dem Problem des Klimawandels mit der Emission von Treibhausgasen befasst. Verschiedene Arbeitsgruppen haben unter anderem Szenarien<sup>10</sup> zur Zunahme der Treibhausgase, zur Klimaerwärmung und zur Erhöhung des Meeresspiegels entwickelt. Wir stützen uns für die Bestimmung der oberen Grenze des Energieverbrauchsfensters auf Arbeiten und Aussagen des IPCC.

Das IPCC hat Szenarien ausgearbeitet, die ab dem Jahr 2100 zu einer Stabilisierung der Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre führen. Figur 2 zeigt die zur Stabilisierung führenden Emissionsverläufe.

---

<sup>7</sup> Wirtschaftsplattform, 1998, S. 4.

<sup>8</sup> Goldemberg, J. et al., 1988.

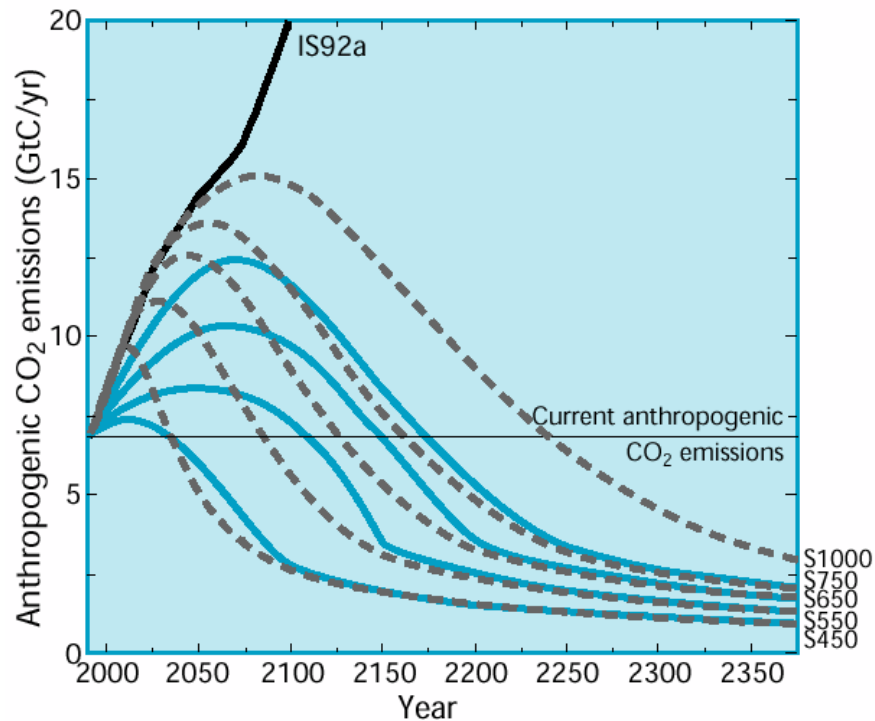
<sup>9</sup> IPCC wurde 1988 von der „World Meteorological Organization“ und dem „United Nations Environment Programme“ gegründet, um

- wissenschaftliche Informationen über den Klimawandel zu erarbeiten,
- ökologische und sozio-ökonomische Zusammenhänge des Klimawandels abschätzen zu können und
- Reaktionsstrategien zu entwickeln.

<sup>10</sup> IPCC hat verschiedene Reihen von Szenarien entwickelt:

Die sechs IS92 Emissions-Szenarien enthalten eine Reihe von Annahmen, wie sich die Treibhausgas-Emissionen in der Zukunft ohne Klimapolitik entwickeln könnten. Annahmen zum Wirtschaftswachstum, zum Energiebedarf und Prognosen zum Bevölkerungswachstum wurden hergestellt, um die Szenarien herzuleiten.

Weiter entwickelten Arbeitsgruppen des IPCC Konzentrationsprofile, die in Zukunft zur Stabilisierung von CO<sub>2</sub> auf vorgegebenem Niveau führen. Ausgearbeitet wurden Profile, die zur Stabilisierung von 350 bis 1000 ppmv (parts per million (10<sup>6</sup>) by volume) führen. Aufgrund dieser Konzentrationsprofile können die über einen längeren Zeitabschnitt erlaubten Emissionen abgeschätzt werden.



Figur 2: Verlauf der Kohlenstoffemissionen, die zur Stabilisierung führen<sup>11</sup>

Die dargestellten Szenarien erlauben einen weiteren Anstieg der Emissionen in den nächsten Jahren bis Jahrzehnten. Danach folgt eine relativ starke Abnahme der emittierten Kohlenstoffmengen unter den heutigen Wert. In ein- bis zweihundert Jahren pendeln sich auch die Emissionen auf einem relativ tiefen Wert ein.

Die Stabilisierung der Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre als Ziel für eine nachhaltige Entwicklung, kann auf verschiedenen Konzentrationsniveaus erfolgen. Die Auswirkungen einer erhöhten Konzentration sind nicht abschliessend bekannt. Dadurch wird die Festlegung einer Grenze erschwert. Zur Festlegung einer ökologischen Grenze nachhaltiger Entwicklung, welche der maximal tolerierbaren Kohlenstoffemission entspricht, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Szenario a) Um den Handlungsbedarf von Minderungsmaßnahmen drastisch aufzuzeigen wird im (unrealistischen) Szenario a) angenommen, die Emissionen müssten schon 2050 auf 2 GtC/Jahr gesenkt werden.
- Szenario b) Eine weitere Möglichkeit der Quantifizierung der ökologischen Grenze des Energieverbrauchsfensters sind die IPCC-Szenarien mit entsprechenden Emissionen für die beiden Jahre 2050 und 2100:
  - b1) Das Szenario mit dem tiefsten Stabilisierungsniveau erlaubt eine Erhöhung bis ins Jahr 2012 auf maximal 9,5 GtC/Jahr und anschliessend eine rasche Senkung der Emissionen. Für das Jahr 2050 müssen die Emissionen auf ca. 4 GtC/Jahr und bis 2100 auf ca. 2 GtC/ Jahr gesenkt werden.

<sup>11</sup> IPCC, 1995, S. 10.

- b2) Ein weiteres Szenario berücksichtigt die Stabilisierung bei 550 ppmv. Dieses erlaubt eine starke Erhöhung bis ins Jahr 2030 auf ca. 11 GtC/Jahr und verlangt danach eine rasche Senkung. Dies führt zu Emissionen im Jahr 2050 von bis zu 10 GtC und im Jahr 2100 bis zu 5 GtC/Jahr. Die Stabilisierung auf einem Niveau von 550 ppmv scheint aus heutiger Sicht ein Ziel zu sein, dessen Umweltauswirkungen noch akzeptiert bzw. toleriert werden können. Dieses Niveau entspricht einer Verdoppelung gegenüber der Konzentration der vorindustriellen Zeit. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Stabilisierung der Konzentration auf diesem Niveau zu einer starken Klimaveränderung auf der gesamten Erde führt.
- b3) Die Szenarien zur Stabilisierung auf noch höheren Niveaus haben starke Auswirkungen auf die Umwelt. So müsste im 2100 mit einer Temperaturerhöhung von mindestens 1,5° C und mit einer Erhöhung des Meeresspiegels von mindestens 40 cm gerechnet werden sowie mit einem weiteren Anstieg in den folgenden Jahren. Dies sind derart starke Auswirkungen, dass sie eine nachhaltige Entwicklung gefährden würden.

Für die Szenarien a), b1) und b2) wird im folgenden die Umrechnung von CO<sub>2</sub> in Energieeinheiten vorgenommen. Der Pro-Kopf-Energieverbrauch wird aus dem durchschnittlichen jährlichen Energieverbrauch (GJ/Jahr) und den prognostizierten Bevölkerungszahlen berechnet.

