

# Wie viel Kohlenstoff braucht der Mensch?

Hermann Pütter, Gesellschaft Deutscher Chemiker

## 1. Einleitung

Die meisten ökologischen Indikatoren zeichnen das Bild einer überbeanspruchten Welt. Unser wachsender Ressourcenbedarf schwächt den Planeten immer stärker. Seine Regenerierfähigkeit bricht in vielen Bereichen zusammen. Führende Klima-, Umwelt- und Energieforscher warnen vor dieser Entwicklung.

Wir haben uns vor allem bei unserem Kohlenstoffgebrauch kräftig übernommen. Dies hat dramatische Folgen für unsere Umwelt. Deshalb strebt die Weltgemeinschaft eine Dekarbonisierung an - also den Ausstieg aus den fossilen Energieträgern. Auch Deutschland, die EU und andere bekennen sich zu dieser Strategie. „Der Strukturwandel in Richtung einer kohlenstoffarmen Wirtschaft muss konsequent vorangetrieben werden“, sagt unsere Bundeskanzlerin<sup>1</sup>.

Dies steht jedoch in starkem Kontrast zu unserem Handeln. Nach den Aussagen der Internationalen Energieagentur, IEA, steigt der globale Bedarf an fossilem Kohlenstoff unverändert und rasch an. Von Dekarbonisierung kann keine Rede sein. Wie im Folgenden gezeigt wird, nehmen der Druck auf die Biosphäre und damit unser Bedarf an biogenem Kohlenstoff ebenfalls stark zu.

Wie sieht unser Kohlenstoffbedarf heute aus?

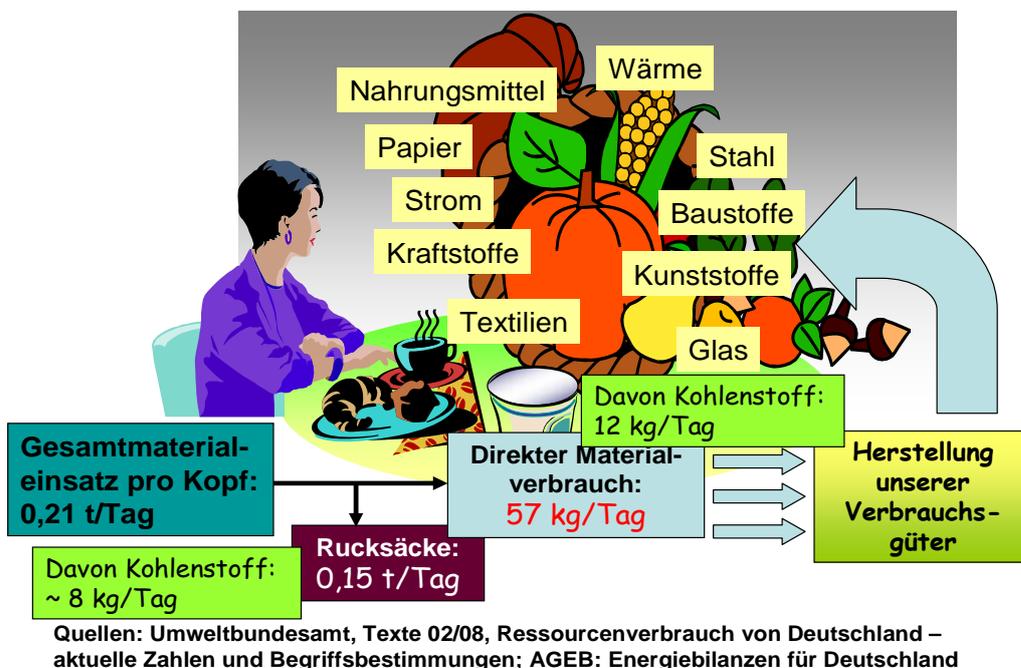


Abbildung 1: Ein typisches deutsches Frühstück

## 2. Der tägliche Kohlenstoffbedarf eines Deutschen

Angenommen, wir bekämen alle Materialien, die wir im Tagesmittel benötigen, mit der Zeitung auf den Frühstückstisch geliefert (Abbildung 1). Das wäre das Äquivalent unseres durchschnittlichen Körpergewichts. Tag für Tag verbraucht jeder Deutsche 57 kg an Material! Diese Menge enthält nicht allein unseren direkten Bedarf, sie enthält auch alle Materialien, die wir indirekt nutzen: Die Statistiker des Umweltbundesamtes, UBA, erfassen auch den gesamten Materialbedarf zur Bereitstellung unserer Güter – für Nahrungsmittel, Elektronik, Autos, Häuser etc., den Bedarf für unsere Infrastruktur, für Straßen, Brücken, Telefonleitungen, etc., und sie erfassen auch die Rohstoffe für unseren Energiebedarf. Die Daten zeigen auch den Biomasseanteil der jeweiligen Bereiche, aus denen sich die pflanzliche Kohlenstoffmenge abschätzen lässt<sup>2</sup>. Die fossile Kohlenstoffmenge errechnet sich aus dem Einsatz von Kohle, Öl und Gas gemäß den Statistiken der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, AGE<sup>3</sup>. Daraus ergibt sich: In unserer morgendlichen Lieferung sind 12 kg Kohlenstoff enthalten.

Das UBA erfasst darüber hinaus auch die Abfälle aus den Prozessen zur Herstellung unserer Rohstoffe, wie Glas Kunststoffe, Stahl, Zement, Papier, Speisen etc.. Es berücksichtigt auf diese Weise die so genannten ökologischen Rucksäcke. Berücksichtigt man auch diese Abfallstoffe, dann würde der Zeitungsbote 0,2 Tonnen herschleppen müssen. In den Abfällen finden sich weitere 8 kg Kohlenstoff.

Wir brauchen also insgesamt 20 kg Kohlenstoff pro Tag - fossil und biogen.

Biomasse war für den Menschen lange Zeit die wichtigste Kohlenstoff- und Energiequelle. Man hat errechnet, dass die Kulturen der Jäger und Sammler mit einer Biomassemenge auskamen, die knapp einem Kilogramm Kohlenstoff täglich entspricht<sup>4</sup>. Damals umfasste die Menschheit kaum die Hälfte der Kopfzahl des heutigen Deutschlands. Wir allein verbrauchen also gut das 40-fache dessen, was vor Jahrtausenden die gesamte Menschheit benötigte.

Die moderne Weltbevölkerung braucht heute so viel Kohlenstoff, dass sie mit den damit verbundenen Aktivitäten zu einer gewaltigen geologischen Kraft geworden ist. Man spricht deshalb von einem neuen geologischen Erdzeitalter, dem Anthropozän<sup>5</sup>.

