

Nachhaltige Energieversorgung – Kriterien, Bestandteile und Vernetzungen¹

(eingereicht bei der Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht)

1. Problemstellung: Energieprobleme
2. Lösungspfad Nachhaltigkeit
3. Beurteilung einzelner Energiearten anhand zentraler Nachhaltigkeitskriterien
4. Schlussfolgerungen für einen nachhaltigen Energiemix
5. Erneuerbare Energien – nachhaltige Energien
6. Schlussbemerkungen

1. Problemstellung: Energieprobleme

Der Wachstumspfad globalisierten Wirtschaftens beansprucht hohe und tendenziell steigende Energieverbräuche, die gegenwärtig weltweit noch vorwiegend aus fossilen Energien (80,9 % Anteil am Primärenergieverbrauch im Jahr 2006) sowie Kernenergie (6,2 %) gewonnen werden (vgl. IEA 2008, S. 6).

Das damit verbundene Abschmelzen der Vorräte an fossilen Energieträgern, die kritischen Wirkungen der Kernenergienutzung sowie die im Zuge der energiewirtschaftlichen Prozesse (Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, Energieerzeugung, -transport, -nutzung und -umwandlung sowie Entsorgung bzw. Wiederaufbereitung) auftretenden Negativwirkungen und Probleme (Umwelt- und Gesundheitsbelastungen, Engpässe, Flächeninanspruchnahme, Abhängigkeiten, Gefahren der Gewaltanwendung, verschärfte Ungerechtigkeiten, Entsorgungsprobleme, Kosten(explosionen), Klimaschädigungen, Katastrophengefahren etc.) stellen eine dringende ökologische, soziale und ökonomische Herausforderung für alle gesellschaftlichen Akteure – und hier

¹ Für die umfangreichen Recherchearbeiten, Hinweise und Korrekturhilfen danke ich Frau Dipl.-Kffr. B. Weber, Frau Dipl.-Kffr. S. Brinkel und vor allem Frau Dr. Hesselbarth.

insbesondere auch die Wissenschaft(ler) – dar. Erforderlich sind Beiträge zur Lösung der aufgeführten Begleiterscheinungen der Energieproduktion und -nutzung sowie zur Sicherung der für eine zukunftsfähig-humanistische Bedürfnisbefriedigung benötigten Energiebereitstellung. Die Annahmen, dass die künftige Energieversorgung mit den gegenwärtig vorherrschenden Maximen des Energieeinsatzes möglich sei und dass die resultierenden Probleme als „Preis des Wohlstandes“ hinzunehmen und bezahlbar seien bzw. bleiben, erweisen sich aus folgenden Gründen als falsch:

1. Die zukünftige Energieversorgung ist gefährdet, da mit dem Abschmelzen der Vorräte zunächst Versorgungslücken und Preiserhöhungen und später großflächige und dann vollständige Ausfälle einer fossil basierten Energieversorgung auftreten werden.
2. Die gegenwärtige Art der Energieversorgung führt zu rasant zunehmenden Kosten und Schadensfolgen mit nicht verkraftbaren, tendenziell „unbezahlbaren“ und für die menschliche Zivilisation inakzeptablen Risiken und Wirkungen:
 - (Zer-)störung der natürlichen Kreisläufe und Lebensgrundlagen;
 - (Zer-)störung des sozialen Friedens und zunehmende Ungerechtigkeiten bzw. Armutsausbreitung;
 - Kostenerhöhungen, welche die Ökonomien der Weltwirtschaft partiell und künftig in größerer Breite bedrohen;
 - Krisenverursachungen (Öl-, Klima-, Ressourcen-, Finanz-, Wertekrisen etc.);
 - (weitere) Effektivitätseinbußen durch zurückgehende Produktion.

Die heutige Art der Energieversorgung ist somit nicht zukunftsfähig und bedarf der Korrektur. Ein kurzer historischer Exkurs möge Hauptprobleme der industriellen Energieversorgung demonstrieren:

Im *vorindustriellen* Zeitalter war der Mensch als Naturwesen (Konsument 2. Ordnung) perfekt (nach dem Prinzip „Versorgung durch Entsorgung“) in die natürlichen Kreisläufe integriert. Er nutzte die aus dem Stoffwechsel erwachsene „Eigenenergie“, um über die Aktivierung von Muskelkraft und Sinnesleistungen seine Lebensziele und daraus folgende Lebensprozesse zu realisieren. Die Grenzen des Energieumsatzes bestimmten das Dasein und die ökologische Einbindung und bedingten auch ein gewisses Ausgeliefertsein gegenüber Naturunbilden und -gefahren.

Im *industriellen* Zeitalter nutzt der Mensch neben der Eigenenergie die „Fremdenergie“ aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe, aus Wind- und Wasserkraft etc., um Maschinen und technische Einrichtungen zu betreiben. Damit hebt der Mensch die bisher in Form der Muskelkraft existierenden natürlichen Grenzen des Energieeinsatzes auf. Er vervielfacht seinen Energiezugriff und damit seine Kraft und Möglichkeiten der Bewegung im Raum, der Nahrungsbeschaffung, des Erbeutens von Tieren, der Eingriffsmöglichkeiten in die Natur, der Vermehrung der eigenen Art etc. Der Mensch befreit sich damit von Naturabhängigkeiten, erleichtert sich Arbeit und Existenz und schafft dafür qualitativ und quantitativ neue Lebensmöglichkeiten. Das Hauptproblem ist jedoch, dass der anthropozentrisch fixierte und forcierte, technikgestützte und -getriebene Tiefeneingriff in die Natur mit wachsender Intensität und Wirkmächtigkeit einherging bzw. einhergeht und zunehmende Naturinanspruchnahmen, -belastungen sowie Landschafts- und Naturumgestaltungen hervorruft. Diese führen in wachsenden Wirtschaften tendenziell zur Naturüberbelastung bzw. -zerstörung sowie zum Aufbrauchen der Energievorräte und Regenerationspotenziale.

Bei der Ableitung von Inhalt und Richtung der zur Vermeidung der genannten Gefahren erforderlichen Korrekturen sind folgende Ursachen bzw. Komponenten der Zukunftsdefizite der heutigen Energieversorgung zu beachten:

1. Die stark geldertragsfixierte Nutzung des Energieeinsatzes bzw. die Energiewirtschaft selbst führt tendenziell:
 - zum Einsatz immer wirkmächtigerer Technik mit zunehmend größerer Naturinanspruchnahme und Natur(zer-)störung;
 - zu gravierenden sozialen Problemen (Ungerechtigkeiten, Versorgungsasymmetrien, Versorgungsengpässe etc.).
2. Der damit korrespondierende Wachstumsfokus verschärft die ökologischen und sozialen Probleme (partielle Lösungsbeiträge werden durch die absolute Größenausdehnung der Naturinanspruchnahme und -belastung überkompensiert, wobei auch die Schere zwischen Arm und Reich tendenziell anwächst).
3. Die mit einer geldertrags- und wachstumsfixierten Wirtschaftsweise einhergehenden Impulse und Anreize für das Individualverhalten und die Individualwertungen fokussieren stark auf Egoismus und Technikgläubigkeit. Egoismus erhöht tendenziell den Mengendurchsatz, die Naturinanspruchnahme sowie so-

ziale Konflikte. Von Technikgläubigkeit dominierte Entscheidungen bergen die Gefahr von Problemspiralen, da technikbasierte, geld-, egoismus- und wachstumsfixierte Problemlösungen noch größere Probleme erzeugen können und oft auch erzeugt werden. Im engeren ökonomischen Kontext ist darauf zu verweisen, dass die an den Marktpreisen orientierten energiewirtschaftlichen Prozesse Fehlentscheidungen implizieren. Diese Fehlentscheidungen (Marktversagen) werden dadurch ausgelöst, dass in den Marktpreisen die (kalkulierten) Gesteungskosten (plus Gewinnspanne) enthalten sind, nicht aber die externen Kosten. Externe Kosten sind Kosten, die ein Verursacher (z.B. ein Energieproduzent, -versorger, -transporteur etc.) Dritten aufbürden kann, ohne selbst dafür aufkommen zu müssen (vgl. Abb. 1).

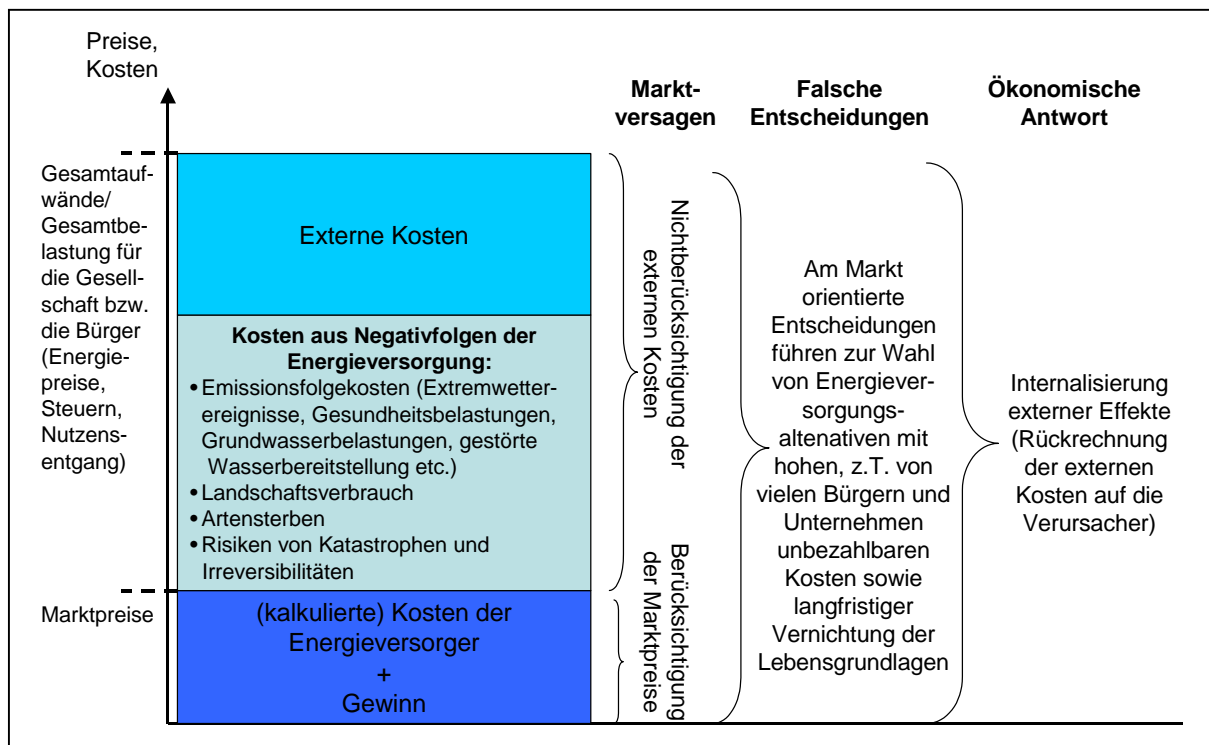


Abb. 1: Das ökonomische Hauptproblem bei der Energieversorgung: falsche Entscheidungen durch Marktversagen
Quelle: H.-U. Zabel.