Zur Umrechnung der Kohlenstoffmengen in Energieeinheiten werden vereinfachende Annahmen über den Kohlenstoffgehalt fossiler Energieträger und über die Bevölkerungsentwicklung gemacht:

- Der Kohlenstoffgehalt von Gas, Öl und Kohle ist unterschiedlich. Eine genauere Betrachtung mittels Prognosen über die Aufteilung von fossilen Energieträgern (Gas, Öl, Kohle) zur besseren Abschätzung macht aber keinen Sinn.<sup>12</sup> Der Einfluss auf das Resultat ist gering und in Anbetracht der grossen Unsicherheiten zur Prognose der nachhaltigen Entwicklung vernachlässigbar. Die unterschiedlichen Verteilungen werden nicht weiter berücksichtigt. Es wird mit einem mittleren Kohlenstoffgehalt von 20 kgC/GJ gerechnet.
- Die Berechnungen werden mit einer Bevölkerungszahl von 10,1 Milliarden im Jahr 2050 und von 11,7 Milliarden im Jahr 2100 durchgeführt.

Beträgt der Anteil fossiler Brennstoffe am Gesamtenergieverbrauch weniger als 100%, wird sich die Grenze der nachhaltigen Entwicklung nach oben zu einem höheren Energieverbrauch verschieben. Aus diesem Grund wurde die Grenze für eine nachhaltige Entwicklung für verschiedene fossile Anteile (100, 80, 60, 40, 20, 15, 10 und 5%) am Gesamtverbrauch berechnet.

---

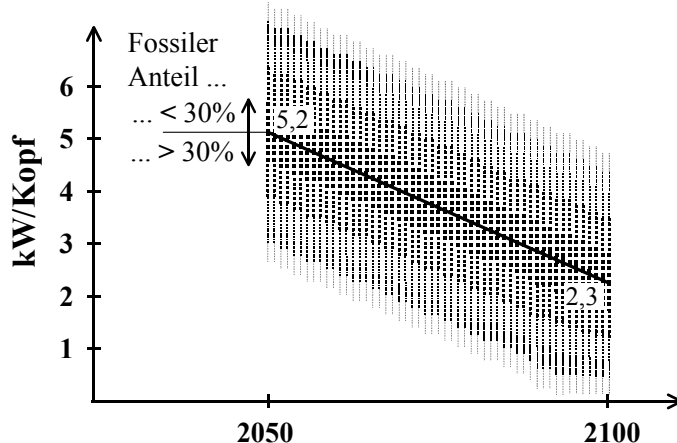
<sup>12</sup> Mit Hilfe von Szenarien aus einem Report von WEC/IIASA (WEC/IIASA, 1995) wurde in der Diplomarbeit versuchsweise eine Begrenzung bei 1,5 GtC/Jahr in Energieeinheiten umgerechnet.

Die Werte für eine obere ökologische Grenze nachhaltiger Entwicklung in der folgenden Tabelle wurden aufgrund der oben beschriebenen Szenarien bestimmt. Die Wahl der Emissionslimitierung hat einen entscheidenden Einfluss auf den resultierenden Grenzwert.

Jahr	Emission n	Anteil fossiler Energieträger								
		GtC/a	100%	80%	60%	40%	20%	15%	10%	5%
2000	7		<b>2,0</b>							
2050	Szenario a)	2	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,6</b>	<b>2,1</b>	<b>3,1</b>	<b>6,3</b>
2050	Szenario b1)	4	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>3,1</b>	<b>4,2</b>	<b>6,3</b>	<b>12,6</b>
2050	Szenario b2)	10	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>3,9</b>	<b>7,9</b>	<b>10,5</b>	<b>15,7</b>	<b>31,4</b>
2100	Szenario a)	2	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,7</b>	<b>5,4</b>
2100	Szenario b1)	2	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,7</b>	<b>5,4</b>
2100	Szenario b2)	5	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>	<b>3,9</b>	<b>4,5</b>	<b>6,8</b>	<b>13,6</b>

Tabelle 2: Berechnung der ökologischen Grenze (kW/Kopf) für Kohlenstoff-Emissionen gemäss Szenarien a), b1) und b2), sowie heutige Emissionen und Energieverbrauch pro Kopf.

Wenn wir nun als „realistischste“ Variante Szenario 2b) auswählen, kommen wir auf eine ökologische Obergrenze des Energiefensters, die nicht horizontal ist, sondern in die Zukunft schräg nach unten geneigt ist. Zudem ist es nicht eine Grenze, die für alle gleich hoch ist, sondern – da sie sich auf den Kohlenstoffgehalt des Energieverbrauchs bezieht – je nach Energiemix höher oder tiefer liegt. Die horizontale Linie von Figur 1 wird somit zum geneigten Graubereich von Figur 3. Für einen Anteil von 30% fossiler Energieträger am gesamten Energieverbrauch ergeben sich für das Jahr 2050 eine ökologische Grenze von 5,2 kW/Kopf und für das Jahr 2100 eine Grenze von 2,3 kW/Kopf.



Figur 3: Graphische Darstellung der ökologischen Grenze

### Die ökonomische Grenze

Die Grundbedürfnisse eines Haushalts können je nach Klimazone mit 0,3 bis 0,8 kW pro Kopf gedeckt werden.

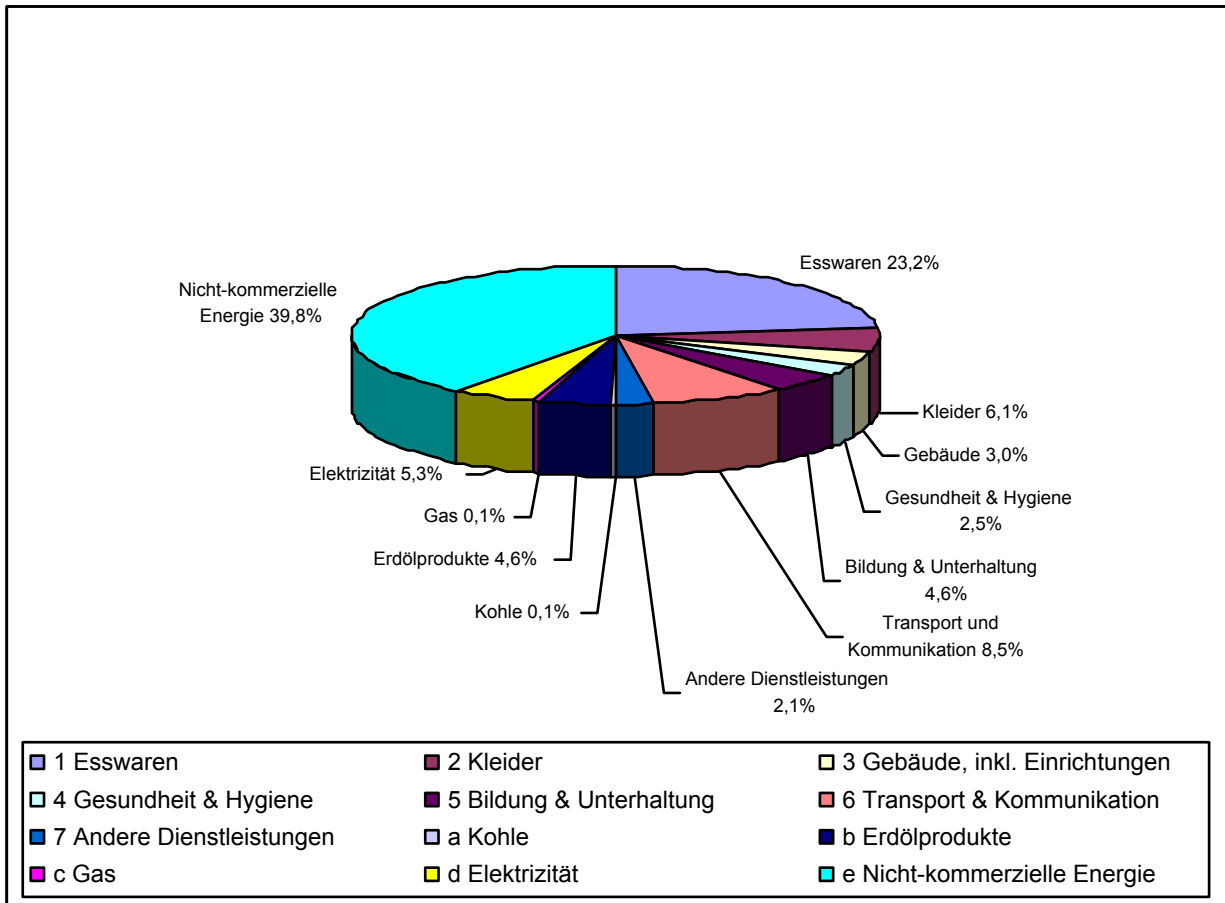
Klimazone	Warm	Gemässigt	Kalt
Durchschnittstemperatur	25° C	18° C	10° C
Licht	0.06	0.07	0.11
Heizung	-	0.09	0.34
Kühlung	0.02	0.01	-
Essenaufbewahrung	0.05	0.04	-
Kochen	0.07	0.09	0.11
Warmwasseraufbereitung, -förderung	0.04	0.09	0.13
Erholung, Kommunikation, etc.	0.05	0.05	0.07
Total	0.29	0.44	0.76