## 3. Der globale Kohlenstoffkreislauf

Die bekannteste Umweltwirkung unserer Zivilisation ist die Emission der Treibhausgase. Sie ist mittlerweile gegenüber natürlichen Kohlenstoffströmen nicht mehr zu vernachlässigen.

Der globale Kohlenstoffkreislauf zeigt dies. Das Schema (Abbildung 2) lehnt sich an eine Darstellung von Mojib Lativ mit Daten von 1990-1999 an<sup>6</sup>.

Die großen Kohlenstoffreservoirs der Erdkruste, der Ozeane und der Atmosphäre stehen in einem dynamischen Austausch. Die wichtigsten Treiber sind die pflanzliche Photosynthese und ihr Gegenspieler, die Zersetzung von Biomasse. Im langjährigen Mittel werden so jeweils 100 Mrd. t Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen, bzw. ihr wieder zugeführt. Dieses Gleichgewicht ist also „klimaneutral“.

Dass unsere Kopfzahl und unser Lebensstil aus dem Ruder laufen, ist seit Ende der siebziger Jahre ein Allgemeinplatz. Es hat nicht an Anstrengungen gefehlt, das Problem zu veranschaulichen und anzugehen. Ein Ergebnis war der Bericht der Brundtland-Kommission mit ihrer berühmten Definition der Nachhaltigkeit. Diese Definition wurde in Rio weltpolitisch geadelt. Eine wichtige Etappe zu einem Sustainable Development sollte die

Klimakonferenz in Kyoto sein. In diese Zeit fällt auch die Entwicklung des ökologischen Fußabdrucks durch Rees und Wackernagel<sup>7</sup>.

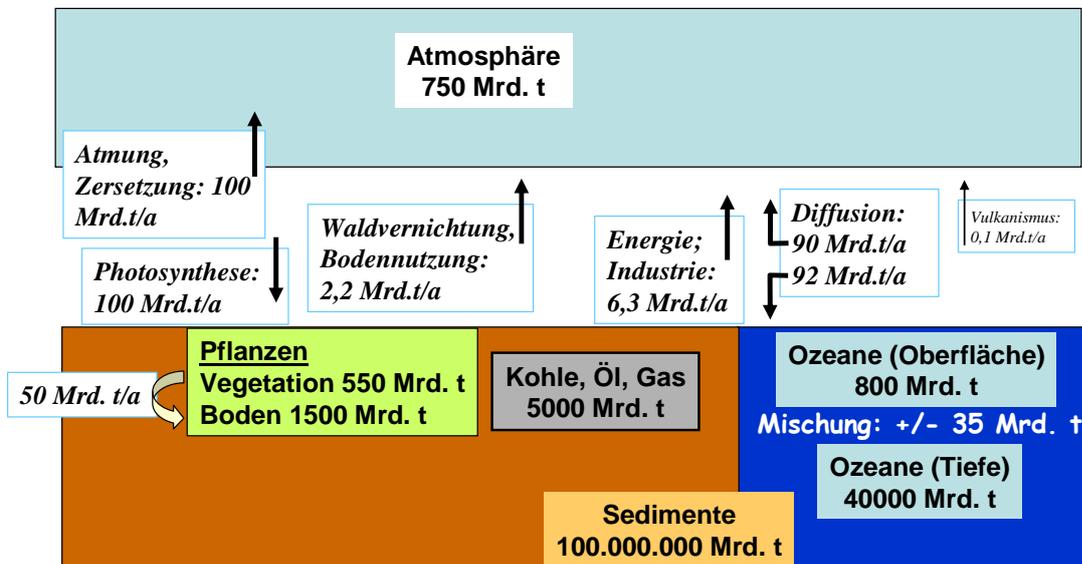


Abbildung 2: Der globale Kohlenstoffkreislauf

Dem Schema gemäß stört der Mensch das Gleichgewicht mit rund 9 Mrd. t Kohlenstoff (heute sind es bereits 10 Mrd. t). Die Emissionen in die Atmosphäre führen dort zu einer Anreicherung von CO<sub>2</sub>. Dies gelangt dann teilweise auch in die Ozeane. Die Probleme Klimawandel, Versauerung der Ozeane und etliche Folgeprobleme, sind bekannt und haben den Bereich akademischer Diskurse längst verlassen. Wir müssen unseren Kohlenstoffbedarf reduzieren. Dekarbonisierung ist deshalb ein globales politisches Konzept.

#### 4. Das Konzept der Dekarbonisierung

Unter Dekarbonisierung, decarbonisation, versteht man den Weg in eine Low Carbon Economy, LCE (Abbildung 3). Der Kohlenstoffverbrauch, der mit der Nutzung fossiler Energieträger einhergeht, soll minimiert werden. Das gleiche gilt für den Kohlenstoffverbrauch in Materialien.

Man will die Umstellung unseres Energiesystems auf kohlenstofffreie Energien, Wind, Solarenergie, Wasserkraft – aber auch auf Biomasse; Biomasse deshalb, weil ihr Kohlenstoff als „klimaneutral“ gilt. Der Gedanke dahinter besagt: Wir nutzen die Produkte der Photosynthese für unsere Zwecke und substituieren lediglich deren Zersetzung. Dadurch senken wir zwar nicht unseren Kohlenstoffverbrauch, aber wir reduzieren die Extraktion aus der Erdkruste. Damit „dekarbonisieren“ wir also unsere Treibhausgasemissionen.

Diese Vorstellung ist wirklichkeitsblind. Man muss nur sich vergegenwärtigen, welchen Zwecken die Produkte der Photosynthese in der Natur dienen. Pflanzen gehen unendlich viele Allianzen mit anderen Organismen ein. Sie liefern ihnen Energie und Material. Im Gegenzug schließen diese Organismen Kreisläufe, stellen Wasser- und Nährstoffversorgung sicher, stabilisieren die Umgebungstemperatur und sichern auf vielfältige Weise die Fruchtbarkeit und Reproduktion der Pflanzen. All dies zählt im Schema der Dekarbonisierung nur als

Zersetzung. Ohne diese Leistungen bräche die Photosynthese zusammen. Wenn wir uns da bedienen, ist also große Vorsicht angebracht. Die meisten Diskussionen über Bioenergie gehen darüber hinweg oder streifen das Ganze sehr pauschal mit Potenzialbetrachtungen.