Im Energiesektor beinhalten externe Kosten u.a. Emissionsfolgekosten (Extremwetterereignisse, Gesundheitsbelastungen, gestörte Wasserbereitstellung etc.), Kosten für Landschaftsverbrauch oder -zerstörung, Kosten aus dem Artensterben etc., die durch nutzungs-, produktions-, transport- oder lagerungsbedingte Emissionen in Boden, Wasser und Luft verursacht werden. Für diese gesellschaftlichen Kosten müs-

sen als Externe die Anwohner, die Bürger, die zukünftigen Generationen, die Pflanzen, Tiere und Ökosysteme „bezahlen“.²

Die Tendenz zum Anstieg der externen Kosten lässt sich am Beispiel des Klimawandels verdeutlichen. Laut dem Stern Report (vgl. Stern 2006) betragen die Schäden aus der Emission klimawirksamer Gase (die insbesondere infolge der Energieerzeugung auf Basis fossiler Brennstoffe entstehen) z.Z. etwa 1 % des weltweiten Brutto-sozialproduktes (BSP). Diese Schäden (Kosten aus Hochwasser, Dürren, Sturmschäden, Ernteaussfällen, Wüstenausbreitung, Artensterben etc.) werden auf 5-20 % des BSP ansteigen, wenn nicht umgehend in wirksamen Klimaschutz investiert wird (Investitionsbedarf ca. 1 % des BSP), was insbesondere auch Investitionen in die Umorientierung der Energieversorgung auf regenerative Energien einschließt.

Das Problem wird weiterhin dadurch marktverzerrend verschärft, dass erhebliche staatliche Subventionen für verschiedene Prozesse und Produkte gewährt werden, die in hohem Umfang externe Kosten verursachen. Würden die Preise die „ökologische Wahrheit“ (Weizsäcker 1989, S. 328) sagen, indem die externen Kosten gegenüber Mensch und Natur Berücksichtigung fänden, würden einige Energiearten ökonomisch unattraktiv und könnten sich am Markt nicht mehr durchsetzen (detaillierter dazu unter 4.).

Zu dem oben angesprochenen mentalen Problem ist anzumerken, dass die Technikgläubigkeit – psychologisch erklärbar – stark verbreitet ist, da diese autosuggestive Kraft in Richtung der Stärkung des Selbstwertgefühles sowie der Abschwächung von Angst entfaltet.

Psychosoziale Mechanismen führen zur Stabilisierung der Technikgläubigkeit, wie beispielhaft demonstriert werden soll:

1. Der Mensch ist genetisch auf Trial-and-Error-Verhalten programmiert. Deshalb neigt er dazu, aus nur wenigen „gut gegangenen Erfahrungen“ zu schlussfolgern, dass das Weitermachen gefahrlos möglich sei (Gefahrenverdrängung). Dies ist vielfältig im Alltag beobachtbar, wie beispielsweise das Eingehen von Anlagerisiken im Finanzwesen trotz des erkennbar anstehenden, dem Schneeballsystem geschuldeten Platzens der Finanzblase, der fortgesetzte

² In der Realität sind einige (wenige) der externen Kosten bereits internalisiert, d.h. über Steuern, Abgaben, Emissionsrechtshandel etc. auf den Verursacher zurückgerechnet.

Ausbau des kriminellen Unterschlagens von Geld trotz der zunehmenden Entdeckungswahrscheinlichkeit bis zu einem fast sicheren Entdecktwerden, das Suggestieren der Sicherheit von Atomkraftwerken oder die Häufigkeit leichtfertiger Überholvorgänge zeigen.

2. Das Involviertsein in Wirtschaftsmechanismen und Lebensstile mit umwelt- und klimaschädigenden Wirkungen führt auch deshalb zu deren Verdrängung, weil man ansonsten eigene Mitschuld eingestehen müsste und sich mitverschuldeten Zukunftsängsten ausgeliefert sähe. Menschen zeigen die Tendenz, beides durch Uminterpretation und Verdrängung zu vermeiden.
3. Bei den „Entscheidern“ in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft werden die Verdrängungsprozesse zudem dadurch forciert, dass bei Problemaakzeptanz Machteinbußen und Selbstachtungsprobleme auftreten (könnten). Mit zunehmender Involviertheit nimmt die Tendenz zur Positivinterpretation der bestehenden, den eigenen Erfolg und Status tragenden Spielregeln und Machtstrukturen zu.

2. Lösungspfad Nachhaltigkeit

Wie bei allen gegenwärtig relevanten Problemen und Krisen globaler Dimension ist auch für das Bewältigen des Energieproblems nur der Lösungspfad Nachhaltigkeit möglich (vgl. Abb. 2).

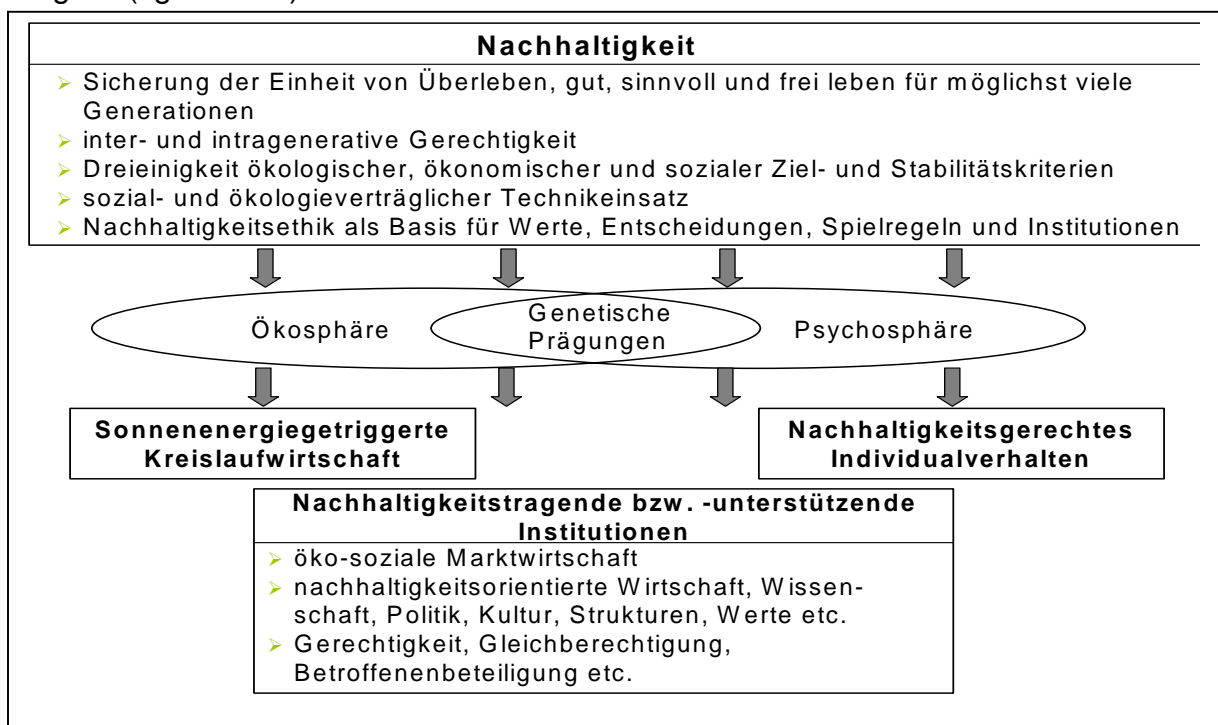


Abb. 2: Zentrale Charakteristika der Nachhaltigkeit
Quelle: H.-U. Zabel.

Dies lässt sich damit begründen, dass Nachhaltigkeit im Kern auf humanistische Bedürfnisbefriedigung und auf die möglichst weitgehende Anwendung des menschlichen Maßes auf alle Kulturbestandteile bzw. Formen menschlichen Zusammenlebens abstellt und dass größere Probleme und Krisen der Menschen bzw. der Menschheit im Kern Humanismusdefizite verkörpern. Diese allgemeine Aussage ist nur bei Untersetzung der Nachhaltigkeitsorientierung hilfreich. Nachfolgende Inhalte/Bestandteile scheinen konstitutiv (vgl. Zabel 2001; Zabel 2006, S. 89ff.):

1. Ziel der Nachhaltigkeit ist die Sicherung der Einheit von Überleben, gut, sinnvoll und frei leben für eine möglichst hohe Zahl an Generationen.
2. Ein wesentlicher Fokus ist die inter- und intragenerative Gerechtigkeit.
3. In die Entscheidungsprozesse sind Ziel-, Stabilitäts- und Entfaltungskriterien der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimensionen einzubeziehen, wobei die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen oberste Priorität hat (Primat der Ökologie).
4. Die Fokussierung auf quantitatives Wachstum ist durch eine Orientierung auf qualitatives Wachstum zu ersetzen.
5. Es sind vorrangig regenerative Energien und Ressourcen im Rahmen einer sonnenenergiebasierten Kreislaufwirtschaft einzusetzen, um zukünftig Verfügbarkeit, Effektivität und Effizienz zu sichern.
6. Die Formen des Zusammenlebens fußen auf einem genetisch auf Lebensdienlichkeit geprägten Mix aus Egoismus und Altruismus und in diesem Rahmen auf Gerechtigkeit, Mitmenschlichkeit, dem Seinsmodus (vgl. Fromm 1976), Friedfertigkeit und Toleranz.
7. Als flankierende Institutionen wirken vor allem: öko-soziale Marktwirtschaft, sozial und ökologisch orientierter Technikeinsatz, Demokratie, Rechtsstaatlichkeit sowie Ökologie- und Sozialorientierung von Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.

Bezogen auf die o.g. Problemfelder der Energieversorgung kann Nachhaltigkeit wie folgt als Lösungspfad aktiviert werden:

1. Die aus der zu starken Geldertragsfixierung resultierenden Probleme lassen sich durch die Integration ökologischer und sozialer Kriterien lösen.
2. Die aus der Fixierung auf quantitatives Wachstum resultierenden Probleme können durch die Orientierung auf Kreislaufwirtschaft und qualitatives Wachstum bewältigt werden.
3. Die mentalen bzw. psychosozialen Probleme lassen sich durch die der Nachhaltigkeit inhärenten Entscheidungsprozeduren, Anreize, Institutionen und Werte abbauen (vgl. obige Charakteristika).

Zur Untermauerung der Aussage, dass die Bewältigung der Energieprobleme (ebenso wie aller anderen global relevanten Probleme und Krisen) in der Umstellung der Produkte, Prozesse, Entscheidungen, Institutionen und Verhaltensweisen auf Nachhaltigkeit liegt, werden nachfolgend die Wesensmerkmale der Nachhaltigkeit konkret auf das Feld der Energieversorgung angewendet.