Tabelle 3: Direkter Energieverbrauch (kW/Kopf) eines Haushalts in verschiedenen Klimazonen (Stand 1979, für Südamerika)<sup>13</sup>

Die Energieverbrauchsberechnungen in Tabelle 3 stammen aus dem Jahr 1979. Sie dienten Goldemberg et al.<sup>14</sup> als Grundlage für das Konzept der 1 kW-Gesellschaft, die später in der Schweiz zur 2000-Watt Gesellschaft mutierte. Seit Ende der 70er Jahre haben sich die Wirkungsgrade verschiedener Technologien verbessert (typischerweise um ein Prozent pro Jahr). Wir können von der vereinfachenden Annahme ausgehen, dass die Wirkungsgradverbesserungen durch neue Bedürfnisse (z.B. Internet-Anschluss) kompensiert werden; Bedürfnisse, die mit der Zeit auch als Grundbedürfnisse empfunden werden. Die Zahlen aus Tabelle 3 müssen jedoch in anderer Weise ergänzt werden. Insbesondere sind neben den angegebenen direkten Energieverbräuchen auch die indirekten zu berücksichtigen.

<sup>13</sup> Goldemberg J. et al., 1988, S. 203.

<sup>14</sup> Goldemberg J. et al., 1988



Figur 4: Der indirekte (1-7) und direkte (a-e) Energieverbrauch eines durchschnittlichen indischen Haushalts sind etwa gleich gross<sup>15</sup>

Figur 4 zeigt, dass die Zahlen von Tabelle 3 etwa verdoppelt werden müssen, wenn indirekte Energieverbräuche berücksichtigt werden sollen. Im Weiteren ist diese bottom-up Rechnung mit dem Energieverbrauch zu ergänzen, der weder direkt noch indirekt den Haushalten zugeordnet werden kann. Es sind dies die direkten und indirekten Verbräuche der öffentlichen Hand und die Energieaufwendungen, die mit den Nettoinvestitionen in den Produktionssektoren verbunden sind. Diese beiden Posten betragen nicht in jedem Land gleichviel. Als typischen Wert verwenden wir 25% des Landesenergieverbrauchs, den Pachauri<sup>16</sup> für Indien bestimmt hat. Der Gesamtenergieverbrauch (kW/Kopf) beträgt dann für ein warmes Klima 0.7 kW, für ein gemässigt 1.1 kW, und für ein kaltes 1.9 kW. Somit kann Tabelle 3 in der Tat als Hinweis darauf gelten, dass eine 1-kW-Gesellschaft eine gangbare Alternative wäre.

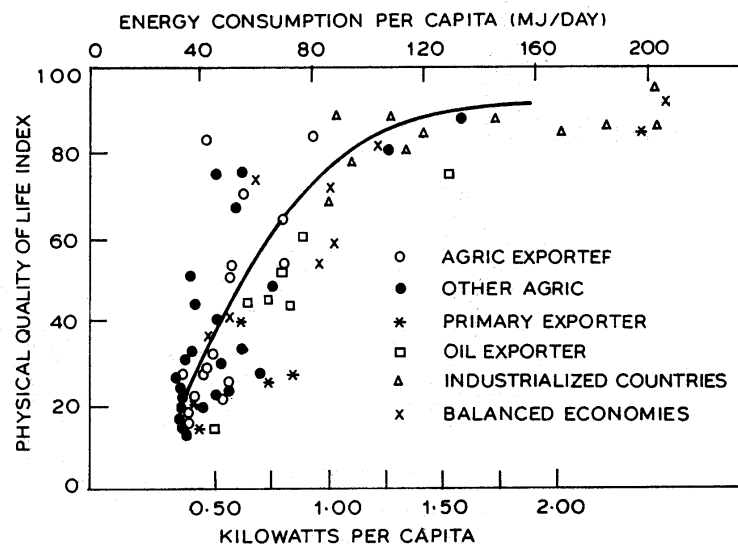
Eine weitere Begründung dafür, dass für ein menschenwürdiges Leben nicht viel mehr als 1 kW notwendig wäre, haben Goldemberg et al. aus Daten von Palmedo et al.<sup>17</sup> abgeleitet. Letztere haben den sog. „Physical Quality of Life Index“ (PQLI) in Abhängigkeit des Endenergiekonsums berechnet. Der PQLI wird aus den gleich stark gewichteten Indikatoren Lebenserwartung, Kindersterblichkeitsrate und Bildung gebildet. Wie Figur 5 zeigt, steigt der PQLI ab einem Energieverbrauch von 1,1 bis 1,3 kW pro Kopf nicht mehr bedeutend an. Daraus folgern Palmedo et

<sup>15</sup> Pachauri, Sh. 2001

<sup>16</sup> Pachauri, Sh. 2001

<sup>17</sup> Palmedo P.F. et al., 1978, S. 79ff.

al., dass die Deckung der Grundbedürfnisse in einer ersten Abschätzung in diesem Bereich angesetzt werden kann. Die Untersuchung von Palmedo et al. wurde vor einigen Jahren durch neuere Studien bestätigt.<sup>18</sup>



Figur 5: Vergleich des „Physical Quality of Life Index“ mit dem totalen Endenergieverbrauch pro Kopf für verschiedene Länder<sup>19</sup>

Sowohl bei der bottom-up Berechnung aufgrund der Tabelle 3, als auch bei Palmedo et al. wird mit Endenergie gerechnet. Wenn in Primärenergie gerechnet werden soll, wie das im Energieverbrauchsfenster vorgesehen ist, sind die Schätzungen um ~20% zu erhöhen.<sup>20</sup> Die wirtschaftliche Untergrenze des Energieverbrauchsfensters liegt damit zwischen 1.3 und 2.4 kW/capita.

### Die soziale Grenze

Eine Voraussetzung für nachhaltige Entwicklung sind gleiche Chancen zwischen den und innerhalb der Generationen. Bei allzu unterschiedlicher Verfügbarkeit von Energie ist keine Chancengleichheit gegeben. Die Verteilung des Pro-Kopf-Energieverbrauchs in einem Land weist jedoch auf gesellschaftliche Unterschiede hin, die gemäss historischer Erfahrung weder inexistent noch allzu gross sein sollten, damit sich ein Land gut entwickelt. Dabei ist – analog zur Armutsgrenze – nicht bloss vom direkten Energieverbrauch die Rede, sondern vom direkten und indirekten (inklusive, anteilmässig, des Energieverbrauchs der öffentlichen Hand und der Energie, welche für die Nettoinvestitionen der Wirtschaft aufgewendet wird).

Während sich der direkte Energieverbrauch bei höheren Einkommen langsam sättigt, nimmt der gesamte Energieverbrauch erstaunlich exakt linear zu.<sup>21</sup> Für die Industrieländer lässt sich dies damit begründen, dass in den oberen Einkommensklassen der Anteil energieintensiver Flugreisen überproportional zunimmt. Sowohl in Industrieländern als auch in **Entwicklungsländern** nimmt

<sup>18</sup> Suarez, C.E. 1995.

<sup>19</sup> Palmedo P.F. et al., 1978, S. 80.

<sup>20</sup> Für die Schätzung dieser Zahl ist vor allem wichtig, wie hoch der Anteil der Elektrizitätsnachfrage an der gesamten Endenergienachfrage ist. In Entwicklungsländern – und diese sind für die Festsetzung einer unteren Grenze relevant – ist dieser Anteil oft klein, sodass Endenergie- und Primärenergieverbrauch näher beieinander liegen als in industrialisierten Ländern.

