

Günther Sinapius

email: [gsinapius@gmx.de](mailto:gsinapius@gmx.de)

## *Literaturangaben und Daten* (pdf file)

### **1. Hintergrund**

### **2. Ableitungen und Abschätzungen**

- [2.1 Primär- und Endenergie](#)
- [2.2 Umrechnungsfaktoren für einzelne Energieträger](#)
- [2.3 Umrechnungsfaktoren für einzelne Verkehrsmittel](#)
- [2.4 Umrechnungsfaktoren für einzelne Waren und Dienstleistungen](#)
- [2.5 Verwendungsspezifischer mittlerer Umweltverbrauch in Deutschland](#)
- [2.6 IST- Zustand des globalen jährlichen Umweltverbrauchs](#)
- [2.7 Szenarien für den globalen jährlichen Umweltverbrauch](#)
- [2.8 Kompensation von Umweltverbrauch durch die Erzeugung von Ökostrom](#)
- [2.9 CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten](#)

### **3. Literaturangaben**

#### **1. Hintergrund**

Ausgangspunkt und Motivation für diese Abschätzung ist die Begrenztheit der globalen Rohstoffreserven ([1], [2], [3]). Die Berechnung erhebt nicht den Anspruch auf Originalität (vgl. [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]) oder Vollständigkeit. Sie soll eine einfache Abschätzung zu liefern, die unterschiedliche Lebensstile angemessen berücksichtigt. Am Schluss wird Ihr persönlicher Umweltverbrauch in Form von Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen mit deutschen und globalen Daten verglichen. Außerdem wird abgeschätzt, wieviel Sie aufwenden müssten, um sich von zu hohen Werten "freizukaufen".

Die Umrechnung von Lebensstil und Konsum in Umweltverbrauch beinhaltet unterschiedliche Vereinfachung und Annahmen (vgl. **Ableitungen und Abschätzungen**). Sie basieren auf ähnlichen Abschätzungen und Einzeluntersuchungen. Der Umweltverbrauch im Berufsleben bleibt ausgeklammert, da er weitgehend der eigenen Kontrolle entzogen ist. Dieser Umweltverbrauch kann, zumindest theoretisch, auf die im Beruf erzeugten Produkte umgelegt werden und bei deren Verbrauch (anstatt bei deren Produktion) in Rechnung gestellt werden. Die Werte für die Kompensation von eigenem Umweltverbrauch durch Investitionen in regenerative Energien hängen sowohl von der Quelle des Ökostroms als auch von dem durch den Ökostrom zu ersetzenden Energieträger ab.

## 2. Ableitungen und Abschätzungen

(Umrechnungsfaktoren: 1 kWh = 3600 kJ ; 1 kgSKE = 8.14 kWh;  
1 Liter Benzinäquivalent = 8.9 kWh; 1 kg Rohöleinheit = 11,63 kWh)

### 2.1 Primär- und Endenergie

Die **Primärenergie** (PE) umfaßt die vom Verbraucher nutzbare **Endenergie** (EE) sowie die bei der Gewinnung, dem Transport, der Lagerung und der Aufbereitung der Energieträger aufgewendete **Bereitstellungsenergie**, die **Umwandlungsverluste** (z. B. in Kraft- oder Heizwerken) und die **Leitungsverluste**. Außer für regenerative Energiesysteme wird i.A. die für die Errichtung und Entsorgung von Kraftwerken, Raffinerien u.ä. und erforderliche Energie nicht berücksichtigt .