3. Beurteilung einzelner Energiearten anhand zentraler Nachhaltigkeitskriterien

Nachfolgend werden die Wesensmerkmale der Nachhaltigkeit bezogen auf die Energieversorgung in einem Kriterienkatalog abgebildet. Dieser Kriterienkatalog erlaubt die nachhaltigkeitsgerichtete Beurteilung einzelner, gegenwärtig genutzter Energiearten und die Einschätzung ihrer Einsatzmöglichkeiten, Grenzen und Potenziale in Bezug auf zukünftige Nutzungen. Daneben können Aussagen zu Übergangspfaden in die Zukunft sowie zu Herausforderungen bzw. Forschungen für zukünftige Energieversorgungssysteme abgeleitet werden. Die Bewertung erfolgt durch die Abbildung von Wirkungen auf Werteskalen mithilfe von Kriterien, wobei die gegenwärtig bekannten Chancen und Probleme Berücksichtigung finden. Es wird eine Ordinalskalierung verwendet, um mithilfe des Kriterienrasters Einschätzungen und Entscheidungen zu fundieren, ohne gleichzeitig den Gefahren problematischer Operationalisierung und Aggregation zu erliegen.

Die verwendete Ordinalskalierung enthält folgende Bewertungen:

„–“: sehr schlecht, inakzeptabel bzw. mit größeren Problemen behaftet, dringender Handlungsbedarf

- „–“: schlecht, problematisch, Änderungen bzw. Modifizierungen sind – zumindest partiell – wünschenswert
- „0“: neutral, keine dramatischen Folgen, Restprobleme
- „+“: tendenziell positiv, Reserven sind vorhanden
- „+ +“: sehr positiv, kaum Probleme, günstige bzw. weitgehend optimale Problemlösung

Hinweis: Eine Bewertung mit +/- erfolgt, wenn die Wirkungen in Abhängigkeit von Art und Bedingungen des Einsatzes sowohl positiv als auch negativ sein können.

Die folgenden fünf Bewertungsklassen bilden das Grundraster der Kriterienbildung:

1. Friedfertigkeit/Katastrophenschutz
2. Internationale Gerechtigkeit/Armutsbekämpfung
3. Ökologische Verträglichkeit
4. Soziale Verträglichkeit
5. Ökonomische Wirkungen

In Abb. 3 wird die Beurteilung folgender Energiearten anhand der o.g. Grundskalierung vorgenommen:

- a) Kernenergie
- b) Kohlebasierte Energieerzeugung
- c) Windenergie
- d) Biomasse
- e) Solarenergie (Photovoltaik und Solarthermie)

Bewertungskategorie	Kern-energie	Kohle	Wind-energie	Bio-masse	Solar-energie
A) Friedfertigkeit/Katastrophenschutz					
• Gefahrenpotenzial durch Terrorangriffe	--	+	+	+	++
• Aufbau von Bedrohungs- und Zerstörungspotenzialen	--	-	+	+	++
• Verwundbarkeit der Energieversorgung durch kriegerische Handlungen/Angriffe	--	-	+	+	+
• Gefahr katastrophaler bzw. tödlicher Unfallfolgen	--	-	+	0	++
• Gefahr von Katastrophen aus nicht intendierten Fehlhandlungen (Flugzeugabsturz, Fehlbedienungen, Verkehrsunfälle etc.)	--	-		+	+
• irreversible Gesundheitsschäden	--	-	+	0	++
B) Internationale Gerechtigkeit/Armutsbekämpfung					
• Gefahr zukünftiger Katastrophen („Zeitbomben“)	--	-	++	0	++
• Beiträge zum Abbau des Nord-Süd-Gefälles bzw. zur Armutsbekämpfung	--	--	++	0	++
• nachhaltigkeitsgerechte entwicklungspolitische Impulse durch Technologietransfer (Capacity building, Regionalwirtschaft, Wissensaufbau etc.)	--	--		++	+

C) Ökologische Verträglichkeit					
• klimaschädliche CO ₂ -Emissionen	++	--	++	+	++
• sonstige Schadstoffemissionen	++	-	++	+/-	++
• Lärmemissionen	++	+	0	+/-	++
• negative Wirkungen auf die genetische Substanz von Lebewesen	--	+	++	+/-	++
• Biodiversität	--	-	0	+/-	++
• Landschaftsverbrauch	+/-	---	0	-	+
• Wasserverbrauch/-beeinträchtigung	-	---	++	-	+
• Störung/Schädigungen natürlicher Kreisläufe	--	-	+	+/-	++
• Vergiftungsmöglichkeiten von Boden, Wasser, Luft und Lebewesen	--	-	++	+/-	++
• Altlasten	--	-	++	+/-	++
D) Gesellschaftliche Verträglichkeit					
• generationsübergreifende Bedrohung von Leben und Gesundheit der Menschen	--	-	+	+/-	++
• Belastungen von Gesundheit und Wohlbefinden	--	-	0	+/-	++
• Wirkungen des Prozesses der Anlagenerstellung und -betrieubung	--	-	0	+	0
• Abprodukte/Altlasten	--	---	+	+/-	+
• bezahlbarer Energiezugang (bei Beachtung externer Kosten und humanistischer Lebensstilentfaltung)	--	---	+	+	++
• Regionalbezug	--	---	+/-	+/-	++
• Gerechtigkeitsbeiträge (Versorgungs- und Verteilungsgerechtigkeit)	--	---	+	+/-	++
• Mitbestimmung/Entscheidungspartizipation	--	---	+/-	+/-	++
• Folgewirkungswissen/Technikfolgenabschätzung	--	-	+	+	+
• längerfristige Sicherung des Ressourcenzugriffes	--	---	++	+/-	++
• Risikoarmut des Ressourcenzugriffes (insbes. im Kontext internationaler Abhängigkeiten)	--	-	++	+	++
• Errichtungsdauer der Energieerzeugungsanlagen	--	---	+	+	++
• Arbeitsbedingungen, Arbeitsinhalte, Arbeitsgefährdungen der Beschäftigten	--	-	+/-	+/-	+
• Belastungen durch Lärm, Geruch, Strahlung, Schattenwurf	--	-	-	+/-	++
• Belastung durch massive Störungen eines naturnahen bzw. natürlichen Landschaftsbildes	--	-	-	+	+
E) Ökonomische Wirkungen					
• Arbeitsplatzeffekte/Stärkung des Mittelstandes	--	-	+	+	+
• Gefahr von Monopolisierungstendenzen	--	---	+	+/-	+
• externe Kosten und Vermeidungskosten in der Entsorgungsphase	--	---	+	+/-	+
• externe Kosten der Energieproduktionsphase	-	-	+	+/-	++
• externe Kosten der Anlagenerstellungsphase	-	-	-	+	+/-
• relative Kosten der Anlagenerstellung	--	---	+	+/-	+/-
• relative Kosten der Anlagenbetrieubung	+/-	+	+	+	++
• Inanspruchnahme von Subventionen	--	-	-	+/-	-
• Folgekosten aus evtl. mutwilligen Angriffen und Zerstörungen der Energieerzeugungsanlage	--	---	+	+	++
• Ausfallfolgekosten (Havarien, Fehlbedienungen, Probleme beim Ressourcenzugriff)	--	---	+	+	++
• Investitionen in der Errichtungsphase (abhängig u.a. von der Länge der Errichtungsphase)	--	---	+	+	+
• Amortisationsdauer der Investitionen	--	---	+	+	+
• Nutzenstiftung aus der Energieproduktion für die Konsumenten (Preise, externe Effekte)	--	-	+	+	+
• Möglichkeiten für Monopolgewinne/Umwerteilung zu Lasten der Gesellschaft	--	---	+/-	+/-	+
• Haftungsrisiken	--	+	+	+/-	++

Abb. 3: Nachhaltigkeitsorientierte Bewertung zentraler Energiearten
Quelle: H.-U. Zabel.

Die Einzelbewertungen basieren auf der Berücksichtigung zahlreicher Charakteristika und Fakten zu einzelnen Energiearten bzw. zu Gruppen von Energiearten.

Gruppenaussagen:

1. Eine Energieerzeugung auf Basis von *Verbrennungsprozessen* verursacht kritische Emissionen (Klimawandel, Gesundheitsgefährdungen, Artensterben etc.).
2. Die *großtechnologische Energieerzeugung* (Großkraftwerke) ist besonders gefährdet z.B. durch terroristische Angriffe und menschliches Versagen (Bedienfehler, Flugzeugabstürze etc.). Bei Störungen besteht die Gefahr von großflächigen Ausfällen der Energieversorgung.

Der Kapitalbedarf für zentrale, großtechnologische Formen der Energieerzeugung ist sehr hoch. Dies stellt ein zentrales Hindernis für den Aufbau bzw. die gerechte Nutzung in Entwicklungsländern dar, wodurch der Abbau des Nord-Süd-Gefälles, die Armutsbekämpfung und der Technologietransfer behindert werden. Es bestehen Monopolisierungsgefahren und gravierende Abhängigkeiten (politische Erpressbarkeit, Ressourcenzugriff etc.). Lokaler Flächenverbrauch und lokale Belastungen treten ebenso auf wie Großunfallgefahren und Zukunftsrisiken.

3. *Fossile Energieträger* stehen nur noch begrenzte Zeit zur Verfügung. Bei der Fokussierung auf nicht regenerative Energien entstehen politische Abhängigkeiten und Erpressbarkeiten sowie spekulationsbedingte Probleme. Die Nutzung fossiler Energieträger ist mit den unter 1. genannten Problemen bzw. den unter 2. aufgeführten Gefahren der großtechnologischen Anwendung verbunden. Mit zunehmender Knappheit sind z.T. drastische Preiserhöhungen zu erwarten, die Marktausschlusswirkungen entfalten können. Menschen bzw. Menschen- und Unternehmergruppen werden ihres Zugriffs zu Energie – und damit oftmals gleichzeitig ihrer Existenz – beraubt. Es ist mit einem „industriellen Massensterben“ insbesondere von Klein- und Mittelunternehmen zu rechnen.
4. *Flächenintensive Energiearten* (Biomasse, Wasserkraft, Kohle, ggf. Windenergie) beanspruchen je erzeugter Kilowattstunde (kWh) eine große Fläche. Durch relativ großflächige Versiegelungen bzw. energiebedingte Flächen-

inanspruchnahmen geht Boden für alternative Nutzungen wie Nahrungsgüterproduktion, Erholung, Naturschutz, Waldbau, Wohnen etc. verloren. Außerdem bestehen Gefahren von Monokulturen mit ökologischen und sozialen Negativwirkungen.

Diese grundlegenden Gruppenaussagen sind durch spezifische Aussagen zu den Energiearten zu ergänzen. Nachfolgend wird eine Auswahl der in der o.g. Kriterienbewertung berücksichtigten und die Gruppenaussagen ergänzenden Fakten dargestellt.