<sup>21</sup> Vgl. Blok K. und K. Vringer, 1995a und Lenzen M., 1997; Blok K. und K. Vringer, 1995b, S. 896f.; Pachauri Sh., 2001.



der Energieverbrauch (gültig für Preise Mitte der 90er Jahre) zwischen 0,9 und 1,6 Watt pro \$ Mehreinkommen zu.

Einkommensverteilungen werden oft als Lorenzkurve dargestellt. Damit die Einkommensverteilung im Energieverbrauchsfenster dargestellt werden kann, wird, zusätzlich zum durchschnittlichen Energieverbrauch, der Energieverbrauch der reichsten 10% der Bevölkerung eines Landes und der ärmsten 10% berechnet (vgl. Tab. 3) und die Verbindungslinie als vertikaler Balken dargestellt.

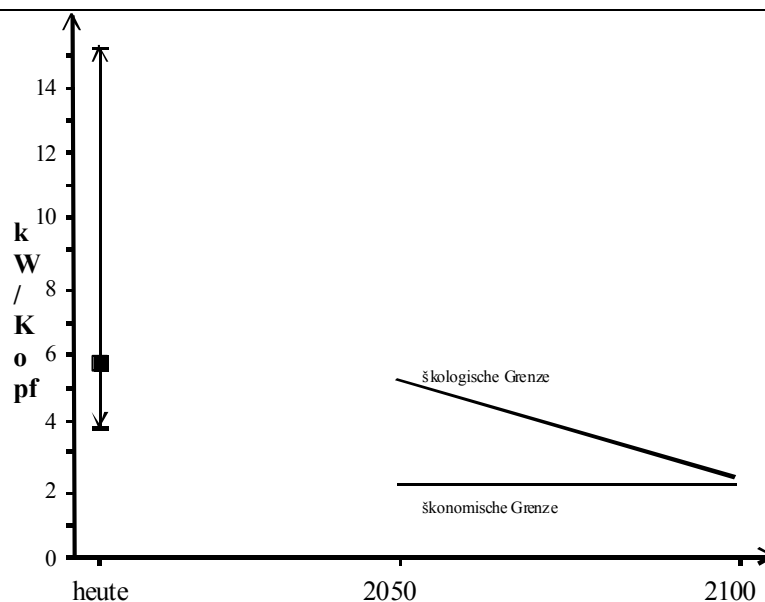
	Interzept <sup>22</sup> erstes Dezil	Steigung erstes Dezil	Interzept zehntes Dezil	Steigung zehntes Dezil
Entwicklungsländer <sup>23</sup>	111,4 W/Kopf	0,94 Watt/US \$	14,3 W/Kopf	1,56 Watt/US \$
Industrialisierte Länder <sup>24</sup>	2410 W/Kopf	0,91 Watt/US \$	2410 W/Kopf	0,91 Watt/US \$

Tabelle 4: Die zur Berechnung der reichsten und ärmsten 10% (erstes und zehntes Dezil der Einkommensverteilung) benutzten Zahlen.

## Das Fenster ist ein Nadelöhr bei ca. 2 kW/Kopf

Die Berechnungen zeigen zusammengefasst, dass das Energieverbrauchsfenster sehr eng wird. Auch bei einem sehr tiefen Anteil fossiler Brennstoffe am gesamten Energieverbrauch liegt die obere Grenze nicht weit über 2 kW/Kopf und die untere Grenze liegt nicht weit darunter. Das Energieverbrauchsfenster reduziert sich auf einen schmalen Spalt bei etwa 2 kW/Kopf und entpuppt sich somit bemerkenswerterweise als Bestätigung des Ziels der 2000 Watt Gesellschaft.

Aus der Idee des Energieverbrauchsfensters hat sich also ein 2 kW/Kopf Energieverbrauch herauskristallisiert. Im Folgenden werden die Energieverbräuche und –verteilungen der Schweiz und verschiedener anderer Länder deshalb direkt mit dieser Ziellinie verglichen.



Figur 6: Die Schweiz im Energieverbrauchs“fenster“

<sup>22</sup> Interzept: Wert bei Einkommen Null.

<sup>23</sup> Pachauri, Sh., private Unterhaltung (Erhebungsjahr 1993)

<sup>24</sup> Durchschnitt der Werte für Holland (Blok und Vringer 1995b) und Australien (Lenzen 1997).

Die Schweiz hat einen durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieverbrauch von 5,6 kW/Kopf (vgl. Figur 6). Dieser überschreitet die ökologische Grenze. Zur Einhaltung der ökologischen Grenze muss der durchschnittliche Energieverbrauch gesenkt werden. Die Verteilung des Energieverbrauchs unterliegt einer Streuung. Die reichsten 10% der Schweizer Bevölkerung verbrauchen durchschnittlich 2,7 mal mehr Energie als der Durchschnitt. Die ärmsten 10% der Bevölkerung verbrauchen durchschnittlich zwei Drittel des mittleren Pro-Kopf-Energieverbrauchs der Schweiz. Die ökonomische Grenze stellt in der Schweiz kein Problem dar. Die soziale Grenze, wie sie für das Energieverbrauchsfenster definiert ist. Die Unterschiede (gemessen in Energieverbrauch pro Person) sind im Vergleich zu anderen Ländern (siehe weiter unten) relativ gering.

## Das Energieverbrauchs'fenster' im Ländervergleich

Für die Berechnungen wurden Länder mit möglichst vollständigen Datenbasen ausgewählt. Die verwendeten 73 Länder werden in drei Gruppen eingeteilt: OECD-Länder, Länder Zentral-, Osteuropas sowie der früheren Sowjetunion und Entwicklungsländer. Bei kleinen Ländern wie der Schweiz macht die importierte graue Energie einen grossen Teil des Energieverbrauchs aus. Die Schweiz produziert in erster Linie Dienstleistungen und hat selber keine Schwerindustrie. Der Anteil an netto importierter grauer Energie beträgt ca. 25%. Die Daten der Schweiz werden um diesen Betrag korrigiert. Bei grösseren Ländern liegen der Import und Export von grauer Energie etwa in der gleichen Grössenordnung und kann vernachlässigt werden.

Zur Berechnung der Grenzen wurden folgende Daten verwendet:

Der Energieverbrauch ist nicht gleichmässig auf die Bevölkerung in einem Land verteilt. Zur direkten Bestimmung der Energieverteilung fehlen jedoch zuverlässige Daten. Die Abschätzung der Energieverteilung erfolgt mittels Einkommensverteilung. Von Interesse ist der minimale und der maximale Energieverbrauch, das heisst die Breite der Verteilung über die Bevölkerung. Die Betrachtung der Einkommensverteilung beschränkt sich auf die ärmsten 10% und die reichsten 10% der Bevölkerung.

Daten zur Einkommensverteilung in einem Land wurden den Statistiken der Weltbank<sup>25</sup> entnommen. Die Erhebungsjahre der nationalen Einkommensverteilungen sind von 1987 bis 1998. Je nach Land beziehen sich die Daten auf die Einkommens- oder Ausgabenverteilung. Beide Verteilungen werden als gleich angenommen. Für das weitere Vorgehen interessiert vor allem der Energiebedarf der ärmsten 10% und der reichsten 10% der Bevölkerung.

Zur Berechnung des Pro-Kopf-Energiebedarfs für die verschiedenen Länder werden Daten des WEC<sup>26</sup> verwendet. Diese Statistik liefert Daten zu den Jahren 1980 und 1996 sowie zum Teil Zukunftsprognosen für 2010 und 2020. Zudem ist die durchschnittliche jährliche Änderung des Energiebedarfs von 1980 bis 1996 und 1996 bis 2010 angegeben.

Figur 7, „Pro-Kopf-Energiebedarf und Bedarf der ärmsten und reichsten 10% der Bevölkerung“, zeigt die Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern auf. Generell kommt der durchschnittliche Energiebedarf der OECD-Länder und der Länder Zentral-, Osteuropas und der ehemaligen Sowjetunion über dem bei 2000 Watt gesetzten Grenzwert zu liegen. Mit Ausnahme von wenigen Ländern liegen die Entwicklungsländer unter 2000 Watt.