### 2.2 Umrechnungsfaktoren für einzelne Energieträger

Energieträger	Energiegehalt - Endenergie	Energieaufwand - Primärenergie	CO <sub>2</sub> bzw. CO <sub>2-äquiv.</sub> Emission
Strom	1 kWh / kWh	3 kWh / kWh [14]	0.68 kg / kWh EE [14]
Ökostrom/Wasser	1 kWh / kWh	0.017 kWh/kWh [15]	~ 0,004 kg/kWh EE [16]
Ökostrom/Wind	1 kWh / kWh	0,021 kWh/kWh [17]	~ 0,020 kg/kWh EE [14]
Ökostrom/PV	1 kWh / kWh	0,091 kWh/kWh [17]	~ 0,250 kg/kWh EE [14]
Fernwärme	1 kWh / kWh	1.4 kWh / kWh [11]	0.24 kg / kWh EE bei 70% KWK [14]
Erdgas	10 kWh / qbm [18]	11 kWh / qbm [14]	0.25 kg / kWh EE [14] ~ 2.5 kg / qbm
Heizöl	10 kWh / l [18]	11 kWh / l [14]	0.31 kg / kWh EE [14] ~ 3.1 kg / l
Steinkohle	8.2 kWh / kg [18]	8.9 kWh / kg [14]	0.44 kg / kWh EE [14] ~ 3.6 kg / kg
Braunkohle	2.4 kWh / kg [18]	2.9 kWh / kg [14]	0.45 kg / kWh EE [14] ~ 1.2 kg / kg
Holzpellets	5.0 kWh / kg [19]	5.8 kWh / kg [14]*	0.043 kg / kWh EE [14] ~ 0.22 kg / kg
Brennholz	1800 kWh/rm [19]	1820 kWh / rm [14]*	0.006 kg / kWh EE [14] ~ 11 kg / rm
Benzin	9.0 kWh / l [18]	11 kWh / l [20]	2.3 kg / l [18]
Diesel	9.9 kWh / l [18]	11 kWh / l [20]	2.6 kg / l [18]
Flugbenzin/Kerosin	9.6 kWh / l [18]	11 kWh / l [20]	2.6 kg / l [18]

\* zu 89 % (Holzpellets) bzw. 99 % (Brennholz) zumindest mittelbar regenerativ

Die in den verschiedenen Referenzen angegebenen Werte unterscheiden sich teilweise erheblich voneinander, u.A. weil sie von unterschiedlichen Randbedingungen ausgehen. Die o.a. Referenzen wurden gewählt, weil sie für die unterschiedlichen Anwendungen vollständige und (halbwegs) konsistente Werte liefern.

### 2.3 Umrechnungsfaktoren für einzelne Verkehrsmittel

Endenergie-, Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub> Emissionen für 100 km pro Person  
(umgerechnet mit den Werten aus 2.2 soweit nicht anders angegeben)

Verkehrsmittel	Endenergie	Primärenergie	CO <sub>2</sub> - Emissionen
EinzelfahrerIn			
Diesel PKW	5.9 Liter Diesel <a href="#">[21]</a>	65 kWh	15 kg
Benzin PKW	6.7 Liter Benzin <a href="#">[21]</a>	74 kWh	15 kg
Eisenbahn, Fernverkehr		2.7 Liter Benzinäquivalent [36] ~ 24 kWh	0.62 kg/ kWh EE <a href="#">[20]</a> ~ 4.8 kg
Bus, Fernverkehr	0.9 Liter Diesel <a href="#">[21]</a>	9.9 kWh	2.1 kg
Flugzeug (< 1000 km)	10 Liter Kerosin <a href="#">[23]</a>	110 kWh	26 kg
Flugzeug (> 1000 km)	4 Liter Kerosin <a href="#">[23]</a>	44 kWh	10 kg
<b>Nahverkehr Mittelwert</b>		<b>20 kWh</b>	<b>6.0 kg</b>
S-Bahn		3.6 Liter Kraftstoff <a href="#">[22]</a> ~ 32 kWh	8.3 kg <a href="#">[22]</a>
Bus, Nahverkehr		2.3 Liter Kraftstoff <a href="#">[22]</a> ~ 20 kWh	5.3 kg <a href="#">[22]</a>
Tram/U-Bahn		12 kWh <a href="#">[11]</a>	~ 3.0 kg