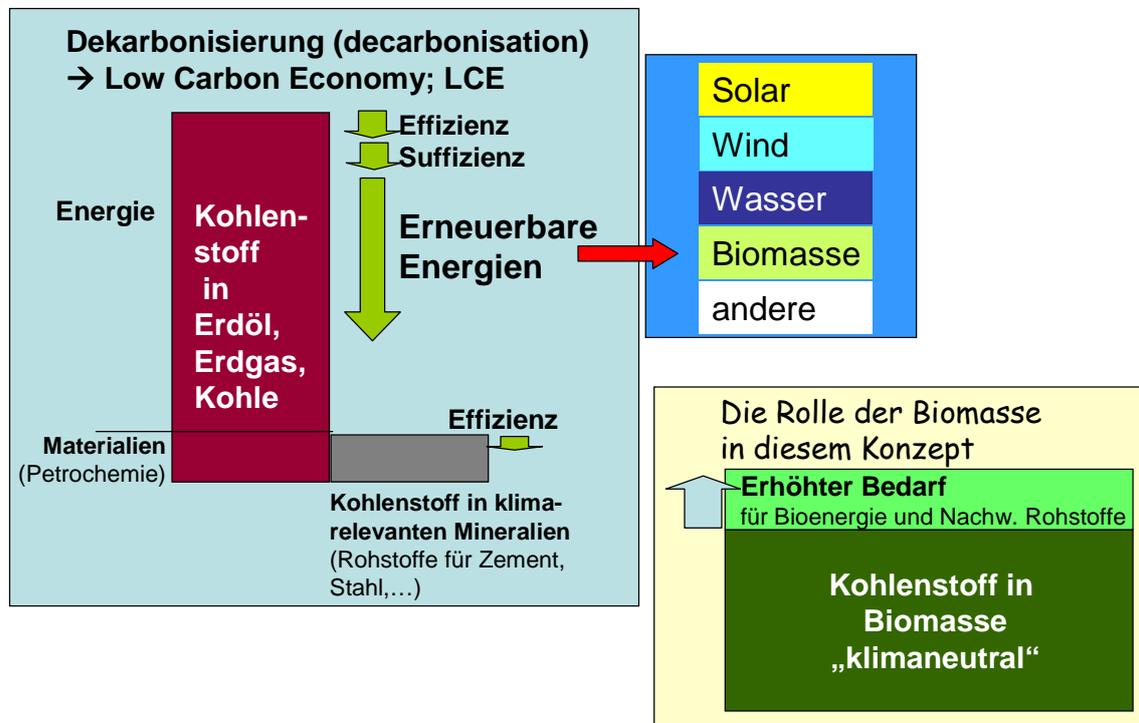


Abbildung 3: Das Konzept der Dekarbonisierung: Abschied vom fossilen Kohlenstoff

## 5. Der ökologische Fußabdruck

Satellitenaufnahmen der nächtlichen Erde zeigen anschaulich das Zeitalter des Anthropozän: Der Planet ist übersät mit Milliarden von Lichtpunkten, die sich überall dort verdichten, wo Menschen leben. Luftbildaufnahmen zeigen außerdem, wie sehr die gesamte Erdoberfläche durch Landwirtschaft strukturiert, durch die Gewinnung von Ressourcen zerstört und durch Siedlung und Verkehr versiegelt wurde und immer noch wird.

Das gilt auch für Deutschland. Die Versiegelung von Flächen konnte nicht gebremst werden, unsere Nachhaltigkeitsziele haben wir hier weit verfehlt<sup>8</sup>. Die biologische Vielfalt wird nicht nur dadurch geschwächt sondern auch durch die Ausweitung der Flächen für Energiepflanzen - auf heute schon 2 Millionen Hektar<sup>9</sup>. Damit nicht genug: Mit dem Import von Biomasse in Form von Lebensmitteln, Werkstoffen und Energieträgern beanspruchen wir auch Wald-, Weide- und Ackerflächen in anderen Ländern.

Deutschland steht nicht alleine da. Andere Industrieländer und viele Schwellen- und Entwicklungsländer unterliegen demselben Trend.

Um diesen Druck der Menschheit auf unseren Planeten mit einer Kennzahl zu beschreiben, wurde das Konzept des ökologischen Fußabdrucks entwickelt. Es fragt: Wie viel Fläche müsste Mutter Natur haben, um unsere materiellen Bedürfnisse - und damit im Wesentlichen unseren Kohlenstoffbedarf - allein durch Photosynthese bereitzustellen?

Das Verhältnis Fußabdruck zu Biokapazität zeigt, wie sehr wir unseren Planeten überbeanspruchen (Abbildung 4). Plakativer gesprochen: Die moderne Menschheit bräuchte heute 1,5 Erden – Tendenz steigend.

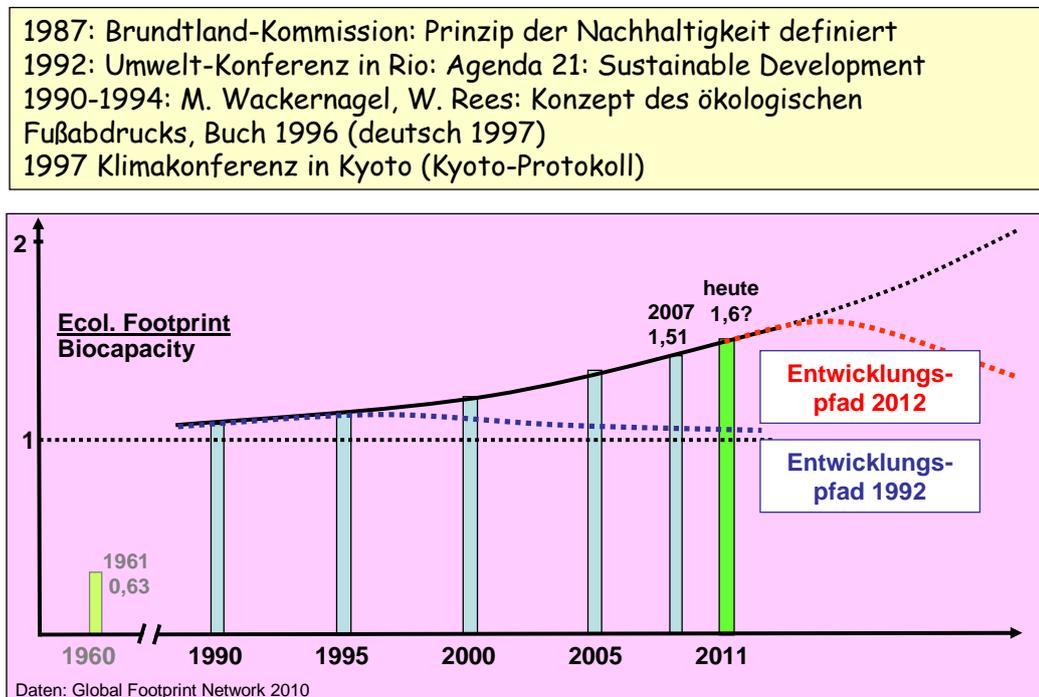


Abbildung 4: Der ökologische Fußabdruck

Man hätte erwarten können, dass die Menschheit spätestens ab 1992 eine „weiche Landung“ versucht hätte - durch angepasste Technologien und Änderung unseres Lebensstils (Abbildung 4, blaue Kurve). Mittlerweile besteht kein Zweifel daran, dass dies nicht geschehen ist. Es drängt sich sogar der Eindruck auf, dass sich die Industriestaaten über jedes vernünftige Maß hinaus verschuldet haben, um diese Route möglichst zu vermeiden. Dabei wurde Sustainable Development ständig als alternativlos propagiert. Stattdessen betrieben auch die wohlhabenden Länder eine ressourcenintensive Steigerung ihres Bruttosozialproduktes, die mit dem Begriff „Wachstum“ beschönigt wird. Ein Umschwenken auf einen Kurs, der wenigstens längerfristig als nachhaltig durchgehen könnte, wird immer schwieriger (Abbildung 4, rote Kurve).