Kernenergie (vgl. auch SRU 2000, UBA 2001):

- Der Uranbergbau verursacht gravierende (auch langfristig wirkende) Gesundheits- und Vergiftungsgefahren (allein in der DDR soll der Uranbergbau ca. 7.000 Todesopfer gefordert und ca. 1.500 km² Fläche über Jahrtausende verseucht haben [vgl. Beleites 1992]).
- Die Uranvorräte sind in ihrer Reichweite auf etwa 40-50 Jahre begrenzt (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften 2008, S. 15-16).
- Kernenergie birgt erhebliche GAU-Gefahren durch Terrorangriffe, Kriege, Flugzeugabstürze, Fehlbedienungen, technische Mängel etc.
- Es bestehen beträchtliche Gefahrenpotenziale aus dem Missbrauch der Urananreicherung für Atombomben.
- Die Atommülllagerung ist mit gravierenden, langfristig steigenden Gefahren verbunden.
- Die Kernenergie belastet in enormem Umfang die öffentlichen Haushalte. Allein in der BRD wurde die Atomenergie im Zeitraum 1956 bis 2006 mit 40,2 Mrd. € subventioniert (vgl. Diekmann/Horn 2007, S. 19). Unter Berücksichtigung der externen Kosten (einschließlich der Versicherung von Reaktor-katastrophen) ist die Atomenergie mit ca. 2 €/kWh die weitaus teuerste Energie, die Folgekosten für Rückbau und Endlagerung sind gravierend und ein „Fass ohne Boden“ (vgl. Gruber 1996, S. 79; Prognos AG 1992).

Kohleenergie:

- Kohle ist der einzige im größeren Umfang vorhandene heimische Energieträger, womit eine geringe Importabhängigkeit und eine relativ hohe Versorgungssicherheit verbunden sind. Die Reichweite der weltweiten statistischen Reserven

beläuft sich bei heutigem Fördervolumen auf ca. 140 Jahre (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften 2008, S. 15-16).

- Kohlekraftwerke sind grundlastgeeignet und leisten z.Z. einen großen Beitrag zur Stromerzeugung in Deutschland (2007: ca. 44 % [vgl. BMWi 2008]). Die Kohleverstromung ist gegenwärtig mit günstigen Gestehungskosten von ca. 5,2 Cent/kWh verbunden, allerdings sind hierbei die hohen gesellschaftlichen/externen Kosten (insbes. die Klimaschädlichkeit) nicht bzw. nur minimal berücksichtigt.
- Kohle verursacht im Vergleich zu anderen Energieträgern die höchsten CO₂-Emissionen (vgl. Abb. 4). Steinkohle weist zwar eine etwas geringere CO₂-Intensität auf, geht jedoch mit erhöhten NO_x- und SO₂-Emissionen einher.

Energieträger	CO₂-Emissionen (in Tonnen je TJ)
Braunkohle (Lausitz)	113
Steinkohle (Ruhr)	93
Heizöl (leicht)	74
Erdgas	55
Biogas	0

Abb. 4: CO₂-Emissionsfaktoren unterschiedlicher Energieträger
Quelle: Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHST) 2004, S. 1.

- Die Nutzung kohlebasierter Energieerzeugung führt zu erheblichen gesellschaftlichen Schäden in Form von Klimabeeinträchtigungen, Landschaftszerstörung, verringerter Lebensqualität, Transportemissionen etc.
- Kohlekraftwerke sind eine ineffiziente Form der Energieerzeugung: In Deutschland erreichen bestehende Kraftwerke lediglich geringe Wirkungsgrade von durchschnittlich 38 % (vgl. Schilling 2004, S. 5).
- Die Energieerzeugung aus Kohle wird in hohem Maße subventioniert. Allein für die Braunkohleindustrie werden ca. 4.500 Mio. Euro pro Jahr an öffentlichen Geldern aufgewendet (vgl. Wuppertal Institut 2004, S. 60).
- Kohlekraftwerke sind prinzipiell mit der CCS-Technologie nachrüstbar (CCS – Carbon Capture and Storage; Abtrennung des entstehenden CO₂ und geologische Speicherung). Diese Technologie ist jedoch mit erheblichen, bisher nur

teilweise bekannten ökologischen Risiken, Altlasten für kommende Generationen, Wirkungsgradverlusten von Kraftwerken, beträchtlichen Restemissionen, erhöhten Stromgestehungskosten sowie strukturkonservierenden Wirkungen verbunden (vgl. Goerne 2005; Hesselbarth 2009; Ploetz 2003).

- Auch bei ggf. zu erwartenden wissenschaftlich-technische Weiterentwicklungen etwa bezogen auf Wirkungsgradverbesserungen sowie Nachsorgetechnologien bleiben die gravierenden Probleme der Nichtnachhaltigkeit/ Nichtzukunfts-fähigkeit (versiegender Zugriff/ tendenziell steigende Rohstoffpreise, hohe externe Kosten, hoher Subventionsbedarf, Zentralisierungseffekte) prinzipiell bestehen.

Windenergie:

- Windenergieanlagen nutzen die durch unterschiedliche Luftdruckverhältnisse in der Nähe der Erdoberfläche entstehende Bewegungsenergie des Windes, wobei sie in Deutschland ausschließlich zur netzgekoppelten Erzeugung von Elektrizität eingesetzt werden.
- Vorteilhafte Standorte für Windkraftanlagen an Land scheinen weitgehend ausgeschöpft. Um den Ausbau der Windenergienutzung in Deutschland weiter auf hohem Niveau fortzusetzen, ist neben dem Ersatz kleinerer Altanlagen durch moderne und leistungsstärkere Windenergieanlagen (Repowering) insbesondere eine schrittweise Erschließung geeigneter Standorte auf See (Offshore-Windkraft) angedacht bzw. in Arbeit.
- Die Windenergienutzung ist insbesondere bei Standorten an Land mit gewissen ökologischen Problemen und sozialen Spannungsfeldern behaftet. Oftmals sind jedoch ebenfalls Lösungsansätze vorhanden, die bei einer entsprechenden technischen und planerischen Gestaltung zur Problementschärfung beitragen können (vgl. BMU 2006, S. 18ff.):
 1. Reduktion des Schattenwurfes durch Abschaltautomatik sowie Einhaltung gesetzlicher Schwellenwerte (30 Minuten täglich bzw. insgesamt max. 30 Stunden/Jahr);
 2. Verminderung des Disco-Effektes (Reflexion) durch matte Farbgebung;
 3. Reduktion des Geräuschpegels durch Einhaltung der TA-Lärm, Abstandsregeln sowie Modifikation der Blattspitze, der Blatthinterkante und des Anstellwinkels;
 4. Verringerung des Eiswurftrisikos durch Warnbeschilderung sowie automatische Abschaltung bei Eisansatz;

5. Reduktion der Flächenversiegelung: Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2005 ca. 23.000 km² Boden und somit lediglich 0,03-0,06 % der versiegelten Flächen durch Windenergieanlagen beansprucht. Eine weitere Bodeninanspruchnahme kann durch die forcierte Offshore-Nutzung vermieden werden.
- Für Windkraftanlagen werden oftmals negative Wirkungen auf den Vogelzug und Wildtierbestände vermutet. Während gewisse Unfallgefahren für Greifvögel (insbesondere Seeadler und Rotmilane) in der Nähe von Gewässern und Feuchtgebieten bestehen, lassen sich innerhalb einiger Untersuchungen negative Effekte auf Brutvogel- und Wildtierbestände bisher nicht nachweisen (vgl. BMU 2006; Höttker/Thomsen/Köster 2004). Einzelbeobachtungen kommen jedoch zu gegenteiligen Befunden (etwa in der Jagdfachpresse).

Biomasse (vgl. Hennicke/Fischedick 2007; Höfken 2007, S. 161ff.; dena 2009):

- Biomasse wird in Form biogener Brennstoffe zur Stromerzeugung (2007 ca. 3,7 % Anteil am Bruttostromverbrauch) und Wärmebereitstellung (2007 ca. 7 % an der gesamten deutschen Wärmebereitstellung) eingesetzt und in Form biogener Kraftstoffe (7,3 % Anteil am deutschen Kraftstoffverbrauch im Jahr 2007) genutzt. Biomasse trägt unter den erneuerbaren Energien mit ca. 71,5 % den größten Anteil zur regenerativen Energiebereitstellung (Strom, Wärme, Kraftstoffe) bei (vgl. BMU 2008, S. 7).
- Die Verbrennung von Biomasse erfolgt CO₂-neutral; jedoch entstehen infolge der Transport- und Energieerzeugungskette (Sammlung, Aufbereitung, Lieferung etc.) gewisse THG-Emissionen. Zudem können bei schlecht eingestellten Biomasseheizungen und -kraftwerken erhöhte Schadstoffemissionen (Stickoxide, Rußpartikel, Schwefelverbindungen etc.) auftreten.
- Die Gefahrenpotenziale und Unfallrisiken sind bei Biomasseanlagen relativ gering; i.d.R. bestehen erheblich niedrigere Umweltrisiken als bei fossilen Energieträgern.
- Die Nutzung heimischer Biomasse erfolgt dezentral, wodurch die regionale Wertschöpfung gestärkt, Arbeitsplätze geschaffen und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert wird. Dagegen sind bei Importen von Biomasse oder Biokraftstoffen erhebliche negative ökologische und soziale Wirkungen zu erwarten (Beeinträchtigung subtropischer und tropischer Lebensräume, Transportemissionen etc.).

- Eine intensivierte Biomassenutzung steht in Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion; insbesondere bei Monokulturen und erhöhtem Düngemittel- und Pestizideinsatz treten vermehrt gesundheitliche und ökologische Risiken auf (Artenvielfalt, Grundwasser, Bodendegradation etc.).
- Eine ökologisch und sozial verträgliche Bioenergienutzung erfordert international verbindlicher Standards und Zertifizierungen, um potenziell nachhaltigkeitsfeindlichen Entwicklungen in diesem Bereich entgegenzuwirken.

Solarenergie:

- Die Stromerzeugung auf Basis der Photovoltaik (PV) verzeichnet in Deutschland bei einem gegenwärtig noch niedrigen Niveau (insgesamt 0,5 % des Bruttostromverbrauches) hohe Wachstumsraten von ca. 40 % im Jahr 2007 (vgl. BMU 2008, S. 7; BMU 2007, S. 22). Im Bereich der Wärmeerzeugung durch Solarthermieanlagen sind nach dem Zubau von ca. 1 Mio. m² Kollektorfläche im Jahr 2007 gegenwärtig 9,6 Mio. m² Kollektoren installiert, wodurch 0,3 % des gesamten Endenergieverbrauches erzeugt werden.
- Als größte und nach menschlichen Vorstellungen nahezu unbegrenzte Energiequelle liefert die Sonne pro Jahr eine Energiemenge von ca. $3,9 \cdot 10^{24}$ J (ca. $1,08 \cdot 10^{18}$ kWh) auf die Erdoberfläche. Diese Energiemenge entspricht etwa dem 10.000-fachen des Weltprimärenergiebedarfs.
- Die i.d.R. dezentrale Solarenergieerzeugung reduziert Leitungsverluste, energiepolitische Abhängigkeiten sowie das Risiko großflächiger Versorgungsausfälle und trägt zu regionaler Wertschöpfung bei.
- Erforderlich ist der Aufbau effektiver Speicherkapazitäten für die wetter-, tages- und jahreszeitabhängige Solarenergieerzeugung, womit Wirkungsgradverluste und Infrastrukturkosten verbunden sind.
- Gegenwärtig wird die Stromerzeugung durch PV-Anlagen durch feste Einspeisevergütungen des EEG subventioniert, wobei die Mehrkosten (2008 ca. 1 Mrd. Euro) auf die Verbraucher umgelegt werden. Die Vergütungssätze sinken jährlich um 5-6,5 %, nach der Novelle des EEG ab 2009 sogar um 8-10 % (vgl. §§ 32-33 EEG 2009).
- Infolge technischer Innovationen, weiterer Wirkungsgradsteigerungen und wachsender Märkte sind die Gestehungskosten für Strom aus PV-Anlagen stark gesunken; die Netzparität (Konkurrenzfähigkeit zu konventionellem Strom ohne

Subventionierung) wird in wenigen Jahren (ca. 2012) erwartet (vgl. Englaender 2009).