## 2.4 Umrechnungsfaktoren für einzelne Waren und Dienstleistungen

	Primärenergieverbrauch**	CO <sub>2</sub> - Emissionen***
<b>Ernährung – Basis</b> kein bis > 2 kg Fleisch/Woche Regional ./ Weltprodukte keine ./ immer Fertig-/Tiefkühlprodukte abgefüllte Getränke (l / Woche) keine ./ viel Reste Kantine/Woche Restaurant/Woche kein ./ nur Kartoffeln., Obst, Gemüse aus eigenem Anbau	2630 kWh / Jahr +(1250 bis 4380) kWh/Jahr +(0 bis 2500) kWh /Jahr +(0 bis 2500) kWh / Jahr + 80 kWh / Liter /Jahr + (0 -1000) kWh / Jahr jeweils 100 kWh / Jahr jeweils 250 kWh / Jahr - (0-2500) kWh / Jahr	0,19 kg / kWh
<b>individueller Alltagskonsum</b> (Sozial)Versicherungen, Spenden, Sparen Mittelwert für materielle Güter (Kleidung, Möbel, Hausrat, Elektronik Sport-, Spielgeräte, Lektüre)	0.25 kWh / Euro 4.50 kWh / Euro	0,17 kg / kWh
<b>Bau und Unterhalt der Wohnung</b> Einfamilienhaus (massiv) Mehrfamilienhaus	1.5 * 70 kWh /Jahr/ qm 1.0 * 70 kWh /Jahr/ qm	0,15 kg / kWh
<b>Besitz eines Fahrzeugs</b> Auto < 900 kg Leergew. Auto < 1200 kg Leergew. Auto > 1200 kg Leergew. Motorrad  $f_{\text{Fahrz.Alter}} = 0.5$ wenn älter als 8 Jahre $f_{\text{Fahrz.Alter}} = 1.0$ sonst	$f_{\text{Fahrz.Alter}} * 2600$ kWh / Jahr $f_{\text{Fahrz.Alter}} * 3650$ kWh / Jahr $f_{\text{Fahrz.Alter}} * 5200$ kWh / Jahr $f_{\text{Fahrz.Alter}} * 400$ kWh / Jahr	0,20 kg / kWh

\*\* aus den Angaben in [11] abgeschätzt

\*\*\* aus [5] abgeleitete Umrechnungsfaktoren, vgl. auch 2.5

## 2.5 Verwendungsspezifischer mittlerer Umweltverbrauch pro Person und Jahr in Deutschland

	Primärenergie (kWh)	CO <sub>2</sub> Emissionen (kg)	kg CO <sub>2</sub> / kWh
Strom	2200	500	0,23
Warmwasser und Heizung	8700	2000	0,23
Verkehr	12300	3300	0,27
Ernährung	8500	1600	0,19
individueller Alltagskonsum	9200	1600	0,17
anderer Konsum			
öffentlich (Staat)	3100	600	0,19
Wohnraum	2600	400	0,15
Summe	46600	10000	0,21

Die Aufteilung des Primärenergieverbrauchs basiert auf Schweizer Daten [5], die (1) auf die deutschen Verbrauchswerte [24] umgerechnet wurden.

Wegen der verschiedenen Angaben für die kg CO<sub>2</sub> pro kWh PE bei der Stromerzeugung (0.11 kg CO<sub>2</sub> / kWh PE für die Schweiz [5] und 0.23 CO<sub>2</sub> / kWh PE für Deutschland [14]) wurden

- (2) die strombedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Primärenergieverbrauch mit dem deutschen Umrechnungsfaktor errechnet und
- (3) die übrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den entsprechend umgerechneten Schweizer Werten abgeleitet

Wegen dieser Näherungen sind die Mittelwerte für die einzelnen Konsumbereiche nur als grobe Orientierung zu betrachten.