2012, zwanzig Jahre nach der Konferenz in Rio, versucht die Rio+20-Konferenz dieser Fehlentwicklung durch Konzepte wie „Green Growth“ oder „Green Economy“ Rechnung zu tragen. Skeptiker sehen in diesen Begriffen allerdings eher den Ausdruck einer Krisenstimmung als Bezeichnungen für einen Aufbruch<sup>10</sup>. Ein Mitglied im Rat für Nachhaltige Entwicklung der Bundesregierung formuliert dies so: „Vergäben Ratingagenturen ihre Noten nach ökologischer Verschuldung, fielen alle Industriestaaten auf Ramschniveau.“<sup>11</sup> Auch Persönlichkeiten aus der Wirtschaft, sehen mit Nüchternheit, dass wir ein ungelöstes Problem haben. So meint der BASF-Vorstandsvorsitzende, Kurt Bock: „Wenn wir nichts an unserer Lebens- und Produktionsweise ändern, brauchen wir in Zukunft die Ressourcen von annähernd drei Erden, um die Menschheit zu versorgen.“<sup>12</sup>

## 6. Kohlenstoffbilanz der Menschheit heute

Der Kohlenstoffbedarf der Menschheit ist eine anschauliche Kennzahl für unseren gesamten Ressourcenverbrauch. Die moderne Förderung und Nutzung aller Metalle, Salze und Mineralien basiert auf dem Einsatz von (fossilem) Kohlenstoff.

Die Struktur des Kohlenstoffbedarfs zeigt Abbildung 5. Unser Bedarf an fossilem Kohlenstoff liegt heute bei 10 Mrd. t. Diese Menge wollen wir reduzieren, um Treibhausgase zu vermeiden. Wie steht es bei Biomasse? Der Bedarf der Menschheit an biogenem Kohlenstoff ist mit ebenfalls 10 Mrd. t gleich hoch wie der an fossilem Kohlenstoff.

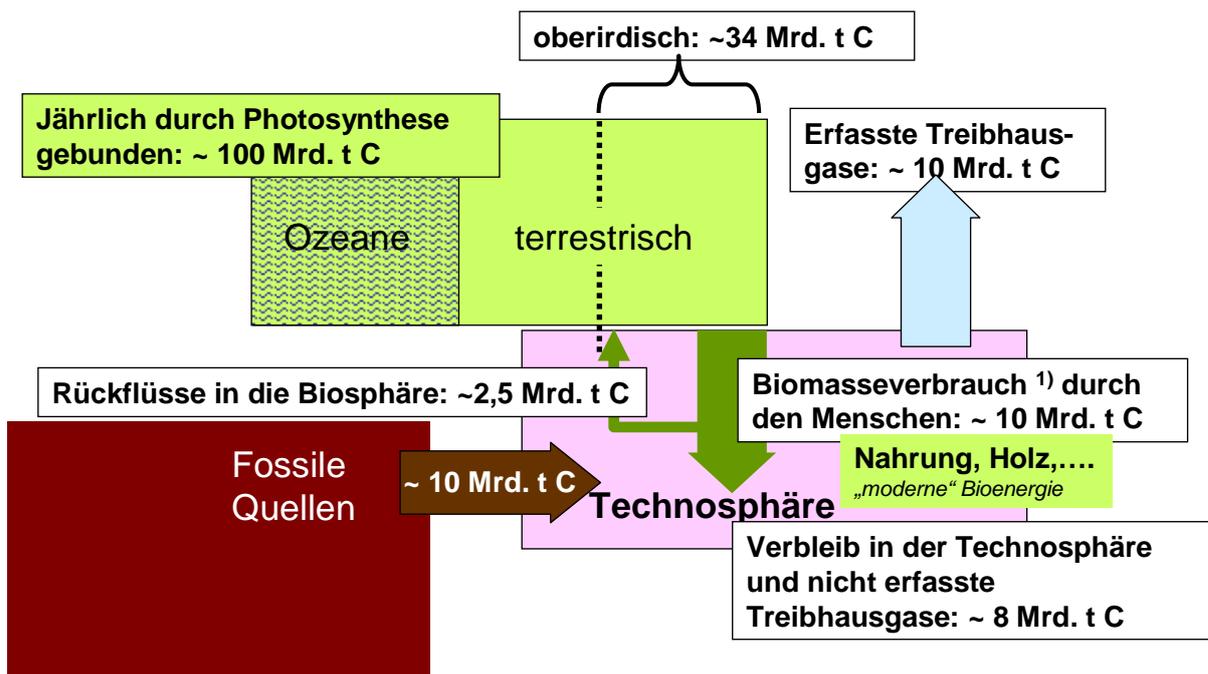


Abbildung 5: Kohlenstoffbilanz der Menschheit heute

Die jährlich durch Photosynthese gebundene Kohlenstoffmenge in Biomasse beträgt 100 Mrd. t, zwei Drittel davon auf dem Festland. Etwa 34 Mrd. t Kohlenstoff entstehen oberirdisch; bis auf wenige Ausnahmen - Kartoffeln, Zuckerrüben- ist das der Kohlenstoff, den wir nutzen. Würden wir alles mit Stumpf und Stiel verwerten, hätten wir unlösbare Erosionsprobleme. 10 Mrd. t leiten wir in die Technosphäre, 2,5 Mrd. t schleusen wir wieder in die Natur aus.