---

<sup>25</sup>Daten: [http://www.worldbank.org/data/wdi2000/pdfs/tab2\\_8.pdf](http://www.worldbank.org/data/wdi2000/pdfs/tab2_8.pdf)

<sup>26</sup>Internetadresse: [http://www.worldenergy.org/wec-geis/members\\_only/registered/open.plx?file=edc/default/country/ned/curr/summarydocs/NedSUMtab10.htm](http://www.worldenergy.org/wec-geis/members_only/registered/open.plx?file=edc/default/country/ned/curr/summarydocs/NedSUMtab10.htm)

Durch die Angabe des Energiebedarfs der ärmsten und der reichsten 10% ist die Ungleichverteilung des Energieverbrauchs in einem Land dargestellt. Auffallend stark ist die Differenz des Energieverbrauchs in den Ländern USA, Kanada, Russland, Estland, Ukraine, Venezuela und Südafrika. Die Streuung des Energiebedarfs in den OECD-Ländern ist nach oben um einiges grösser als nach unten. Länder Zentral- und Osteuropas und der ehemaligen Sowjetunion weichen nach oben wie nach unten stark vom Durchschnitt ab. Der durchschnittliche Energieverbrauch in der Schweiz ist halb so gross wie der amerikanische, die reichsten 10% Schweizer beanspruchen jedoch über eineinhalb soviel wie der amerikanische Durchschnitt.

## Zukunftsszenarien

Zum Schluss wird ein Blick in die Zukunft geworfen. Der Entwicklung von den drei Ländergruppen OECD, Zentral- und Osteuropa und Entwicklungsländer bis heute werden drei verschiedene Zukunftsszenarien angefügt (vgl. Figur 8). Der Energieverbrauch der OECD (und somit der Industrieländer) und der Entwicklungsländer hat von 1980 bis 1990 zugenommen. Der Energieverbrauch von zentral-, osteuropäischen Ländern und der Länder der ehemaligen Sowjetunion, also mehrheitlich Schwellenländern, hat in diesen 10 Jahren abgenommen. Betrachtet werden die drei Szenarien der IIASA<sup>27</sup> mit

- (A) einem grossen ökonomischen Wachstum,
- (B) einem mittleren ökonomischen Wachstum und
- (C) einer ökologisch orientierten Entwicklung.

Nach Szenario A wird der Energieverbrauch bis 2020 für alle drei Ländergruppen zunehmen. Beim Szenario B wird der Energieverbrauch der Schwellenländer weiterhin abnehmen, derjenige der anderen beiden Gruppen aber weiterhin zunehmen. In Szenario C zeigen einzig die Entwicklungsländer einen leichten Anstieg des Energieverbrauchs. Der Energieverbrauch der Industrie- und Schwellenländer nimmt bis ins Jahr 2020 leicht ab. Von den drei aufgezeigten Szenarien zeigt einzig Szenario C in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung, wie sie im Energieverbrauchsfenster für den ökologischen und ökonomischen Bereich definiert worden ist. Zu den sozialen Grenzen können keine Aussagen gemacht werden, da sie in diesen Szenarien nicht berücksichtigt werden.

Die Daten zur Darstellung der Zukunftsszenarien wurden dem Report 1995 der IIASA<sup>28</sup> entnommen.

## Diskussion

Der Energieverbrauchsindikator ist in erster Linie ein Indikator der sozialen Ungleichheit. Es werden sowohl Ungleichheiten zwischen den Ländern als auch innerhalb eines Landes aufgezeigt. Dies hat weniger mit der Messgrösse „Energieverbrauch“, als mit der Bezugsgrösse „Person“ zu tun. Indem man den Energieverbrauch nicht pro Land oder pro BIP oder pro Landfläche berechnet, unterstellt man implizit, dass in erster Näherung jeder Mensch den Anspruch auf gleich viele Güter hat. Diese Unterstellung ist ebenso banal richtig wie utopisch. Genau hier liegt die Stärke des Modells. Es stellt die für eine nachhaltige Entwicklung entscheidende Frage der intra- und intergenerationellen Chancengleichheit ins Zentrum des Interesses. Hier liegt auch die Stärke des Ziels einer 2000 W-Gesellschaft, es macht Ernst mit der Solidarität mit Entwicklungsländern.