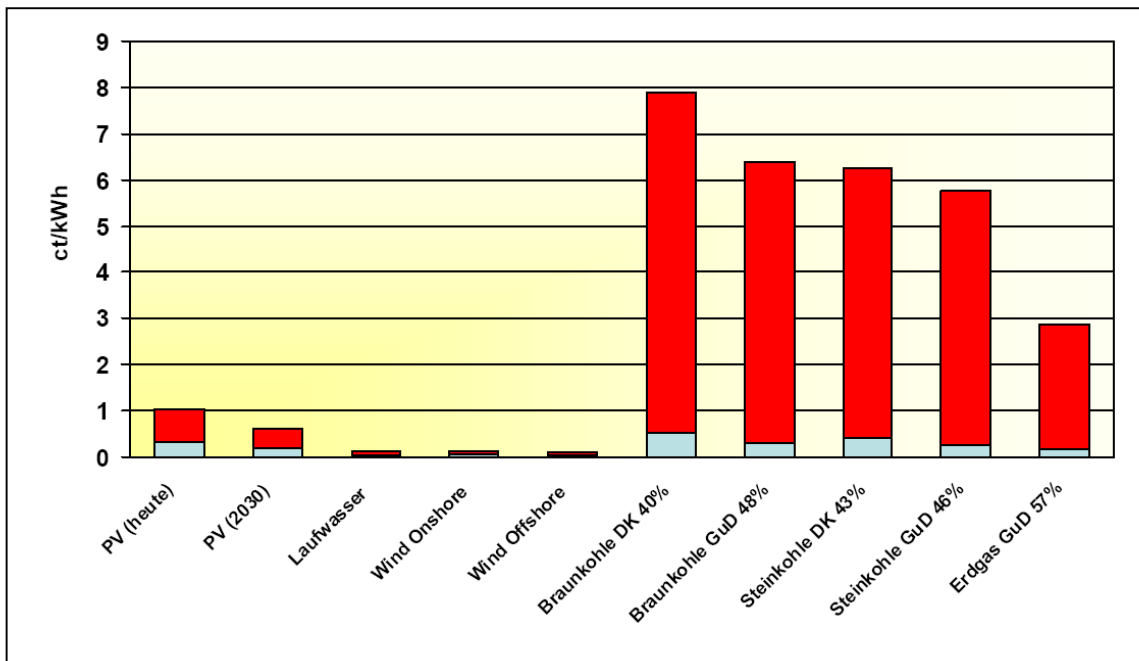
- Die Nutzung der Solarenergie setzt keine Treibhausgase oder sonstige Schadstoffe frei; jedoch werden bei der Herstellung von Modulen bzw. Kollektoren in gewissem Umfang Energie, Wasser und Chemikalien in Anspruch genommen und Emissionen verursacht. Die energetische Amortisationszeit von PV-Anlagen liegt jedoch bei lediglich 1,5 bis 3,5 Jahren, sodass bei einer Lebenszeit von ca. 20-40 Jahren eine deutlich positive Energiebilanz zu verzeichnen ist (vgl. Alsema/Wild-Scholten/Fthenakis 2006).

4. Schlussfolgerungen für einen nachhaltigkeitsorientierten Energiemix

Bezogen auf eine nachhaltigkeitsgerechte Energieversorgung lassen sich aus den o.g. Anforderungen sowie den Bewertungsergebnissen der genannten Energiearten folgende generelle Aussagen ableiten:

1. Die Energieeinsparung ist eine wesentliche Säule nachhaltiger Energieversorgung, da der Energieverbrauch (absolut und spezifisch) an ein naturverträgliches Maß anzupassen ist (vgl. die Aussagen zur Energienutzung im Industrialismus unter 1.).
2. Das schließt die Erkenntnis ein, dass die Probleme der Energieversorgung im Rahmen von (verabsolutierter) Technikgläubigkeit und durch technische Vollkommenungen der gegenwärtigen problemverursachenden Energieerzeugungs- und -nutzungspfade nicht bzw. nicht nachhaltigkeitsgerecht lösbar sind. Es sind vielmehr Änderungen der Lebensstile nötig (Huber [1995] spricht von der *Suffizienzstrategie*, die neben die Effizienz- und die Konsistenzstrategie zu stellen ist).³
3. Bei der Wahl der Energieversorgung sind die *externen Kosten* einschließlich der zukünftigen Kosten zu berücksichtigen. Die externen Kosten fossiler Energieträger sind vergleichsweise sehr hoch und betragen tendenziell ein Vielfaches der externen Kosten regenerativer Energien (vgl. Abb. 5).

³ Im Gegensatz zu herkömmlichen Auffassungen führt Suffizienz nicht automatisch zur Einschränkung der Lebensqualität. Wie die „Glücksforschung“ belegt, sind vielmehr deutliche Lebensqualitätsteigerungen möglich, da diese (abgesehen von einer Grundversorgung) nicht vom Haben abhängt. Vielmehr erweisen sich intensive, emotionale Nahkontakte mit anderen Menschen (auf Basis von Liebe, Freundschaft, Solidarität, sinnstiftenden Aktivitäten etc.) sowie Naturbegegnungen als höchst relevant.



PV: Photovoltaik
 DK: Dampfkraftwerk
 GuD: Gas- und Dampfkraftwerk

Abb. 5: Externe Kosten der Stromerzeugung für verschiedene Stromerzeugungsoptionen
 Quelle: DLR/ISI 2006, S. 2.

Aufgrund der erheblichen externen Kosten fossiler Energieträger sind die Gesamtkosten der erneuerbaren Energien (Gestehungskosten plus externe Kosten) mittlerweile wettbewerbsfähig bzw. bewegen sich auf die Konkurrenzfähigkeit zu (vgl. Abb. 6).

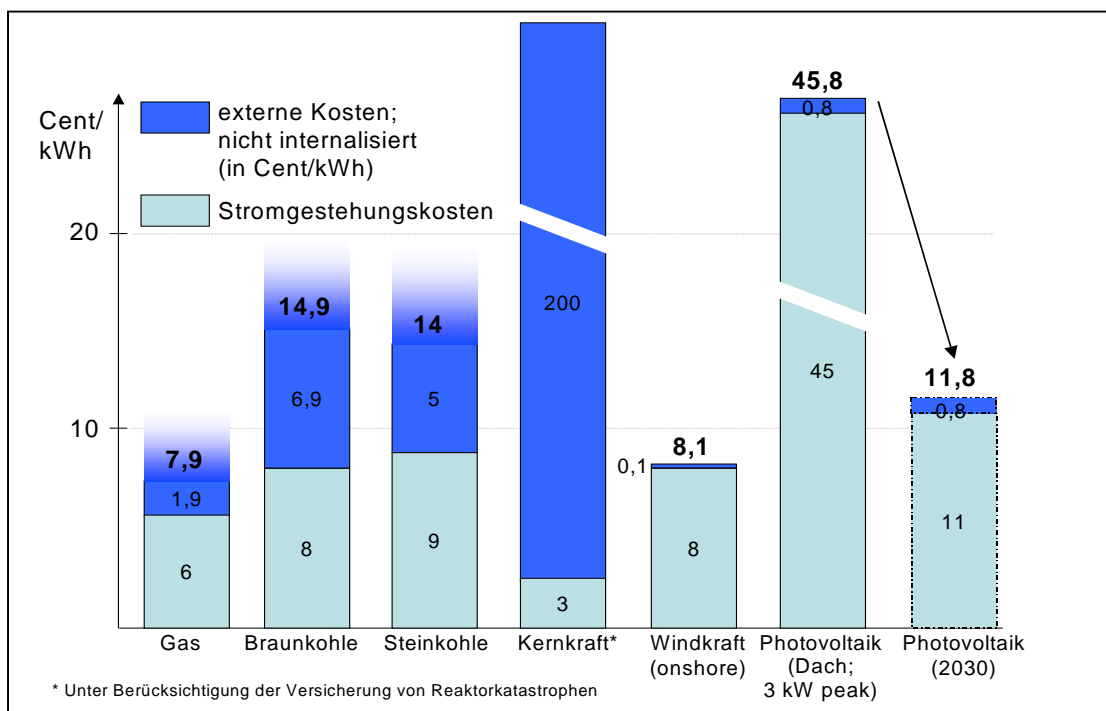


Abb. 6: Vergleich der Gesamtkosten fossiler und regenerativer Energien (2006/2007)
 Quelle: Eigene Abbildung nach UBA 2007, S. 5; Ziesing 2004; Staiß 2007; DLR/ISI 2006.

In Bezug auf die Beurteilung der Nachhaltigkeitsgerechtigkeit der verschiedenen Energieerzeugungsoptionen sind folgende Fakten zu beachten:

- Die externen Kosten aus der Emission von Luftschadstoffen bzw. Kohlendioxid sind bei der Kernenergie vergleichsweise gering. Dennoch verursacht diese infolge der o.g. (Schadens-)Folgekosten die bei Weitem höchsten externen Kosten (ca. 2 €/kWh), sodass die Kernenergie trotz der sehr geringen Gestehungskosten von 3 Cent/kWh (auch) ökonomisch absolut die schlechteste Alternative darstellt.
- Gegenüber den in Abb. 6 berücksichtigten, gegenwärtig hinreichend kalkulierbaren externen Kosten der fossilen Energieträger sind weitere und tendenziell steigende externe Kosten zu berücksichtigen. Aufgrund von Erfassungs-, Abgrenzungs- und Bewertungsproblemen sind bereits die gegenwärtigen externen Kosten nur unzureichend bestimmbar und vernachlässigen tendenziell nur schwer monetarisierbare gesellschaftliche Wirkungen. Die Berechnung der (mit großer Wahrscheinlichkeit weiter ansteigenden) Kosten künftiger Schädigungen unterliegt zunehmender Unsicherheit.
- Die Gestehungskosten fossiler Energien werden infolge des knappheitsbedingten Anstieges der Preise für fossile Rohstoffe künftig deutlich ansteigen (vgl. Sachs u.a. 2009).
- Es ist zu erwarten, dass die Gestehungskosten regenerativer Energien deutlich fallen werden. Ursächlich dafür sind einerseits der kontinuierliche technische Fortschritt im Bereich erneuerbarer Energieerzeugungstechnologien⁴ und andererseits die *Economies of Scale*, d.h. die Lern- und Kostendegressionseffekte bei erhöhten Stückzahlen.
- Die Entwicklung der Kosten/Preise zugunsten der regenerativen Energieerzeugung wird durch politische Interventionen unterstützt (Ökosteuern bzw. Emissionszertifikate, Einspeisevergütungen gemäß EEG etc.).