Diese Werte werden im Rahmen des HANPP-Projektes erarbeitet<sup>13</sup>. Der Begriff HANPP, Human Appropriation of Net Primary Production, beschreibt, in welchem Umfang der Mensch schon heute die Produktionsleistung der Photosynthese für sich in Anspruch nimmt. Marc Imhoff, ein Pionier auf dem Gebiet der Erfassung unseres biogenen Kohlenstoffbedarfs, kommt auf ähnliche Zahlen<sup>14</sup>. Als NASA-Biologe hat er 1995 erstmals Satellitenbeobachtungen der Pflanzenwelt mit FAO-Statistiken und anderen Quellen zusammengeführt. Eine gute Einführung in das Konzept HANPP findet sich in<sup>15</sup>. Hier zeigen sich auch die Schwierigkeiten, die Grenzen unseres Einflusses auf die Biosphäre zu

beschreiben. Haben wir unsere Wechselwirkung mit unserem Planeten schon richtig im Blickfeld?

Neben methodische und analytische Probleme tritt auch eine ethische Frage: Welche Rolle spielt der Mensch auf diesem Planeten: Ist er der Herr, der nach eigenem Ermessen schalten und walten kann, oder ist er ein Gast unter vielen, der den Bedarf der anderen Geschöpfe respektieren sollte? Anders formuliert: Kann es gut gehen, wenn eine einzige Spezies, die kaum ein Tausendstel der tierischen Biomasse ausmacht, zu Lasten von Millionen anderen Spezies der Fauna, ihren Anteil an der Nutzung der Pflanzenwelt weiter erhöht?

## 7. Der Kohlenstoffmetabolismus Deutschlands

Aus den eingangs genannten Daten des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, AGEB, sowie einer Studie des Öko-Instituts<sup>16</sup> lässt sich der Verbrauch und Verbleib biogenen und fossilen Kohlenstoffs skizzieren (Abbildung 6).

Das Ergebnis zeigt den erstaunlich hohen Anteil an Bio-Kohlenstoff auch für Deutschland. Kohlenstoff in Biomasse steuert etwa 1/3 zu unserem Materialeinsatz bei, Kohlenstoff aus fossilen Energieträgern 2/3. Bei den ökologischen Rucksäcken ist es umgekehrt.

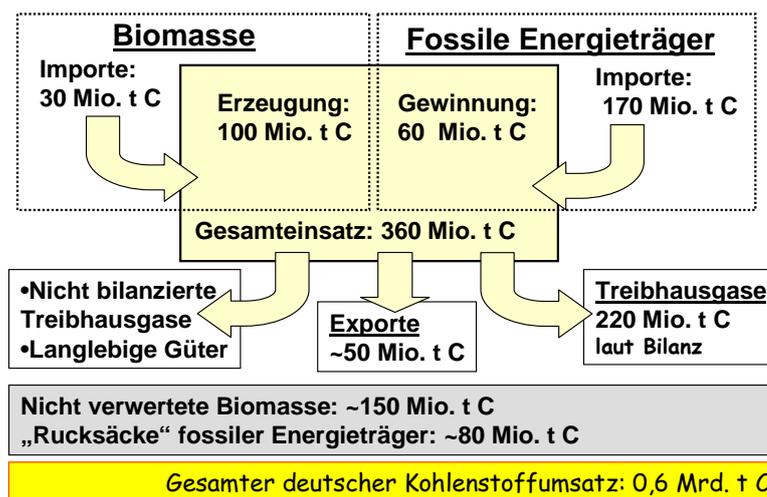


Abbildung 6: Der Kohlenstoffmetabolismus in Deutschland

Insgesamt benötigt Deutschland etwa 0,6 Mrd. t Kohlenstoff pro Jahr. Der Biomasseanteil liegt bei etwa 0,3 Mrd. t. Wir liegen im weltweiten Trend: Auch unser Biomassebedarf ist ebenso hoch wie der an fossilem Kohlenstoff!

Wenn die Menschheit insgesamt vor der Frage steht, ob ihrem Anspruch auf Biomasse Grenzen gesetzt sind, so gilt das verschärft für Großverbraucher wie Deutschland. Man sollte also erwarten, dass die deutsche Dekarbonisierungsstrategie dieser Tatsache Rechnung trägt.

## 8. Quintessenz aus der Leitstudie 2010

Das Energiekonzept der Bundesregierung wird regelmäßig mit Zahlen aus den Leitstudien bzw. Leitszenarien<sup>17</sup> unterfüttert. Gegenüber 2005 soll bis 2020 der Anteil der erneuerbaren Energien fast verdreifacht werden. Deutschland erwartet in seiner Dekarbonisierungsstrategie

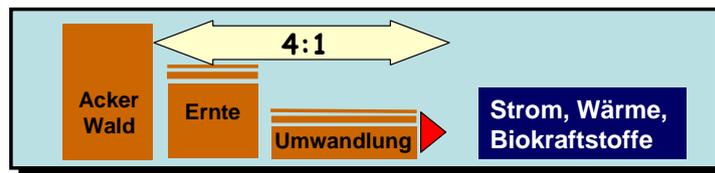
von der Biomasse einen wichtigen Beitrag – für Kraftstoffe, Wärme und Strom: Energie aus Biomasse soll sich um 500 PJ erhöhen und ihren Anteil am Endenergieaufkommen auf über 10 % erhöhen (Abbildung 7). Durch den Beitrag der erneuerbaren Energien insgesamt sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber 2005 noch einmal kräftig sinken. Wir werden so die Atmosphäre um 36 Mio. t Kohlenstoff entlasten. Biomasse mit einem Energiegehalt 500 PJ hat nach üblicher Umrechnung einen Kohlenstoffanteil von etwa 15 Mio. t.

Energieversorgung Deutschland [PJ/a]		
Basisszenario 2010 A		
	<u>2005</u>	<u>2020</u>
Endenergie	9240	8630
Beitrag EE	625	1725
davon Biomasse	436	932
Durch den Beitrag der EE vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen [Mio t/a]		
	<u>2005</u>	<u>2020</u>
	86	217
Entspricht C	23,5	59,2

Senkung der jährlichen Treibhausgas-Emissionen um 36 Mio. t C von 2005 bis 2020 durch:  
 → kohlenstofffreie Energien  
 → ...und Bioenergie

→ **Zusatzangebot an Bioenergie: ~500 PJ/a**  
 → **Zusatzbedarf an Kohlenstoff <sup>1)</sup>: ~15 Mio. t/a**

→ **Zusatzbedarf an Kohlenstoff in Biomasse : ~60 Mio. t/a**



1) 1 GJ entspricht ~0,06 t Biomasse (trocken), bei 50% C-Anteil sind dies ~0,03 t C/GJ.