## 2.6 IST- Zustand des globalen jährlichen Umweltverbrauchs

Jahreswerte für Energieverbrauch und CO<sub>2</sub> Emissionen pro Kopf

	Primärenergieverbrauch 2002 [kWh pro Jahr und Kopf]	CO <sub>2</sub> – Emission 2000 [t pro Jahr und Kopf]
USA	90.700	20,2
Deutschland	46.500	10,0
Europa	36.100	7,2
Welt	16.300	3,9
Afrika	3.500	0,9
aus [24]		

## 2.7 Szenarien für den globalen jährlichen Umweltverbrauch

Gebiet	Kriterium	Primärenergie (kWh pro Kopf)	CO <sub>2</sub> (t / Kopf)
Welt	CO <sub>2</sub> Gleichgewicht 2005 <sup>1)</sup>		<b>2,2</b>
Welt	CO <sub>2</sub> Gleichgewicht 2050 <sup>1)</sup>		<b>1,5</b>
Welt	2000 W Gesellschaft, [25]	<b>17.500</b>	
Deutschland	Kyoto Protokoll, 2008-2012 <sup>2)</sup>		<b>8,3</b>
Deutschland	Enquete Kommission, 2020, -40 % <sup>3)</sup>		<b>7,1</b>
Deutschland	Enquete Kommission, 2050, -80 % <sup>3)</sup>		<b>2,6</b>
Deutschland	Enquete Kommission, 2050, Szenario RRO-WI <sup>4)</sup>	<b>31.600</b>	

Für die o.a. Szenarien wurden die Reduktionsziele des Kyoto Protokolls und der Enquete Kommission nur auf die CO<sub>2</sub> Emissionen bezogen (anstelle aller für den Treibhauseffekt relevanter, über entsprechende CO<sub>2</sub> Äquivalente zu berücksichtigender Gase)

1. basierend auf der Aufnahmefähigkeit der Ozeane und der Biomasse von ca. 14 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr ([1], S. 15) und einer Weltbevölkerung von ca. 6.5 und 9.3 Milliarden im Jahr 2050 ([12])
2. Reduktion der Emission von 869 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> in 1990 um 21% bei einer Einwohnerzahl von 82.5 Milliarden (2005, [12])
3. Reduktion der Emission von 869 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> in 1990 um 40% und 80% in 2020 bzw. 2050 ([13], Absatz (87)) bei Einwohnerzahlen von 82 bzw. 75.1 Millionen (in 2025 und 2050, [12])
4. Enquetekommission: Szenario RRO (Reduktionen der CO<sub>2</sub> Emissionen um 80 % und je 50 % der Primärenergie aus erneuerbaren und aus fossilen Energieträgern), [13]

## 2.8 Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen

Kompensation von 10 000 kg CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Jahr durch Erzeugung von Ökostrom anstelle von konventionellem Strom und die resultierende Reduktion des Primärenergieverbrauchs *						
Strom aus	Erntefaktor <a href="#">[17]</a> , <a href="#">[15]</a>	benötigter Ökostrom, E <sub>brutto</sub> [kWh/Jahr]	resultierende CO <sub>2</sub> -Emission [kg/Jahr]	E <sub>netto</sub> , Netto Ökostrom [kWh/Jahr]	benötigte Anlage**	Preis der Anlage** [Euro/Jahr]
Wasserkraft	60	15045	60	14794		
Windkraft	48	15484	310	15161		
Photovoltaik	11	27160	6790	24691	30 kW <sub>peak</sub>	ca. 5000

Der Erntefaktor einer Anlage ist das Verhältnis der von der Anlage während ihrer Lebensdauer abgegebenen Energie zu der für Bau, Betrieb und Entsorgung der Anlage aufgewendeten Primärenergie. Wegen des geringen Erntefaktors scheint Ökostrom aus Photovoltaik-Anlagen auf den ersten Blick nicht die beste Wahl zu sein. Diese Aussage relativiert sich jedoch dadurch, dass die Photovoltaik technisch noch nicht ausgereizt ist, d.h. höhere Erntefaktoren möglich sind (vgl. [\[17\]](#)). Hinzu kommt, dass Photovoltaik-Anlagen, im Gegensatz zu Wind- und Wasserkraft, wenig in die Natur eingreifen.