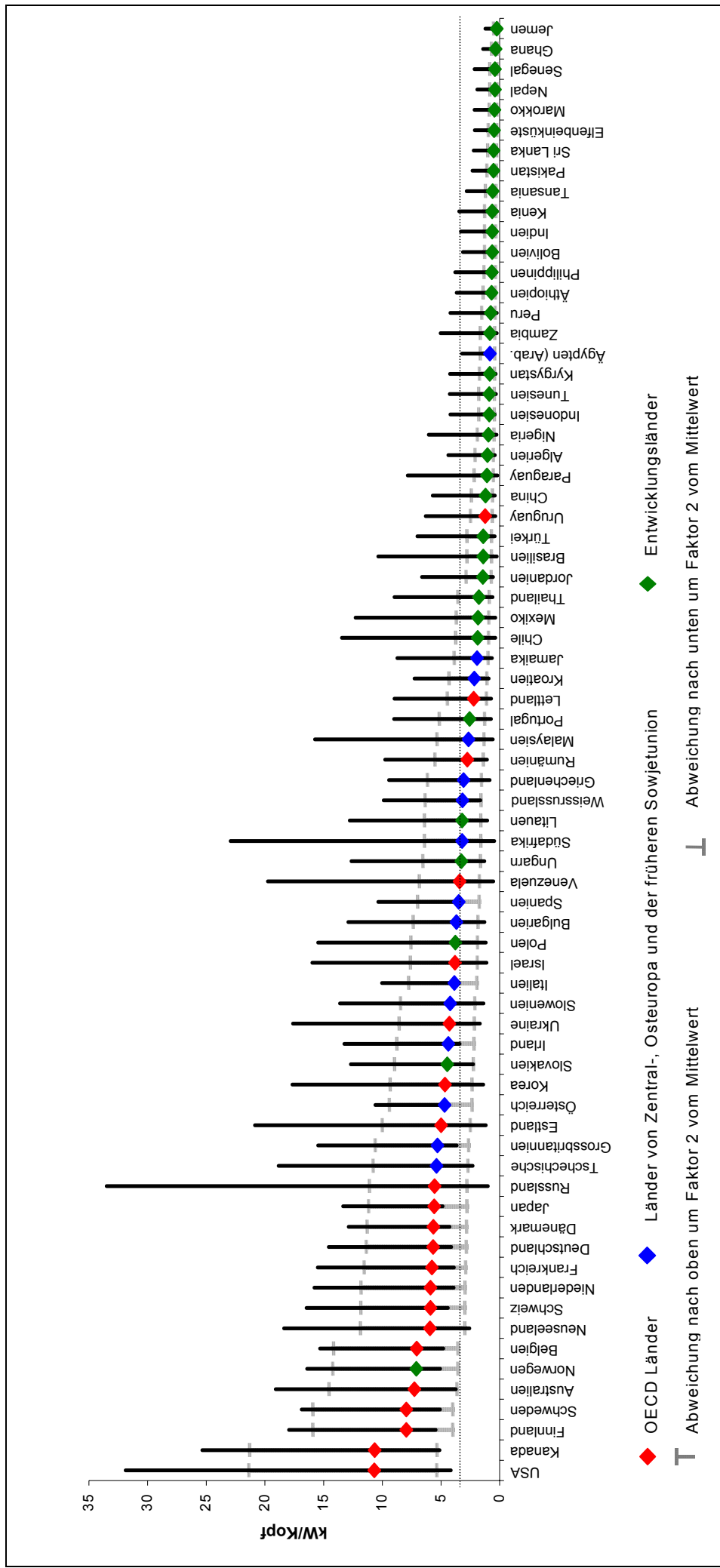
---

<sup>27</sup> WEC/IIASA, 1995

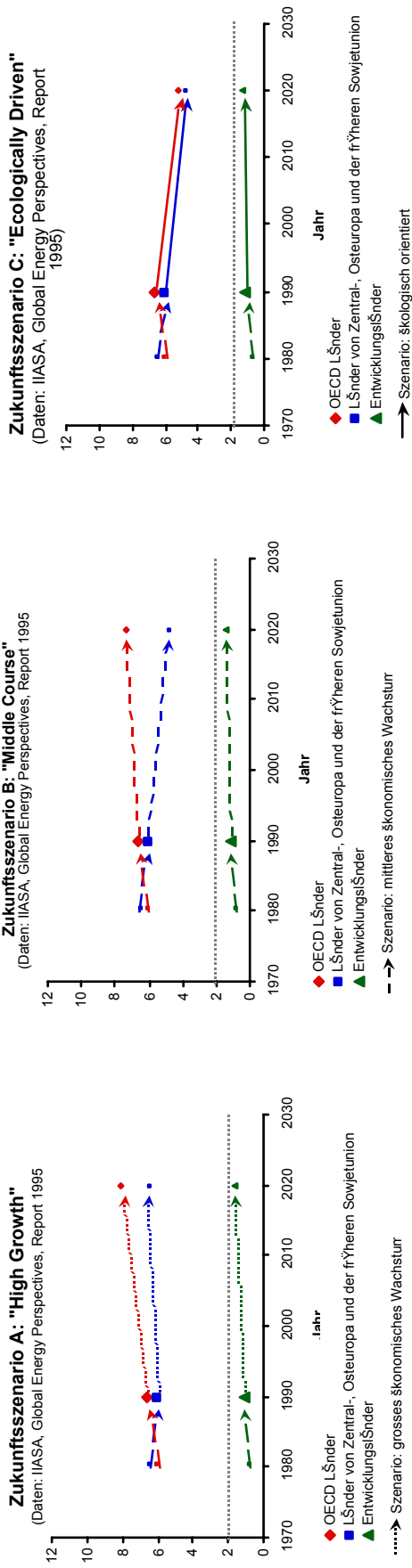
<sup>28</sup> WEC/IIASA, 1995, S. C1f.

Es stellt sich die Frage, inwiefern sich das Energieverbrauchsfenster zur Darstellung eines einzelnen Landes und zum direkten Vergleich verschiedener Länder oder mindestens Ländergruppen miteinander eignet. Wie sich gezeigt hat, bestehen beispielsweise grosse Unterschiede zwischen Entwicklungsländern und Industrieländern. Die durchschnittlichen Energieverbräuche der Entwicklungsländer liegen im Allgemeinen unter der ökonomischen Grenze. Im Vergleich dazu verbrauchen Industrieländer ein Mehrfaches; der durchschnittliche Pro-Kopf-Energieverbrauch der meisten Industrieländer liegt weit über der ökologischen Grenze. Dies zeigt in erster Lesung den unterschiedlichen Handlungsbedarf von Entwicklungs- und Industrieländern auf.

Weiter muss auch diskutiert werden, wie sinnvoll es ist, für verschiedene Länder mit der gleichen Grenze von 2 kW zu argumentieren. Selbstverständlich braucht es in einem das ganze Jahr angenehm warmen Land weniger Energie, um ein komfortables Leben zu führen als in einem unwirtlichen Land. Ebenso hat die Verfügbarkeit von Ressourcen einen Einfluss auf den notwendigen Energiebedarf: In einem sehr trockenen Land kann es überlebenswichtig sein, landwirtschaftliche Flächen zu bewässern, was u.U. viel Energie erfordert, in einem andern Land reichen die natürlichen Niederschläge aus. Machen diese Unterschiede die Idee unbrauchbar? Der Energieverbrauchsindikator ist wie erwähnt nur ein erster Temperaturfühler, der eine Aussage über einen Zustand oder eine Veränderung machen kann, jedoch nichts über die Ursachen einer guten oder schlechten Zielerfüllung aussagt. Mit der nötigen Vorsicht genossen, ist der Indikator nützlich, um eine allgemeine Übersicht zur weltweiten Energieverbrauchslage zu gewinnen. Wenn Länder mit ähnlichen Konditionen verglichen werden, gewinnt der Indikator an Aussagekraft. Es erlaubt Rangierungen und der ‚best in class‘ kann eruiert werden, was ein erster Schritt dahingehend ist, dass erfolgreiche Praktiken erkannt werden und breitere Anwendung finden. Ausserdem kann ein Land seine eigene Entwicklung bezüglich Energieverbrauch verfolgen. Sorgfältig angewendet und seine Kapazitäten nicht überstrapazierend kann der Energieverbrauchsindikator einen nützlichen und aussagekräftigen Beitrag zur quantitativen Erfassung der nachhaltigen Entwicklung liefern.



Figur 7: Pro-Kopf-Energiebedarf und Bedarf der ärmsten und reichsten 10% der Bevölkerung (Daten für die Mittelwerte: <http://www.worldenergy.org>, 1996)



Figur 8: Zukunftsszenarien für Energieverbräuche<sup>29</sup>

<sup>29</sup> WEC/IIASA 1995

## Literatur

- Abdulai, A. et al., 2000. "Pattern of Energy Consumption as a Sustainability Indicator of Indian Development." Proposal for research to be executed in the framework of the Alliance for Global Sustainability. Cambridge MA, New Delhi, Tokyo, Zürich.
- Aebischer, B., Bradke, H. und Kaeslin, H. „Energie und Informationstechnik. Energiesparer oder Energiefresser?“ In: *Bulletin. Magazin der ETH Zürich*. Energie – im Umbruch. Nr. 276, Januar 2000, S. 40-42.
- Alvim, C. F. et al., 1999. „Primary, Final, Useful an Equivalent Energy and Economical Activity.“ In: *Economy and Energy*, Year III, Nr. 16, September-Oktober 1999. URL = [www.ecen.com/een16/enereqe.htm](http://www.ecen.com/een16/enereqe.htm) (Januar 2001)
- Behrens, M. und Känzig, J., 1996. „Wir leben auf zu grossem Fuss.“ In: *Schweizer Naturschutz* 1/96, S. 4-9.
- BFE, 1995. „Wirtschaftliche Auswirkungen und Verteilungseffekte verschiedener CO<sub>2</sub>-/Energieabgabe-Szenarien. Ergebnisse aus einem berechenbaren Gleichgewichtsmodell für die Schweiz.“ Studie im Rahmen des Forschungsprogramms „Energiewirtschaftliche Grundlagen“ des BFE erarbeitet Auftragnehmer: ECOPLAN, Bern. Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
- BFE, 2000. „Nachhaltigkeit: Kriterien und Indikatoren für den Energiebereich.“ Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen. 1. Zwischenbericht Dezember 2000. Arbeitsgemeinschaft Ecoplan & Factor Consulting + Management AG, Bern.
- BFS/BUWAL (Hrsg.), 1999. „Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz. Materialien für ein Indikatorensystem.“ Eine Pilotstudie unter Verwendung der Methodik der Kommission für nachhaltige Entwicklung der UNO (CSD). Reihe „Statistik der Schweiz“, Fachbereich 2 Raum und Umwelt. Neuchâtel.
- BfS, 2000. „Einkommens- und Verbrauchserhebung 1998. Einkommen der privaten Haushalte: deutliche Unterschiede je nach Bevölkerungsgruppe.“ Pressemitteilung des BFS, Dezember 2000, Neuchâtel.
- Biesiot, W. und Noorman, K.J., 1998. „Energy requirements of household consumption: a case study of The Netherlands“. In: *Ecological Economics*, Nr. 28 (1999), S. 367-383.
- Blok, K. und Vringer, K., 1995a. *Consumption and energy-requirement: a time series for households in the Netherlands from 1948 to 1992*. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Netherlands.
- Blok, K. und Vringer, K., 1995b. „The direct and indirect energy requirement of households in the Netherlands.“ In: *Energy Policy*. Vol. 23, No. 10, October 1995, pp. 893-910.
- Blümle, G., 1975. *Theorie der Einkommensverteilung. Eine Einführung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- BMU (Hrsg.), 1999. „Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung. Natürliche Ressourcen – umweltgerechte Energieversorgung.“ Berlin.
- BMU, August 1997. „Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung - Teilnahme Deutschlands an der Testphase der CSD-Nachhaltigkeitsindikatoren.“ Informationsvermerk des BMU.
- Böhm, H.-P. „Leben und Energie.“ In: VDI/GET (Hrsg.), 2000. *Energie und nachhaltige Entwicklung: Beiträge zur Zukunft der Energieversorgung*. Düsseldorf, S. 7-21.
- Bossel, H., 1999. *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*. A Report to the Balaton Group. IISD, Winnipeg, Canada.
- Bulletin SEV/VSE, Nr. 16/1998, S. 20.
- BUWAL-Bulletin, 1996, Nr. 2, S. 13.
- Coenen, R. „Konzeptioneller Ansatz von Nachhaltigkeitsindikatorensystemen.“ In: *TA-Datenbank-Nachrichten*. Nr. 2, 9. Jg., Juni 2000. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, ITAS, S. 47-53.
- Dippoldsmann, P. „Umsetzungen des Leitbildes Sustainable Development auf lokal-gesellschaftlicher Ebene.“ In: *TA-Datenbank-Nachrichten*. Nr. 2, 9. Jg., Juni 2000. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, ITAS, S. 25-29.