Abbildung 7: Quintessenz aus der Leitstudie 2010 und dem Leitszenario 2009 für Bioenergie

Nun ist Biomasse keine Endenergie, die uns wie Strom oder Kraftstoff zur Verfügung steht. Sie ist auch keine Primärenergie wie Rohöl oder Kohle, in der Mutter Natur schon die Leistung der räumlichen und energetischen Aufkonzentration geleistet hat. Biomasse hat einen vergleichsweise niedrigen Energieinhalt, sie ist komplex, enthält oft viel Wasser, muss großflächig angebaut und durch Ernte eingesammelt werden, bis sie - oft sehr aufwendig - zu einer verwertbaren Endenergieform aufbereitet wird. Für eine Kohlenstoffeinheit beim Nutzer muss etwa das Vierfache in der Natur durch Photosynthese entstehen. Für 15 Mio. t Kohlenstoff in Bio-Endenergie muss Mutter Natur also 60 Mio. t Kohlenstoff in Pflanzenmaterial bereitstellen. Wir vermeiden mit erneuerbaren Energien insgesamt (einschließlich Wind und PV) 36 Mio. t Kohlenstoff in Klimagasen zu Lasten von 60 Mio. t an Biokohlenstoff. Wir verschieben also ein Problem von einer gefährdeten Zone in eine andere, die ebenfalls unter Druck steht. Deshalb kann man verstehen, dass bei manchem Ökologen die Alarmglocken schrillen.

## 9. Die reale Entwicklung und die Absichten der Bundesregierung

Einige Zahlen des statistischen Bundesamtes zu den wichtigsten Kohlenstoffträgern zeigen zwei Aspekte der ökologischen Nah- und Fernwirkung Deutschlands (Abbildung 8)<sup>18,19</sup>. Wir haben die heimischen Energieträger (z.B. Steinkohle) seit 1994 zugunsten von Energieimporten (z.B. Erdgas) zurückgefahren und insgesamt eine leichte Mengenreduktion

erreicht. Gleichzeitig steigt aber unser Bedarf an Biomasse sowohl aus heimischer Produktion als auch aus Importen.

Verbrauch [Mio. t]	1994	2005	2009	1994 → 2009
<b><u>Inländische Produkte</u><sup>1)</sup></b>				
Energieträger	278	228	199	- 28%
Biomasse	211	246	265	+ 26%
<b><u>Importe</u><sup>1)</sup></b>				
Energieträger	270	305	290	+ 8%
Biomasse	61	93	104	+ 70%
1) Direkte Werte –nicht umgerechnet in t C; jeweils ohne Rucksäcke				

#### Bioenergie im Energiekonzept der Bundesregierung

Die Bioenergie soll als bedeutender erneuerbarer Energieträger in allen drei Nutzungspfaden „Wärme“, Strom und „Kraftstoffe“ weiter ausgebaut werden. Die heimischen Biomassepotenziale sind vor allem durch Nutzungskonkurrenz sowie im Hinblick auf Naturschutz und die Biodiversität begrenzt. ... Darüber hinaus wird Deutschland zunehmend auf den Import von nachhaltigen Bioenergieträgern angewiesen sein. (S.10)

1) BMWi, BMU: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 28.09.10

#### Abbildung 8: Deutschlands Weg in Richtung Nachhaltigkeit?

Die Einwohnerzahl Deutschlands war in diesem Zeitraum mit knapp 82 Mio. fast konstant, unser Bedarf an Kohlenstoffträgern ist aber gestiegen. Dabei hätte man hier ein deutliches Absinken erwartet nach den politischen Bekundungen seit der Konferenz in Rio. Einen besonderen Anlass zur Sorge gibt die zukünftige Entwicklung bei der Biomasse, wenn die Strategie der Bundesregierung greift (Zitate siehe Abbildung 8). Insgesamt verlagert Deutschland seine stofflichen Bedürfnisse immer stärker nach außen und so die damit verbundenen Probleme.

Andere Industrie- und Schwellenländer agieren genauso. Auf einem begrenzten Planeten hat der „Export“ von Problemen aber seine Grenzen. Es muss Alternativen geben.

### 10. Was ist zu tun?

Es gibt zwingende Gründe, unseren fossilen Kohlenstoffbedarf zügig zurückzufahren. Die simple Verschiebung in Richtung angeblich „klimaneutralem“ Bio-C ist keine Lösung. Sie konterkariert das Bemühen um den Einstieg in eine nachhaltige Entwicklung.

Es gibt eine Fülle von klugen Strategien, die es wert sind, verfolgt zu werden. Hier nur einige Beispiele:

- Konzentration auf wirklich „kohlenstofffreie“ Energieformen, also z.B. auf Windenergie, Erdwärme, Photovoltaik oder Wasserkraft.
- Effizienzsteigerung im Umgang mit Kohlenstoff (fossil und biogen). Dazu gehören die Kaskadennutzung (z.B. erst stofflich als „nachwachsender Rohstoff“ dann als Bioenergie) und ein kluges Stoffstrommanagement (Kreisläufe schließen, Abfälle nutzen, ...)

- Grundlagenforschung stärken. Beispielsweise würde die Biomasseherstellung mit Algen nicht zu Flächenkonkurrenz mit anderen pflanzlichen Systemen führen und könnte eine sehr effiziente Kohlenstoffquelle sein. Die Arbeiten stecken aber noch in den Kinderschuhen.
- Fortgeschrittene F&E-Aktivitäten effizienter gestalten. Die Entwicklung von Energiespeichern zählt zu den vordringlichsten Aufgaben auf diesem Gebiet.
- Wiederaufforstung: Mit klugem Boden- und Wassermanagement können heute unfruchtbar gewordene Flächen wieder fruchtbar gemacht werden. Das Potenzial dieser Option ist riesig<sup>20</sup>.
- Den Wandel gestalten: Neben technische Themen tritt zunehmend eine neue Aufgabe, bei der sich Naturwissenschaftler meist schwer tun. Zusammen mit den Kollegen aus den Kulturwissenschaften, den Medien und der Politik müssen sie Wege finden, um sich selbst und den Bürgern die Grenzen unseres Wirtschaftens aufzuzeigen. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, WBGU, hat Mitte 2011 unter dem Titel „Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ einen umfangreichen Vorschlag für die Dekarbonisierung Deutschlands vorgelegt. Dieser Text<sup>21,22</sup> befasst sich über weite Strecken mit der gesellschaftlichen Bedeutung dieses Vorhabens. Chemiker stoßen ins gleiche Horn. Amaroli und Balzani fassen ihr Buch<sup>23</sup> „Energy for a Sustainable World – from the Oil Age to a Sun-Powered Future“ mit ähnlichen Appellen zusammen. Sie sehen uns scheitern, wenn wir uns auf technische Aspekte beschränken.

Auch der Umgang mit den Entwicklungsländern ist eine gesellschaftliche Herausforderung: Das faire Teilen von Rohstoffen, Gütern und Know-how muss erreicht werden. Es lohnt sich, hier auch in die Rolle der Lernenden zu schlüpfen.