- \* Die Energie E<sub>brutto</sub>, die für die Kompensation von 10 000 kg CO<sub>2</sub>-Emissionen erforderlich ist, berechnet sich aus
- $E_{brutto} * f_{regener} + 10000 = E_{netto} * f_{konvent}$  und
  - der Primärenergieverbrauchsreduktion  $E_{netto} = E_{brutto} * (e-1) / e$  zu
  - $E_{brutto} = 10000 / ((e-1) * f_{konvent} / e - f_{regener})$
  - mit  $f_{regener} = 0.004, 0.02$  kg bzw.  $0.25$  kg CO<sub>2</sub>/kWh und  $f_{konvent} = 0.68$  kg CO<sub>2</sub>/kWh vgl. Anhang 3.2;
  - und den Erntefaktoren e aus [\[17\]](#), [\[15\]](#).

Entsprechend berechnet sich der zur Kompensation von E<sub>netto</sub> kWh zuviel verbrauchter konventionell erzeugter Primärenergie erforderliche regenerativ erzeugte Strom E<sub>brutto</sub> aus  $E_{brutto} = E_{netto} * e / (e-1)$

- \*\* mit folgenden Annahmen: ca. 900 kWh / kW<sub>peak</sub> / Jahr und ca. 5000 Euro / kW<sub>peak</sub> [\[26\]](#), umgerechnet auf 30 Jahre Lebensdauer

## 2.9 CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten

Angaben über die spezifischen Kosten der Vermeidung von CO<sub>2</sub> - Emissionen finden sich z.B. in [\[28\]](#), S.105. Die Kompensation durch Emissionshandel kostet derzeit etwa 24 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> [\[27\]](#).

---

### 3. Literaturangaben

- [1] BUND/MISERIOR (Hrsg.): "Zukunftsfähiges Deutschland", Birkhäuser, Basel 1997
- [2] Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen "Bericht über die menschliche Entwicklung 1998", Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V., Bonn, 1998
- [3] Wuppertal Institut (Hrsg.): „Fair Future“, Beck, München, 2005
- [4] „Tools und Software zur Ökobilanzierung von Gebäuden, Mobilität und Lebensstilaspekten“  
[http://www.oekosiedlungen.de/\\_materialien/tools/](http://www.oekosiedlungen.de/_materialien/tools/)
- [5] Stadt Zürich: „Ihre persönliche Ökobilanz“, 2005,  
[http://www3.stzh.ch/internet/ewz/home/infocenter/meine\\_oekobilanz.html](http://www3.stzh.ch/internet/ewz/home/infocenter/meine_oekobilanz.html)
- [6] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien,  
„Ihre persönliche Energie- und CO2-Bilanz“, 2002  
<http://ecocheck.lebensministerium.at/>
- [7] DB und IFEU „UmweltMobilCheck“  
<http://www.bahn.de/.../umweltmobilcheck.shtml>
- [8] atmosfair „Der Emissionsrechner“  
<https://www.atmosfair.de/index.php?id=5>
- [9] „HeizCheck des Bundes der Energieverbraucher“  
<http://sec-server.com/meta-app2/index.jsp?partner-id=energienetz.portal>
- [10] Ökocheck des Forums Lokale Agenda 21 Ottobrunn-Neubiberg (basiert auf [11])  
[http://www.ottobrunn.de/media/custom/79\\_29\\_1.HTML?La=1&object=med/79.29.1](http://www.ottobrunn.de/media/custom/79_29_1.HTML?La=1&object=med/79.29.1)
- [11] "Brauchen Sie eine Energiediät?, Ein Test von Global Challenges Network und dem Greenpeace Magazin", Stand 1992, Global Challenges Network, München
- [12] Deutsche Stiftung Weltbevölkerung „Weltbevölkerung 2005", Juli 2005,  
[http://www.dsw-online.de/pdf/Datenreport2005\\_8.7.pdf](http://www.dsw-online.de/pdf/Datenreport2005_8.7.pdf)
- [13] Deutscher Bundestag, Endbericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, Berlin, Juli 2002  
<http://www.bundestag.de/parlament/kommissionen/archiv/ener/schlussbericht/index.htm>
- [14] Institut Wohnen und Umwelt „Kumulierter Energieaufwand verschiedener Energieträger und Energieversorgungen“, Darmstadt 2004  
<http://www.iwu.de/datei/kea.pdf>
- [15] Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke e.V.: Informations-Faltblatt Nr.1, 2005  
[http://www.wasserkraft.bechny.de/faltblatt\\_seite1.htm](http://www.wasserkraft.bechny.de/faltblatt_seite1.htm)