- Fischer, W. „Nachhaltigkeit und Praxis: Ernüchternd, aber nicht entmutigend – ein Resümee.“ In: *TA-Datenbank-Nachrichten*. Nr. 2, 9. Jg., Juni 2000. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, ITAS, S. 20-22.
- Fischer, W., 1995. „Nachhaltige Entwicklung – eine Norm für die Gestaltung unserer Zukunft.“ Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF), Forschungszentrum Jülich, Jülich. URL = [http://www.kfa-juelich.de/tff/tff\\_sustaina.html](http://www.kfa-juelich.de/tff/tff_sustaina.html) (November 2000)
- Fischlin, A. und Fuhrer, J., 2000. „Die Klimapolitik bringt die Wissenschaft an ihre Grenzen. Die Herausforderung des Kyoto-Protokolls für die Ökologie.“ In: *NZZ, Ressort Ausland*, Nr. 262, 9. November 2000, S. 11.
- Goeller, H.E. and A.M. Weinberg 1976: The age of substitutability. In: *Science* 191.
- Goethe, J.W. *Faust. Der Tragödie erster Teil*. Reclam.
- Goldblatt, D., 1998. „Characteristics of environmental indicators and environmental sustainability indicators.“ Appendix I. Energy Analysis Research Group, ETH Zürich, Zürich. Chapter 4, pp. 7-10.
- Goldblatt, D., Pachauri, S. und Scheller, A., 2000. „Nachhaltigkeit und Energie. Einsichten in die Konstruktion von Indikatoren.“ In: *Bulletin. Magazin der ETH Zürich*. Energie – im Umbruch. Nr. 276, Januar 2000, S. 20-22.
- Goldemberg, J. et al., 1988. *Energy for a Sustainable World*. Wiley eastern limited, New Delhi.
- Griffin, J.M. und Steele, H., 1986. *Energy Economics and Policy*. Academic Press college division, Florida.
- Haller und Karlen, 1999. *Raumplanungs-, Bau-, und Umweltrecht*, 3. Auflage, Zürich, S. 24-25.
- Hauff, V. (Hrsg.), 1987. *Unsere Gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Eggenkamp Verlag, Greven.
- Henssen, H. und Schwarz, D., „Nachhaltige Energieversorgung. Wechselwirkungen mit der Kultur von Gesellschaften.“ In: VDI/GET (Hrsg.), 2000. *Energie und nachhaltige Entwicklung: Beiträge zur Zukunft der Energieversorgung*. Düsseldorf, S. 22-37.
- Holdermann, M. und Wilhelm, F., 1999. „Nachhaltige räumliche Planung – Wunschdenken oder Wirklichkeit?“ Diskussionspapier Nr. 33. IFR (Institut für Regionalwissenschaften der Universität Karlsruhe), Karlsruhe, S. 3-28 und S. 133-161.
- Imboden, D., Schlatter, H.P. und Bossert, P., 1999. „2000-Watt-Gesellschaft – Klärung der Begriffe“. Zur Zeitschrift in *SI+A* 44, 5.11.1999 (1), (2) und (3). In: *Schweizer Ingenieur und Architekt*. Nr. 48, 3. Dezember 1999, S. 29-30
- IPCC, 1995. „Climate Change 1995.“ *IPCC Second Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. URL= [http://www.ipcc.ch/pub/sa\(E\).pdf](http://www.ipcc.ch/pub/sa(E).pdf) (Dezember 2000)
- IPCC, 1996. „Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change.“ *IPCC Technical Paper I*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. URL= [http://www.ipcc.ch/pub/IPCCTP.I\(E\).pdf](http://www.ipcc.ch/pub/IPCCTP.I(E).pdf) (November 2000)
- IPCC, 1997. „Implications of Proposed CO<sub>2</sub> Emissions Limitations.“ *IPCC Technical Paper IV*. Cambridge University Press, Cambridge, UK: URL= [http://www.ipcc.ch/pub/IPCCTP.IV\(E\).pdf](http://www.ipcc.ch/pub/IPCCTP.IV(E).pdf) (November 2000)
- IPCC, 1997. „Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological an Socio-Economic Implications.“ *IPCC Technical Paper III*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. URL= [http://www.ipcc.ch/pub/IPCCTP.III\(E\).pdf](http://www.ipcc.ch/pub/IPCCTP.III(E).pdf) (November 2000)
- IPCC, 2000. „Emission Scenarios.“ Summary for Policymakers. *A Special Report of IPCC Working Group III*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. URL= <http://www.ipcc.ch/pub/sres-e.pdf> (November 2000)
- Jörissen, J. et al. „Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung: Der theoretisch-konzeptionelle Ansatz des HGF-Verbundprojekts.“ In: *TA-Datenbank-Nachrichten*. Nr. 2, 9. Jg., Juni 2000. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, ITAS, S. 35-41.
- Keating, M., 1998. *Agenda für eine nachhaltige Entwicklung. Eine allgemein verständliche Fassung der Agenda 21 und der anderen Abkommen von Rio*. 2. unveränderte Auflage, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Körner, Ch., 2000. „Eine Nagelprobe für die ökologische Forschung. Noch ist unklar, wie sich der anthropogene CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf Wälder auswirkt.“ In: *NZZ, Ressort Forschung und Technik*, Nr. 255, 1. November 2000, S. 81.
- Lenzen, M., 1997. „Energy and Greenhouse Gas Cost of Living for Australia during 1993/94“. In: *Energy*, Vol. 23, Nr. 6, 1998, S. 497-516.