## 11. Kurswechsel

Der taiwanesischer Nobelpreisträger für Chemie, Yuan T. Lee, fordert in einem Editorial in der „Angewandten Chemie“<sup>24</sup> einen ernsthaften Kurswechsel unseres Lebensstils, unserer Wirtschaftsweise und der Wissenschaften. Seine Befunde und Ratschläge (Abbildung 9) lauten:

- Unsere westliche Gesellschaft ist „overdeveloped“ und deshalb nicht nachahmenswert. Wenn wir alle so leben würden wie die Amerikaner, bräuchten wir 5,4 Erden.
- Wir sollten uns nicht auf (fossilen) Kohlenstoff sondern auf Sonnenlicht als Energiequelle verlegen. (Der Siegeszug der asiatischen PV-Industrie zeigt, dass man in Asien die Botschaft versteht.)
- Die vielfältigen kulturellen Traditionen der Menschheit könnten helfen, neue Entwicklungspfade zu finden und alte Irrwege zu vermeiden.
- Ohne Wissenschaft wird es keine Umkehr in Richtung einer dekarbonisierten, nachhaltigen Entwicklung geben. Aber die Wissenschaft selbst wird sich fundamental ändern müssen, um die Bedeutung von Gemeinschaft neu zu verstehen und danach zu handeln.

Andere einflussreiche Gruppen äußern sich ähnlich. Seit 2007 treffen sich alle 2 Jahre Nobelpreisträger, führende Klima-, Umwelt- und Energieforscher und diskutieren den Stand unseres Planeten. Im letzten Jahr fand das Nobel Laureate Symposium in Stockholm statt. Die Versammlung fordert in ihrem „Stockholm Memorandum“<sup>25</sup> einen „Mind-shift for a Great Transformation“. Diese stark westlich geprägte Gruppe, fällt ein ähnlich hartes Urteil wie Y.T. Lee: Unsere Wirtschaftsweise zerstört die Elastizität der Erde. Ihre Regenerationskräfte schwinden. Wir gehen mit der Biosphäre ebenso töricht um wie mit der Atmosphäre. Neben das Klimaproblem, das mit unserem Bedarf an fossilem Kohlenstoff korreliert, treten zunehmend Gefahren, die aus unserem Anspruch auf pflanzlichen Kohlenstoff erwachsen<sup>26</sup>.

First, everyone must accept this cold hard truth: the path by which Europe and the USA attained their riches is not to be emulated. ...  
In truth, any society that develops by destroying the very natural basis of that development is „over-developed“, and should be seen as such.

Going back to the sun: We must re-establish the central role of the sun in human development. ... We simply must dedicate much more R&D and deployment resources toward this area.

We must tap into the wisdoms of our forbearers. They lived for thousands of years in relative harmony with their environment. ... The good news is, all countries have rich cultures and traditions, and all can do better than to blindly follow the developed world.

Science remains an indispensable force in human development. But it must transform itself ... :

- More focused on shared global problems
- Better at integrating diverse disciplines and knowledge systems
- More effective at working together with the rest of society

Abbildung 9: Was ist zu tun? Yuan T. Lee: Changing Course

Unser Verbrauch an Kohlenstoff ist aus dem Ruder gelaufen. Dies zwingt dazu, uns unserer Grenzen bewusst zu werden und entsprechend zu handeln.

## Referenzen

1. Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel Regierungserklärung, 25. 03.10
2. Umweltbundesamt, Texte 02/08, Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Zahlen und Begriffsbestimmungen
3. AGEB: Energiebilanzen für Deutschland
4. H.Haberl , Energy 31(2006), 89
5. Das Raumschiff Erde hat keinen Notausgang, edition unseld 2011, S.63, ISBN 978-3-518-06176-3
6. M. Latif: Bringen wir das Klima aus dem Takt, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt 2007, ISBN 978-3-596-17276-4, S. 65; Klimadaten zwischen 1990 und 1999; Siehe z.B auch DOE: Simplified Global Carbon Cycle, oder N. Armario, V. Balzani, Chem. Asian J. 2011,6, 771

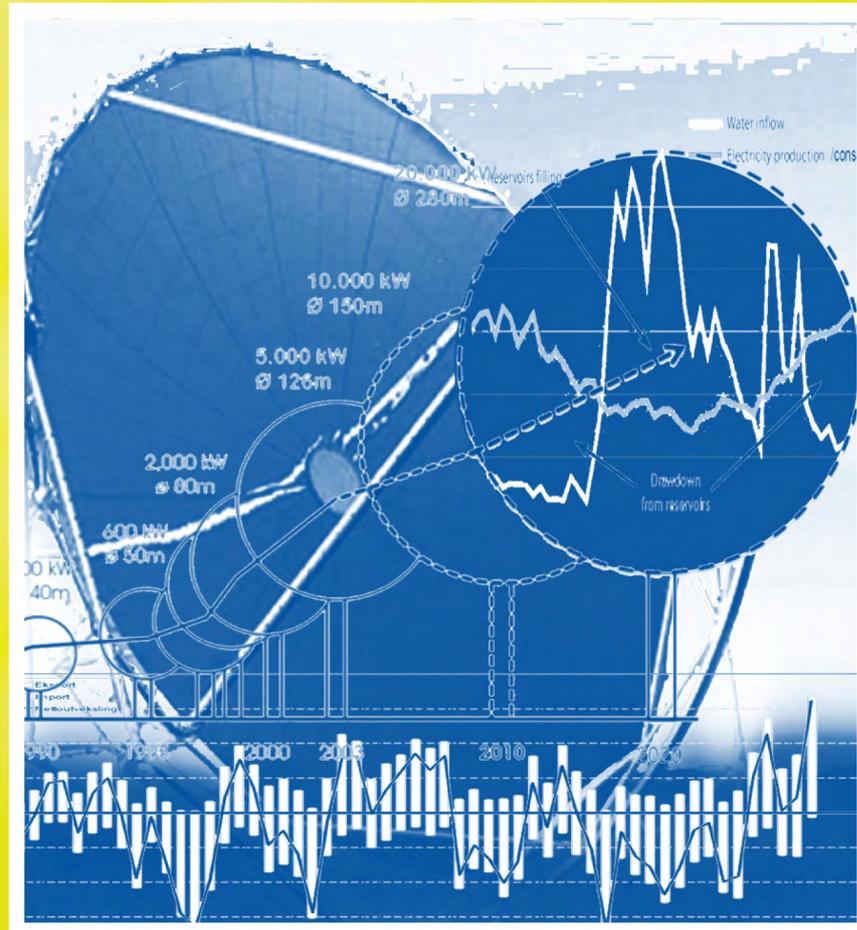
7. Mathis Wackernagel, William Rees, Unser ökologischer Fußabdruck – wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt, Birkhäuser Verlag, Basel 1997, ISBN 3-7643-5660-X
8. Fortschrittsbericht 2012 zur deutschen Nachhaltigkeitsstrategie Entwurf vom 01.05.11, Seite 120
9. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Basisdaten Bioenergie Deutschland, September 2011, S. 8
10. umwelt journal Rheinland Pfalz, Heft 55, Mai 2012
11. Angelika Zahrnt, BUND-Ehrenvorsitzende, umwelt journal Rheinland Pfalz, Heft 55, Mai 2012 S. 5
12. Kurt Bock, BASF-Chef, Rheinpfalz, 30.11.11
13. H. Haberl et al. PNAS, 104 (2007), 12943
14. M. Imhoff et al. Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) by country and product, Data distributed by the Socioeconomic Data and Application Center (SEDAC): <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/hanpp.html>
15. [http://www.eoearth.org/article/Global\\_human\\_appropriation\\_of\\_net\\_primary\\_production\\_\(HANPP\)\\_](http://www.eoearth.org/article/Global_human_appropriation_of_net_primary_production_(HANPP)_) (29.04.10)
16. Öko Institut 2004: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse
17. Leitstudie 2010, Tabellen 1, 10-4 (S. 6, 188); Leitszenario 2009, Tabelle 1, S. 8
18. Statistisches Bundesamt, Umweltnutzung und Wirtschaft, Tabellenband 2011 S. 23,24, 33-36
19. Die Werte in Abbildung 8 sind reine Mengenangaben und nicht in Kohlenstoff umgerechnet, sie berücksichtigen auch keine ökologischen Rucksäcke.
20. J. O. Metzger, A. Hüttermann, Naturwissenschaften 2009, 96, 279-288
21. WBGU: Hauptgutachten: Welt im Wandel, Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation, WBGU Berlin 2011, ISBN 978-3-936191-36-3
22. [http://www.wbgu.de/wbgu\\_jg2011.pdf](http://www.wbgu.de/wbgu_jg2011.pdf)
23. Nicola Armaroli, Vincenzo Balzani, Energy for a Sustainable World – from the Oil Age to a Sun-Powered Future, Wiley-VCH, Weinheim 2011, S. 312-313; ISBN 978-3-527-32540-5
24. Y.T. Lee, A. W.-C. Yang, Angew. Chem. Int. Ed. 2011, 50, 10260-10261
25. The Stockholm Memorandum, 3rd Nobel Laureate Symposium Series on Global Sustainability, Stockholm, 16.-19.05.11; Informationen: [www.globalsymposium2011.org](http://www.globalsymposium2011.org)
26. 3rd Nobel Laureate Symposium Series on Global Sustainability, Executive Summary of Scientific Background Reports; Informationen: [www.globalsymposium2011.org](http://www.globalsymposium2011.org)