- 
- [16] U. Gantner et al. „Perspektiven der zukünftigen Strom- & Wärmeversorgung für die Schweiz“, PSI Bericht Nr. 01-12, Villingen/Schweiz, August 2001  
[http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Dezentral\\_Bericht\\_August\\_2001.pdf](http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Dezentral_Bericht_August_2001.pdf)
- [17] V. Quaschnig „Energieaufwand zur Herstellung regenerativer Anlagen“, 11/2002,  
<http://www.volker-quaschnig.de/datserv/kev/index.html>  
V. Quaschnig „Energetische Amortisation und Erntefaktoren regenerativer Energie“, 1999,  
<http://emsolar.ee.tu-berlin.de/allgemein/enamort.html>
- [18] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz „Klima schützen – Kosten senken“, Augsburg 2004  
[http://www.ihk-bonn.de/pdf/downloads\\_innovation/energieleitfadenindustrie\\_1567491700.pdf](http://www.ihk-bonn.de/pdf/downloads_innovation/energieleitfadenindustrie_1567491700.pdf)
- [19] Initiative Pro Schornstein e.V. „Energie-Rechner“, Friedberg, 2002  
<http://www.initiative-pro-schornstein.de/planung/energierechner.asp>
- [20] IFEU „Wissenschaftlicher Grundlagenbericht zum UmweltMobilCheck“, Heidelberg 2002  
<http://www.bahn.de/-S:PtVORN:d2VaN9NNea6GB9NNNTIM/p/view/mdb/content/umweltmobilittcheck/3.pdf>
- [21] RDA - Internationaler Bustouristik Verband e.V. „Der Reisebus – ein umweltfreundliches Verkehrsmittel“, 2003  
<http://www.rda.de/html/index.php?module=htmlpages&func=display&pid=66>
- [22] Behörde für Bildung und Sport, Hamburg „Mobil mit Bus undBahn“, März 2005  
[http://www.hamburger-bildungserver.de/verkehrserz/mobil/mobil\\_27.phtml](http://www.hamburger-bildungserver.de/verkehrserz/mobil/mobil_27.phtml)
- [23] “Balance - Umweltbericht 1997/98”, Deutsche Lufthansa, Frankfurt, 1998,  
Seiten 16, 20, Stand 1997
- [24] RWE „Weltenergiereport 2003“,  
<http://www.rwe.com/generator.aspx/property=Data/id=123486/weltenergiereport-2003.pdf>
- [25] D. Spreng et al. : “Energie, Umwelt und die 2000 Watt Gesellschaft“, CEPE Paper 11,  
Zürich 2001, [http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/incoll/incoll\\_420.pdf](http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/incoll/incoll_420.pdf)
- [26] solid - gemeinnütziges Solarenergie Informations- und Demonstrationszentrum Fachinformationen  
Solarstrom-Erträge, März 2004 und November 2003  
<http://www.solid.de/index.php?id=84>, <http://www.solid.de/index.php?id=51>
- [27] myclimate, Zürich, [http://www.climateticket.com/kom\\_informationen.php](http://www.climateticket.com/kom_informationen.php)
- [28] B. Geiger et al. „CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Kraftwerksbereich, bei den erneuerbaren Energien sowie bei nachfrageseitigen Energieeffizienzmaßnahmen“, TU-München, 2004  
<http://www.bmwa.bund.de/Redaktion/Inhalte/Pdf/Publikationen/Studien/co2-vermeidungskosten-im-kraftwerksbereich-bei-den-erneuerbaren-energien.property=pdf,bereich=rwb=true.pdf>