⁴ Insbesondere bei der Photovoltaik sind schnell fortschreitende technische Entwicklungen zu verzeichnen, die billigere Materialien, höhere Wirkungsgrade sowie effizientere und effektivere Herstellungstechnologien hervorbringen. Neue Dünnschichtlösungen, die Nachbildung der Photosynthese und verbesserte Wirkungsgrade lassen die Gestehungskosten deutlich sinken, sodass bereits im Jahr 2012 die Konkurrenzfähigkeit der Photovoltaik ohne Subventionierung (Netzparität) erwartet wird (vgl. Englaender 2009).

- Bei fossilen Energieträgern besteht die Gefahr des sprunghaften Anstiegs der externen Kosten durch Schadensereignisse (Havarien, Freisetzung bei der [End-]Lagerung bzw. unterirdischen Speicherung etc.).

Insgesamt ergibt der umfassende Kostenvergleich das in Abb. 7 dargestellte Bild.

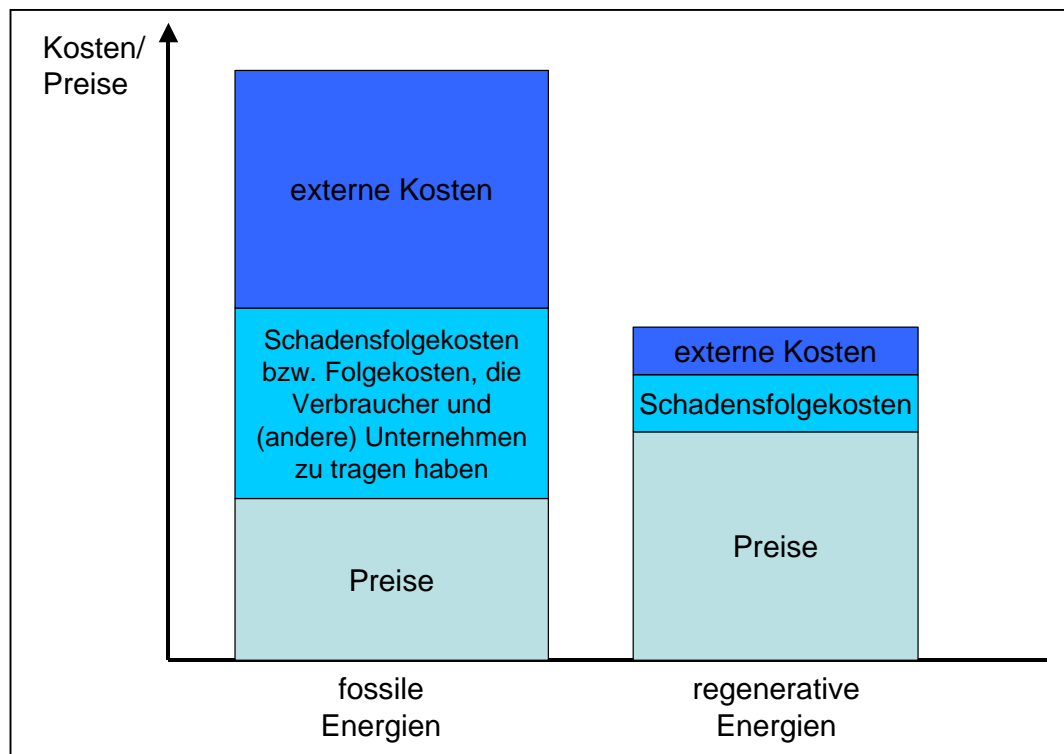


Abb. 7: Ökonomischer Vergleich fossiler und regenerativer Energien
Quelle: H.-U. Zabel.

4. Jede Energieart hat gegebenermaßen Vor- und Nachteile. Akzeptabel ist eine Energieart nur dann, wenn:
 - diese Nachteile Nachhaltigkeitsziele nicht gefährden (in der obigen Beurteilung darf keines der relevanten Kriterien eine endgültige Bewertung mit „–“ aufweisen);
 - die Nachteile durch die Vorteile mindestens kompensiert oder ggf. überkompensiert werden.
5. Der Aufbau einer zukunftsfähig-nachhaltigen Energieversorgung ist ein *Prozess* (Übergangspfad) mit einem erwünschten Sollzustand.
Der *Sollzustand* nachhaltiger Energieversorgung ist durch fossile Energieträger nicht zu erreichen. Er bedarf vielmehr des Auf- und Ausbaus regenerativer Energien (genauer weiter unten). Der Übergangspfad zu einer nachhaltigen

Energieversorgung benötigt auch die Einbeziehung fossiler Energien, wobei deren Einsatz auf die Flankierung der zügigen Umstellung zu regenerativen Energieträgern gerichtet sein muss (keine verzögernden Pfadverlängerungen durch partiellen Ausbau).

6. Der Energiemix des Übergangspfades muss:

- irreversible bzw. nicht akzeptable Gegenwartsschäden und Zukunftsrissen vermeiden bzw. Risikopotenziale zügig und geordnet abbauen;
- einen möglichst effektiven und effizienten Umstieg vom fossilen zum solaren Pfad gewährleisten;
- den schrittweisen und ausgewogenen Einsatz aller regenerativen Energieträger einbeziehen (ggf. in Ausbaustufen und mit Restriktionen – näher unter 5.)
- ein der Struktur der tatsächlichen Energienachfrage angepasstes Angebotsprofil und somit einen zunehmenden Anteil an niedrigsyntropischer Energie sichern (vgl. Göllinger 2008, S. 332);
- von einem intelligenten Lastmanagement, adäquaten Infrastrukturmaßnahmen, Leit- und Automatisierungstechnologien sowie Anreiz- und Steuerungsmechanismen flankiert sein.

Die in Kap. 3 bewerteten Energiearten weisen bezogen auf den Endzustand einer nachhaltigen Energiewirtschaft bzw. den Übergangspfad dorthin unterschiedliche Zukunftsperspektiven auf (Abb. 8).

Zukunfts- perspektiven Energie- Formen	prinzipiell nicht akzeptabel/ streng kontrollierter Rückbau	akzeptabel für Über- gangszeit	akzeptabel für be- grenzten Einsatz	Ausbau (ggf.) akzeptabel, falls sich momentan noch nicht vor- handene Voraus- setzungen ändern – z.Z. kein Ausbau	Ausbau erforderlich
1. Kernenergie	X				
2. Kohlekraft		X		?	
3. Windenergie			X	?	
4. Biomasse			X		
5. Solarenergie					X

Abb. 8: Zukunftsperspektiven ausgewählter Energieformen im Nachhaltigkeitskontext
Quelle: H.-U. Zabel.

Die Fragezeichen verkörpern Forschungsbedarf bzw. offene Fragen bezüglich des Ausbaus. Im Fall der Windenergie betrifft dies in erster Linie die Offshore-Potenziale.

Die Diskussion der Zukunftspotenziale der Kohlekraft fokussiert insbesondere auf die Möglichkeiten der Kohlendioxidsequestrierung (CCS – Carbon Capture and Storage). Mit dieser Technologie sollen die erheblichen und klimaschädigenden CO₂-Emissionen einer kohlebasierten Energie- und Wärmeerzeugung in die Atmosphäre verhindert werden. Stattdessen wird das CO₂ aus Rauch- oder Brenngasen abgeschieden bzw. beim Oxyfuel-Verfahren im Rauchgas aufkonzentriert und abgetrennt sowie unterirdisch abgelagert (in geologischen Formationen bzw. salinen Aquiferen). Wissenschaftliche Untersuchungen zur langfristigen Zukunftsfähigkeit/Nachhaltigkeit von CCS führen zu einem klaren Negativbefund (vgl. Hesselbarth 2009, S. 377ff.):

- Es ergeben sich kurz- und mittelfristig erhebliche Kosten für Abscheidetechnologien, Transporte, Lagerstättenmonitoring etc., deren Einbeziehung in die Gesteungskosten Kohle als Energieträger ökonomisch eher unattraktiv werden lässt (vgl. UBA 2006, S. 38ff.). Die CO₂-Vermeidungskosten für CCS belaufen sich gegenwärtig auf ca. 75-200 €/t CO₂ (geringere Kosten sind lediglich bei sehr günstigen Standortbedingungen und einer Kombination von CCS und Enhanced Oil/Gas Recovery möglich). Bis 2030 werden zwar deutliche Kostenreduktionen auf ca. 15-50 €/t CO₂ erwartet, jedoch übersteigt dies nach wie vor die Vermeidungskosten vieler Klimaschutzoptionen.
- Die erheblichen Kosten von CCS sowie Restriktionen ortsnaher und sicherer Speicherkapazitäten (Fachgeologen sprechen davon, dass in Deutschland bestenfalls ein geeigneter Standort vorhanden sei) machen andere Alternativen zur CO₂-Reduktion ökonomisch attraktiver (Energieeinsparung, Ausbau erneuerbarer Energien, Schaffen von CO₂-Senken etc.).
- CCS-Kohlekraftwerke sind keineswegs völlig CO₂-frei: Durch CCS werden Wirkungsgradverluste (ca. 7-14 %) und damit erhöhte Gesamtenergieeinsätze (CO₂-Abscheidung, Transporte) verursacht, wodurch sich die Reduktion der klimarelevanten Treibhausgase auf 65-80 % des theoretischen und vielfach proklamierten Senkungspotenziales verringert.
- Es besteht die Gefahr der Strukturkonservierung des fossilen Energiepfades bzw. einer Blockade des Überganges zum solaren Pfad (Förderung von CCS statt solarer Energie, Neubau von Kohlekraftwerken etc.).
- Die Langzeitstabilität bzw. Sicherheit von CCS (Stichworte: Leckagen, Massenaustritt von CO₂, Irreversibilitäten, Gefährdungen für Ökosysteme und zukünftige Generationen etc.) ist nicht nachgewiesen und voraussichtlich auch nicht hinreichend sicher nachweisbar (Parallele zur Atommüllendlagerung).

- Die Folgekosten von CCS sind aufgrund kaum vorhersehbarer Risiken unkalkulierbar.

Angemerkt sei, dass aus analogen Gründen auch die Laufzeitverlängerung von Atomkraftwerken kritisch zu sehen ist.⁵

In Abb. 9 sind der fossile und der solare Pfad tabellarisch mit ihren wesentlichen Facetten gegenübergestellt.