Dr. Hermann Pütter  
 Gesellschaft Deutscher Chemiker  
 Haardter Str. 1a  
 67433 Neustadt  
[puetter-neustadt@t-online.de](mailto:puetter-neustadt@t-online.de)

## Arbeitskreis Energie

Exzerpt aus Tagungsband des AKE, DPG-Tagung 2012 Berlin

home: [http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE\\_Archiv/DPG2012-AKE\\_Berlin/Links\\_DPG2012.htm](http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2012-AKE_Berlin/Links_DPG2012.htm)



# Energiewende

## Aspekte, Optionen, Herausforderungen

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Berlin 2012

Herausgegeben von Hardo Bruhns

# Energiewende

Aspekte, Optionen, Herausforderungen

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung

Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Berlin, 26. bis 28. März 2012

Programmgestaltung und Herausgeber: Hardo Bruhns

September 2012

Frühjahrstagung des Arbeitskreises Energie  
in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft  
Berlin, 26. bis 28. März 2012

**Inhaltsverzeichnis**

Einleitung .....	7
Übersicht über die Fachsitzungen .....	8
Abstracts aller Vorträge .....	9
Hauptvorträge:	
<i>Wieviel Kohlenstoff braucht der Mensch?</i> , vorgetragen von H. Pütter .....	24
<i>Virtuelle Großanlagen – ein Ansatz zur systemkompatiblen Integration erneuerbarer Energiequellen in die Energieversorgung</i> , vorgetragen von R. Bitsch .....	36
<i>Hydro Electricity and Storage Capabilities in Norway – can they be useful for Europe?</i> , presented by W. Rondeel .....	49
<i>Die Nutzung der Windenergie und erwartete technologische Entwicklungen der nächsten Jahre</i> , vorgetragen von A. Reuter .....	60
<i>Enhanced Geothermal Systems (EGS) - Potential and Stimulation Treatments</i> , presented by G. Zimmermann .....	67
<i>Schiefergas: eine unkonventionelle Ressource für den Energiemix der Zukunft?</i> , vorgetragen von A. Hübner .....	75
<i>Perspektiven für Solarthermische Kraftwerke im Sonnengürtel</i> , vorgetragen von B. Hoffschmidt .....	81
<i>Windstrom und Wasserstoff – Eine Alternative</i> , vorgetragen von D. Stolten .....	94

<i>Die Kosten und Risiken der Energiewende</i> , vorgetragen von M. Frondel.....	112
<i>Challenge Energy Transition: Managing Volatility and Integrating Renewables into the Energy System</i> , presented by H. Gassner .....	124
<i>Energieszenarien für Deutschland: Stand der Literatur und methodische Auswertung</i> , vorgetragen von J. Hake .....	132
<i>Wie Fukushima die Energiepolitik und Energieforschung in Deutschland und international verändert</i> , vorgetragen von J. Knebel.....	167
<i>Entscheidungszwänge in der Weltenergieversorgung und Klimapolitik bei hoher Unsicherheit</i> , vorgetragen von C. Ch. von Weizsäcker .....	179
<i>Future Mobility in Europe</i> , presented by F. X. Söldner .....	183

Direkter Link zum AKE - Archiv:

<http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/index.htm>

Direkter Link zum AKE - Archiv, Tagung 2012 -Berlin:

[http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE\\_Archiv/DPG2012-AKE\\_Berlin/Links\\_DPG2012.htm](http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2012-AKE_Berlin/Links_DPG2012.htm)

Der vorliegende Band fasst schriftliche Ausarbeitungen von Hauptvorträgen der DPG-AKE Tagung des Jahres 2012 in Berlin zusammen. Die Präsentationsfolien der Hauptvorträge können auf der Webseite des Arbeitskreises über:

<http://www.dpg-physik.de/dpg/organisation/fachlich/ake.html>

(von dort gelangt man zum Archiv des AKE) eingesehen werden. Allen Autoren, die zu diesem Sammelband beigetragen haben, sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.

Düsseldorf, im September 2012

Hardo Bruhns