- Mauch, S.P. et al., 1995. *Ökologische Steuerreform: Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung und Umwelt. Marktwirtschaftliche Bewältigung des ökologisch und ökonomisch bedingten Strukturwandels zu einer nachhaltigen Entwicklung*. FMU (Forum Marktwirtschaft und Umwelt). Bearbeitet durch IFRAS (Infrastruktur-, Umwelt- und Wirtschaftsberatung), Zürich.
- Mazur, A. und Rosa, E., 1974. „Energy and Life-Style. Massive energy consumption may not be necessary to maintain current living standards in America.“ In: *Science*. Vol. 186, pp. 607-610.
- Murcott, S., 1997. „Sustainable Development: A Meta Review of Definitions, Principles, Criteria, Indicators, Conceptual Frameworks, Information Systems.“ Paper presented at the American Association for the Advancement of Science Annual Conference, Seattle, Feb 13-18, 1997.
- NZZ, 2000. „Nachhaltigkeit als Unternehmensprinzip.“ In: *NZZ, Ressort Inland*, Nr. 273, 22. November 2000, S. 12.
- ORL-Bericht, unveröffentlicht, 1998. „Zusammenstellung ökologischer Fussabdruck“. ORL-Institut, ETH Zürich, Zürich.
- Pachauri, Sh. 2001. Unveröffentlichter Dissertationsentwurf, CEPE, ETH Zürich, Schweiz.
- Palmedo, P.F. et al., 1978. *Energy Needs, Uses and Resources in Developing Countries*. Brookhaven National Laboratory, Report No. BLN 50784, New York.
- Perrels, A. und Weber, Ch., 1998. „Modelling lifestyle effects on energy demand and related emissions.“ In: *Energy Policy*. 28 (2000), 549-566.
- Prescott-Allen, R., 1997. *Barometer of Sustainability. Measuring and communicating wellbeing and sustainable development*. IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources), Gland Switzerland and Cambridge UK.
- PSI und ETH Zürich, 2000. „Energie-Spiegel. Facts für die Energiepolitik von morgen.“ Newsletter des Projekts GaBE, Nr. 3, September 2000.
- Rennings, K., 1994. *Indikatoren für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung*. Materialien zur Umweltforschung herausgegeben vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Roth, E. „Nachhaltigkeit als Bewertungsmaßstab – Abwendung auf die Kernenergie.“ In: VDI/GET (Hrsg.), 2000. *Energie und nachhaltige Entwicklung: Beiträge zur Zukunft der Energieversorgung*. Düsseldorf, S. 141-159.
- Schneider, G. (Hrsg.), 2000. *Energiepolitik zwischen Nachhaltigkeit und Liberalisierung. Forum der Weiterbildung in Ökologie 2000*. Universität Freiburg. Rüegger, Chur/Zürich.
- Schöb, A., 1997. „World-Wide-Web-Ressourcen zum Konzept und Indikatoren der Nachhaltigen Entwicklung / Sustainable Development.“ Materialien zum Workshop „Indikatoren einer „nachhaltigen Entwicklung“, Mannheim, 2.-3. Dezember 1997.
- Scope, 1997. *Sustainability Indicators: Report of the project on Indicators of Sustainable Development*. Edited by Moldan B. and Billharz S. Scope 58, John Wiley & Sons, Chichester and New York.
- Spreng, D. und Smith, K. R., 2000. „Grenzen und Tragfähigkeit. Grenzen der Energienachfrage.“ In: *Bulletin. Magazin der ETH Zürich*. Energie – im Umbruch. Nr. 276, Januar 2000. S. 16-19.
- Spreng, D., Wils, A., 1996. „Indicators of Sustainability: Ideas for promoting a discussion and enhancing synergism within the Alliance for Global Sustainability.“ Paper written in preparation of “The Framing Project”, Energy Analysis Research Group, ETH Zürich.
- SRU (Hrsg.), 1994. *Umweltgutachten 1994. Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung*. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Suarez, C.E. 1995. Energy Needs for Sustainable Human Development, *Energy as an Instrument for Socio-Economic Development*, UNDP, New York
- Taube, M., 1982. *Evolution of Matter and Energy. In Cosmic and Planetary Scale*. Hausdruckerei des Eidg. Instituts für Reaktorforschung, Würenlingen.
- UNDP, 2000a. *Sustainable Energy Strategies. Materials for Decision-makers*. UNDP Initiative for Sustainable Energy (UNISE). UNDP, New York.
- UNDP, 2000b. *World energy assessment: energy and the challenge of sustainability*. New York.
- Unterlagen zu UNCSD Deutschland, 1997. „Arbeitsliste für Nachhaltigkeitsindikatoren der Kommission für Nachhaltige Entwicklung (CSD)“, Juni 1997.
- WCED, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, New York.
- WEC/IIASA (Hrsg.), 1995. *Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond*. London.

- Wirtschaftsplattform, 1998. „2000 Watt-Gesellschaft – Modell Schweiz.“ Ein Projekt der Strategie Nachhaltigkeit im ETH-Bereich. Schweiz.  
URL= [http://www.novatlantis.ch/projects/2000W/brochure/resources/pdf/ge\\_brochure.pdf](http://www.novatlantis.ch/projects/2000W/brochure/resources/pdf/ge_brochure.pdf) (Nov. 2000)
- Würsten, F., 2000. „Importierte Treibhausgase.“ In: *NZZ, Ressort Forschung und Technik*, Nr. 273, 22. November 2000, S. 71.
- WWF, SBN, Greenpeace, SGU, SES, Erklärung von Bern, Arbeitsgemeinschaft Swissaid/Fastenopfer/Brot für alle/Helvetas/Caritas, (Trägerorganisationen), 1996. „Auf zu grossem Fuss. Zahlen und Ziele für eine zukunftsfähige Schweiz.“
- Zenobi, G., 1999. „2000-Watt-Gesellschaft“ – Energie oder Leistung? In: *Schweizer Ingenieur und Architekt*. Nr. 44, 5. November 1999, S. 25

## CEPE Reports

Aebischer, B., Veränderung der Elektrizitätskennzahlen im Dienstleistungssektor in der Stadt Zürich und im Kanton Genf. CEPE Report Nr. 1, Zürich, November 1999.

Filippini, M., Wild, J., Luchsinger, C., Regulierung der Verteilnetzpreise zu Beginn der Marktöffnung; Erfahrungen in Norwegen und Schweden; Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. CEPE Report Nr. 2, Zürich, 23. Juli 2001.

Aebischer, B., Huser, A., Energiedeklaration von Elektrogeräten; Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. CEPE Report Nr. 3, Zürich, Januar 2002.

## CEPE Working Papers

Scheller, A., Researchers' Use of Indicators. Interim Report of The Indicator Project. CEPE Working Paper Nr. 1, ETHZ, Zurich, September 1999.

Pachauri, Sh., A First Step to Constructing Energy Consumption Indicators for India. Interim Report of The Indicator Project. CEPE Working Paper Nr. 2, Zurich, September 1999.

Goldblatt, D., Northern Consumption: A Critical Review of Issues, Driving Forces, Disciplinary Approaches and Critiques. CEPE Working Paper Nr. 3, Zurich, September 1999.

Aebischer, B., Huser, A., Monatlicher Verbrauch von Heizöl extra-leicht im Dienstleistungssektor. CEPE Working Paper Nr. 4, Zürich, September 2000.

Filippini, M., Wild, J., Regional differences in electricity distribution costs and their consequences for yardstick regulation of access prices. CEPE Working Paper Nr. 5, Zurich, May 2000.

Christen, K., Jakob, M., Jochem, E., Grenzkosten bei forcierten Energiesparmassnahmen in Bereich Wohngebäude - Konzept vom 7.12.00. CEPE Working Paper Nr. 6, Zürich, Dezember 2000.

Luchsinger, C., Wild, J., Lalive, R., Do Wages Rise with Job Seniority? – The Swiss Case. CEPE Working Paper Nr. 7, Zurich, March 2001.

Filippini, M., Wild, J., Kuenzle, M., Scale and cost efficiency in the Swiss electricity distribution industry: evidence from a frontier cost approach. CEPE Working Paper Nr. 8, Zurich, June 2001.

Jakob, M., Primas A., Jochem E., Erneuerungsverhalten im Bereich Wohngebäude – Auswertung des Umfrage-Pretest. CEPE Working Paper Nr. 9, Zürich, Oktober 2001.

Kumbaroglu, G., Madlener, R., A Description of the Hybrid Bottom-Up CGE Model SCREEN with an Application to Swiss Climate Policy Analysis. CEPE Working Paper No. 10, Zurich, November 2001.

**CEPE Reports** und **CEPE Working Papers** sind teilweise auf der CEPE-Homepage ([www.cepe.ethz.ch](http://www.cepe.ethz.ch)) erhältlich oder können bestellt werden bei: CEPE, Sekretariat, ETH Zentrum, WEC, CH-8092 Zürich.

Spreng, D. und Semadeni, M., Energie, Umwelt und die 2000 Watt Gesellschaft. Grundlage zu einem Beitrag an den Schlussbericht Schwerpunktsprogramm Umwelt (SPPU) des Schweizerischen National Fonds (SNF). CEPE Working Paper No. 11, Zürich, Dezember 2001.

Filippini M., Banfi, S., Impact of the new Swiss electricity law on the competitiveness of hydropower, CEPE Working Paper No. 12, Zurich, January 2002

Filippini M., Banfi, S., Luchsinger, C., Deregulation of the Swiss Electricity Industry: Implication for the Hydropower Sector, CEPE Working Paper No. 13, Zurich, April 2002

Filippini, M., Hrovatin, N., Zoric, J., Efficiency and Regulation of the Slovenian Electricity Distribution Companies, CEPE Working Paper No. 14, Zürich, April 2002

Spreng D., Scheller A., Schmieder B., Taormina N., Das Energiefenster, das kein Fenster ist, CEPE Working Paper No. 15, Zürich, Juni 2002