Nachhaltige Energieversorgung: Vom fossilen zum solaren Pfad		
	fossiler Pfad	solarer Pfad 
Charakteristika	<ul style="list-style-type: none"> > Festhalten an Kohle, Öl, Erdgas und Atomkraft > Mobilisierung großer Kapitalmengen 	<ul style="list-style-type: none"> > Umstieg auf erneuerbare Energien > Reduktion des Energiebedarfs
Strukturen	<ul style="list-style-type: none"> > großtechnische Strukturen: (zentrale) Großkraftwerke > ausgebaute Leitungsnetze und Verbundsysteme 	<ul style="list-style-type: none"> > primär dezentrale und kleinräumige Strukturen > Vernetzung heterogener Versorgungsstrukturen im lokalen/regionalen Maßstab
Konsequenzen	<ul style="list-style-type: none"> > Aufbrauchen der Energievorräte > drohende Kostenexplosionen und Schadenslawinen (Klimawandel, Landschaftsverbrauch etc.) > drohende Kriege um abschmelzende Energievorräte > hohe Abhängigkeiten und zunehmende Ungerechtigkeiten > Gegenmassnahmen (CCS und weitere Nachsorgetechnologien; Wirkungsgrad-erhöhung etc.) können die generellen Probleme nur hinausschieben, nicht aber lösen 	<ul style="list-style-type: none"> > Langfristige Zugriffssicherung zu Energie > Vermeidung von Naturerzstörungen und Kostenlawinen > Gerechtigkeitsbeiträge
Nachhaltigkeitsgerechtigkeit?	<ul style="list-style-type: none"> > nicht nachhaltig / nicht zukunftsfähig <p style="text-align: center;"></p>	<ul style="list-style-type: none"> > nachhaltig / zukunftsfähig <p style="text-align: center;"></p>

Abb. 9: Nachhaltige Energieversorgung: Vom fossilen zum solaren Pfad.
Quelle: H.-U. Zabel.

Die dieser Abbildung zugrunde liegenden Befunde zur Einschätzung des Grades der Nachhaltigkeitsgerechtigkeit von Kernenergie, Kohleenergie, Windkraft, Biomasse und Solarenergie wären dabei um die Einschätzung weiterer Energiearten zu ergänzen. Im Kern bestätigen zusätzliche Bewertungen jedoch die Aussage der Notwendigkeit des o.g. Überganges vom fossilen zum solaren Pfad. So trifft etwa für die erdgasbasierte Energieversorgung die prinzipielle Charakterisierung fossiler Energieträger (besonders hohe Analogie zur Kohle) ebenso zu wie für die Geothermie die prinzipielle Einschätzung der regenerativen Energien (besonders hohe Analogie zur Solarenergie). Die untersuchten Energiearten repräsentieren somit das Spektrum hinreichend.

⁵ Eine Studie des UBA (UBA 2008) kommt zu dem Schluss, dass auch beim Verzicht auf die Laufzeitverlängerung von Atomkraftwerken keine „Stromlücke“ entstehen muss, wenn Energieeffizienzsteigerungen durch das Abschalten alter Kraftwerke, weitere Energieeinsparungen, der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und der zügige Umstieg auf erneuerbare Energien umgesetzt werden.

5. Erneuerbare Energien – nachhaltige Energien

Die obigen Ausführungen belegen, dass erneuerbare Energien sowohl Bestandteil des „Sollzustandes“ als auch Wegbereiter des Übergangspfades der nachhaltigen Entwicklung sind. Folgende Thesen sollen dies bekräftigen:

6. Erneuerbare Energien sind konstitutiver Bestandteil des Wirtschaftstyps der Nachhaltigkeit: der sonnenenergiebasierten Kreislaufwirtschaft (vgl. Kreikebaum/Zabel 2008, S. 269ff.; Zabel 1997).

Aus entropischer Sicht ist die Negentropiezuführung zum System Erde durch die Nutzung der Sonnenenergie als notwendige Bedingung (conditio sine qua non) einer Entropiebilanzstabilisierung auf überlebens- bzw. effektivitäts- und effizienzicherndem Niveau anzusehen (vgl. Georgescu-Roegen 1971).

6. Der Übergang zu erneuerbaren Energien verkörpert dynamische Lern- und Wandlungsprozesse. Im Kern beginnen diese mit der Veränderung der Einstellungen zu den Zielkriterien, Basisorientierungen, Strukturen, Wertehintergründen und Spielregeln des Wirtschaftens (vgl. Abb. 10). Dies trifft prinzipiell und sicher nur für erneuerbare Ressourcen und Energien zu.⁶

	Traditionelle Wirtschaftsweise und Energieversorgung	Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung
1. Ziele	<ul style="list-style-type: none"> - Gewinnmaximierung - bestmögliche Kapitalverwertung - effiziente Energieversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> - humanistische Bedürfnisbefriedigung (Sicherung der Einheit von Überleben, gut, sinnvoll und frei leben) - natur- und sozialverträgliche Energieversorgung
2. Basisorientierungen	<ul style="list-style-type: none"> - Geld-, Egoismus- und Wachstumsfixierung - Nachsorgeorientierung - Technikgläubigkeit (Problemlösung durch intensivierten Technikeinsatz mit immer größerer Eingriffstiefe in die Natur; breite Naturmanipulation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gerechtigkeits-, Sozial- und Ökologiefixierung (Humanität) - Vorsorgeorientierung - Orientierung an Funktionsweisen der Natur (Problemlösungen durch naturnahe bzw. naturkompatible Gestaltungen von Prozessen und Technikeinsatz)
3. Strukturen	<ul style="list-style-type: none"> - eher zentralistisch - eher hierarchisch - eher machtbasierend 	<ul style="list-style-type: none"> - eher dezentral - eher partizipativ - eher dialogisch
4. Wertehintergründe	<ul style="list-style-type: none"> - Habenmodus* - Technikgläubigkeit, Problemverlagerung und -verdrängung - Eingehen teilweise unkalkulierbarer Risiken 	<ul style="list-style-type: none"> - Seinsmodus⁷ - Problemantizipation - Vorsichtsprinzip

Abb. 10: Ziele, Basisorientierungen, Strukturen und Wertehintergründe der traditionellen und nachhaltigen Wirtschaftsweise bzw. Energieversorgung im Vergleich.

Quelle: H.-U. Zabel.

⁶ Erneuerbare Energien stehen überwiegend nur als kurzfristig aus Sonnenenergie gewonnene Energien zur Verfügung und können deshalb nicht über das Maß des Nachwachsens hinaus genutzt bzw. ausgebeutet werden. Ausnahmen bilden lediglich die Erdwärme und partiell die Bioenergie.

⁷ Hinweis: Unterteilung in Haben- und Seinsmodus entsprechend Fromm (1976): Habenmodus: Fokussierung der menschlichen Ressourcen auf zunehmenden Besitz an materiellen bzw. finanziellen Mitteln und Macht; Seinsmodus: Fokussierung auf harmonische, mitmenschliche Beziehungen (emotionale Nahkontakte), sinnstiftende Arbeit, körperliche Fitness und Naturbegegnung.

6. Ressourcen und Energien passen sich dann – und nur dann – kreislaufstabilisierend in die ökologischen Kreisläufe ein, wenn diese nur im Maße des Nachwachsens der benutzten natürlichen Ressourcen eingesetzt werden.
6. Die Belastung der Natur mit Abprodukten kann nur in den Fällen als nachhaltigkeitsgerecht gelten, wenn die Grenzen der Belastbarkeit der Natur bzw. ihre Selbstreinigungskraft nicht überschritten wird. Da erneuerbare Energien innerhalb natürlicher Kreisläufe auf Basis der Sonnenenergie erzeugt werden, bestehen gute „natürliche“ Bedingungen, die anfallenden Abprodukte/Reststoffe in naturverträglicher Form in die Naturkreisläufe zurückzuführen. Diese Belastungsgrenzen auch tatsächlich einzuhalten ist eine Herausforderung an die technische Ausgestaltung der Qualität und Quantität des Einsatzes erneuerbarer Energien in Kombination mit dezentralen Lösungen sowie effektiven und effizienten Technologief flankierungen (vor allem in Form von Kraft-Wärme-Kopplungen sowie Blockheizkraftwerken).
5. Auf dem Weg zum „Sollzustand“ Nachhaltigkeit ist der Mix der erneuerbaren Energien so zu entwickeln und auszubauen, dass:
 - gepaart mit der Energieeinsparung der Energieumsatz in den Grenzen der Nachhaltigkeit bleibt;
 - die nicht erneuerbaren Energien systematisch und belastungsminimierend ersetzt werden;
 - die erneuerbaren Energien selbst mit abnehmenden Schäden (bis hin zur Schadensbegrenzung auf ein natur- und sozialverträgliches Maß) eingesetzt bzw. entwickelt werden.
6. Der Einsatz erneuerbarer Energien ist organisch kombinierbar bzw. zu kombinieren mit den Erfordernissen von Ressourceneinsparung, -schonung und -regeneration und den weiteren Prinzipien der sonnenenergiebasierten Kreislaufwirtschaft, sodass die Nachhaltigkeitsorientierung aller Produkte, Prozesse, Strukturen, Institutionen und Verhaltensweisen effektiv und effizient unterstützt wird. (vgl. Abb. 11).



Abb. 11: Nachhaltige Energieversorgung – Pfad- und Kreislaufwirtschaftsnetzungen
Quelle: H.-U. Zabel.

Zum letztgenannten Punkt sei beispielhaft die wechselseitige Bedingtheit von nachhaltiger Energieversorgung und nachhaltiger Mobilität angeführt. Nachhaltige Mobilität verkörpert eine Mobilität im Einklang mit den natürlichen Kreisläufen sowie mit Gerechtigkeits-, Sozial-, Effektivitäts- und Effizienzaspekten. Bestandteile sind neben dem Vermeiden und Optimieren von Verkehrsströmen deren Lärm- und Emissionsarmut bei relativ geringem Ressourcen- und Flächenverbrauch sowie ausreichendem Servicegrad. Dazu bedarf es u.a. des Ausbaues des öffentlichen Personennahver-

kehrs (ÖPNV), des verstärkten Umstiegs auf die (elektrifizierte) Bahn sowie der Nutzung neuer, deutlich emissionsreduzierter Antriebe im Güter- und Personenverkehr (sowohl im öffentlichen als auch privaten Bereich). Als Antrieb insbes. im privaten Personenverkehr bietet sich das Elektroauto an (ggf. auch Wasserstoffantriebe).

Die Eigenenergieversorgung aller denkbaren Ausbauvarianten ist auf Basis erneuerbarer Energien zu sichern bzw. daraufhin umzustellen. Für Elektroautos bedeutet das, effiziente Batterien einzusetzen und ein „Tankstellennetz“ bzw. private „Tankmöglichkeiten“ auf Basis regenerativ erzeugten Stroms zu gewährleisten. Dazu sind abgestimmte Konzepte der Infrastrukturgestaltung, des Netzbetriebes, der Spitzenlastregelung etc. erforderlich.

Erneuerbare Energien bergen je nach Art eine Reihe von Problemen, deren Lösung bzw. Lösbarkeit mit über die Zukunftsfähigkeit/Nachhaltigkeit und damit die Zukunftschancen ihres Einsatzes entscheiden:

1. *Wasserkraft*: Problematisch sind die Natureingriffe und deren Wirkungen auf die Artenvielfalt, die Ökosystemfunktionen und den Wasserhaushalt. Die Nutzung der Wasserkraft ist nur dann gerechtfertigt, wenn diese Effekte ökologisch und sozial vertretbar sind.
2. *Windenergie*: Zentrale Problemfelder der Windenergie sind der Schattenwurf, der Disko-Effekt bzw. die Reflexion des Sonnenlichtes, die Lärmbelästigung, die Gefahr des Eiswurfes, die Flächenversiegelung, die Störung des Landschaftsbildes sowie die Beeinträchtigung von Vögeln und Wildtieren (vgl. BMU 2006). Die Windenergienutzung ist nur an Standorten gerechtfertigt, an denen diese Probleme (in Relation zu dem Nutzen) in akzeptablen Grenzen gehalten werden können. An Land sind Steigerungen der Energieerzeugungsleistungen künftig wohl nur noch durch den Ersatz leistungsschwächerer Anlagen durch Hochleistungswindkraftanlagen (Repowering) denkbar, wohingegen die Neuanlage von Windparks aufgrund der genannten Problemfelder zunehmend unvertretbar erscheint. Große Ausbaupotenziale werden dagegen für leistungsstarke Offshore-Anlagen (z.Z. bereits 6 MW-Anlagen) gesehen.
3. *Biomasse*: Biomasse hat den Vorteil, dass die Energieerzeugung CO₂-neutral erfolgt (gewisse CO₂-Emissionen entstehen lediglich bei Transport- und Aufbereitungsvorgängen). Problematisch ist der Biomasseeinsatz dann, wenn Monokulturen angelegt werden und Ökosystemzerstörungen (Abholzung von

[Regen-]Wäldern, Trockenlegung von Feuchtgebieten etc.) erfolgen, um Anbauflächen zu gewinnen. Weitere kritische Aspekte sind der massive Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, die Reduktion der Artenvielfalt und Flächenkonkurrenzen mit der Produktion von Nahrungsmitteln. Die Nutzung von Biomasse zur Energieerzeugung (Strom, Wärme, Kraftstoffe) ist qualitativ, quantitativ und regional nur dort gerechtfertigt, wo diese Probleme in akzeptablen Grenzen gehalten werden können. Dazu bedarf es der Festlegung und Einhaltung international verbindlicher Standards und Zertifizierungen zur Sicherung einer ökologisch und sozial verträglichen bzw. gerechten Produktion und Nutzung (die EU-Richtlinie über Erneuerbare Energien bzw. die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung [BioSt-NachV] setzen hier erste Zeichen).

4. *Solarenergie*: Solarenergie wird sowohl zur Herstellung von Strom (Photovoltaik) als auch zur Herstellung von Wärme (Solarthermie) eingesetzt. Der gegenwärtige technische Stand ist mit verschiedenen Problemen konfrontiert: Die Naturinanspruchnahme zur Herstellung der Solarmodule sowie der Flächenbedarf für deren Installation sind z.Z. bei relativ hohen Gestehungskosten noch vergleichsweise groß. In beiden Feldern der Solarenergie gibt es jedoch enorme technische Entwicklungspotenziale (Wirkungsgradsteigerungen⁸, Kostensenkungen, Reduktion der Ressourcen- und Flächenbeanspruchung etc.) sowie Möglichkeiten der Absatzsteigerung und damit verbundener Economies of Scale. Da die Solarenergie die geringsten externen Kosten und damit Schadensfolgen verursacht und die konfliktärmste, weltweit dezentral installierbare Alternative der Wärme- und Stromversorgung darstellt, ist ihr zügiger Ausbau ein dringliches Nachhaltigkeitserfordernis und deshalb von staatlicher Seite zu fördern.
5. *Geothermie*: Die Nutzung der Erdwärme stellt einen wichtigen Bestandteil im Mix der erneuerbaren Energien dar. Zu beachten sind die Gefahren und Grenzen, die sich aus dem Eindringen in die Erdschichten bzw. der Entnahme von Wärme aus diesen ergeben (können). So kann ggf. die Stabilität der Erdschichten, der Wasserhaushalt oder die Wärmebilanz negativ beeinträchtigt

⁸ Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg vermeldete Anfang des Jahres 2009, dass weltweit erstmals der Wirkungsgrad von Mehrfachsolarzellen auf 41,1 % gesteigert werden konnte. Dafür wurde das Sonnenlicht 454-fach auf metamorphe Tripelsolarzellen aus III-V-Halbleiterkombinationen (III-V-Halbleiter Gallium-Indium-Phosphid/Gallium-Indium-Arsenid/Germanium) konzentriert, vgl. Fraunhofer ISE 2009.

werden, wodurch unter Umständen auch Auswirkungen auf die oberirdische Landschaft entstehen können.

Die auszugsweise erfolgten Einschätzungen der Gefahren/Einsatzbeschränkungen der erneuerbaren Energien verweisen auf folgende Erfordernisse:

1. Es ist jeweils eine intensive Technikfolgenabschätzung (TA) von unabhängiger Seite erforderlich.
2. Die umfassende Einschätzung der gesellschaftlich besonders relevanten Klimafolgewirkungen muss gewährleistet sein.
3. Die Mitwirkung der Betroffenen an den Einsatzentscheidungen ist von Anfang an und auf Basis einer objektiven Aufklärung über die Wirkungen der Energieerzeugung und -nutzung zu sichern.
4. Es sind jeweils örtlich, zeitlich und situativ differenzierte Einsatzfelder, Einsatzorte und Einsatzperspektiven zu entwickeln, die geeignet sind, den Sollzustand der nachhaltigen Energieversorgung durch geeignete Entwicklungspfade effektiv und effizient zu erreichen.

Der Ist-Zustand der Entwicklung und des Einsatzes regenerativer Energien zeigt Ansätze und Impulse in Richtung ihrer intensivierten Nutzung. Diese sind jedoch vorrangig auszubauen und zu beschleunigen sowie um Fehlentwicklungen zu bereinigen, wenn die Energieversorgung zur Sicherung eines angemessenen Wohlstandes aufrechterhalten und Gefahren (Abhängigkeiten, Kriege, Anschläge, Umweltzerstörungen, Klimakollaps, Ungerechtigkeiten, Preisexplosionen etc.) abgewendet werden sollen.

Weltweit betrug der Anteil erneuerbarer Energien am globalen Endenergieverbrauch im Jahre 2006 18 % (0,3 % Biokraftstoffe, 0,8 % Stromerzeugung, 1,3 % Warmwasser/Heizung, 3 % Wasserkraft und 13 % traditionelle Biomasse – vgl. REN21 2008, S. 11).

Die geplanten Ausbauziele erneuerbarer Energien in Europa sehen erhebliche Steigerungen der Anteile am Endenergieverbrauch vor. Folgende Ausbauziele sind in der EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien für das Jahr 2020 verankert (zusätzlich ist zum Vergleich der Stand im Jahr 2005 angegeben):

EU-Land	Ausbauziel bis 2020 (Anteil am Bruttoendenergie- verbrauch)	Stand im Jahr 2005 (Anteil am Bruttoend- energieverbrauch)
Dänemark	30 %	17 %
Belgien	13 %	2,2 %
Frankreich	23 %	9,5 %
Spanien	20 %	7,6 %
Großbritannien	15 %	1,3 %
Deutschland	18 %	5,8 %
EU 27	20 %	ca. 7 %

Abb. 12: Ausbauziele erneuerbarer Energien in Europa (ausgewählte Staaten)
Quelle: Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien (2009/28/EC), EU 2009, S. 46.

In Deutschland betrug der Beitrag erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Jahr 2007 bereits 9,8 % (BMU 2008, S. 7). Dabei tragen regenerative Energien zur Stromerzeugung 14 %, zur Wärmeerzeugung 7,5 % und zur Kraftstoffproduktion 7,3 % bei (vgl. Abb. 13).

	End- energie [GWh]	Primärenergie- äquivalent		Anteil am Endenergie- verbrauch [%]	Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch			
		nach Wirkungs- gradmethode [PJ]	nach Substitutions- methode [PJ]		nach Wirkungs- gradmethode [%]	nach Substitutions- methode [%]		
Stromerzeugung	Wasserkraft	21.249	76,5	209,0	Anteil am Stromverbrauch	3,4	0,5	1,5
	Windenergie	39.713	143,0	376,9		6,4	1,0	2,6
	Photovoltaik	3.075	11,1	27,3		0,5	0,1	0,2
	biogene Festbrennstoffe	8.743	78,2	78,2		1,4	0,6	0,5
	biogene flüssige Brennstoffe	1.485	13,3	13,3		0,2	0,1	0,1
	Biogas	6.425	57,5	57,5		1,0	0,4	0,4
	Klärgas	983	8,8	8,8		0,2	0,1	0,1
	Deponiegas	1.009	9,0	9,0		0,2	0,1	0,1
	biogener Anteil des Abfalls	4.130	36,9	36,9		0,7	0,3	0,3
	Geothermie	0,4	0,0	0,0		< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Summe	86.811	434,2	816,8		14,0	3,1	5,7
Wärmeerzeugung	biogene Festbrennstoffe (Haushalte)	57.778		208,0	Anteil am EEV für Wärme	4,3	1,5	1,4
	biogene Festbrennstoffe (Industrie)	16.770		60,4		1,3	0,4	0,4
	biogene Festbrennstoffe (Heizkraft- und Heizwerke)	5.688		20,5		0,4	0,15	0,14
	biogene flüssige Brennstoffe	4.647		16,7		0,3	0,12	0,12
	biogene gasförmige Brennstoffe	4.689		16,8		0,3	0,12	0,12
	biogener Anteil des Abfalls	4.783		17,2		0,4	0,12	0,12
	Solarthermie	3.704		13,3		0,3	0,10	0,09
	tiefe Geothermie	160		0,6		< 0,1	0,004	0,004
	oberflächennahe Geothermie	2.139		7,7		0,2	0,06	0,05
Summe	100.337	361,2		7,5¹⁾	2,6	2,5		
Kraftstoff	Biodiesel	34.239		123,3	Anteil am Kraftstoffverbrauch	5,4	0,9	0,9
	Pflanzenöl	8.736		31,5		1,4	0,2	0,2
	Bioethanol	3.444		12,4		0,5	0,1	0,09
Summe	46.419	167,1		7,3	1,2	1,2		
gesamt	233.568	962,5	1.345,1	EEV	9,8¹⁾	6,9	9,4	

Abb. 13: Beitrag erneuerbarer Energien zur Energiebereitstellung in Deutschland 2007
Quelle: BMU 2007, S. 7.

Abbildung 14 zeigt zusammenfassend die schnell fortschreitende Entwicklung der erneuerbaren Energien seit dem Jahr 2000.

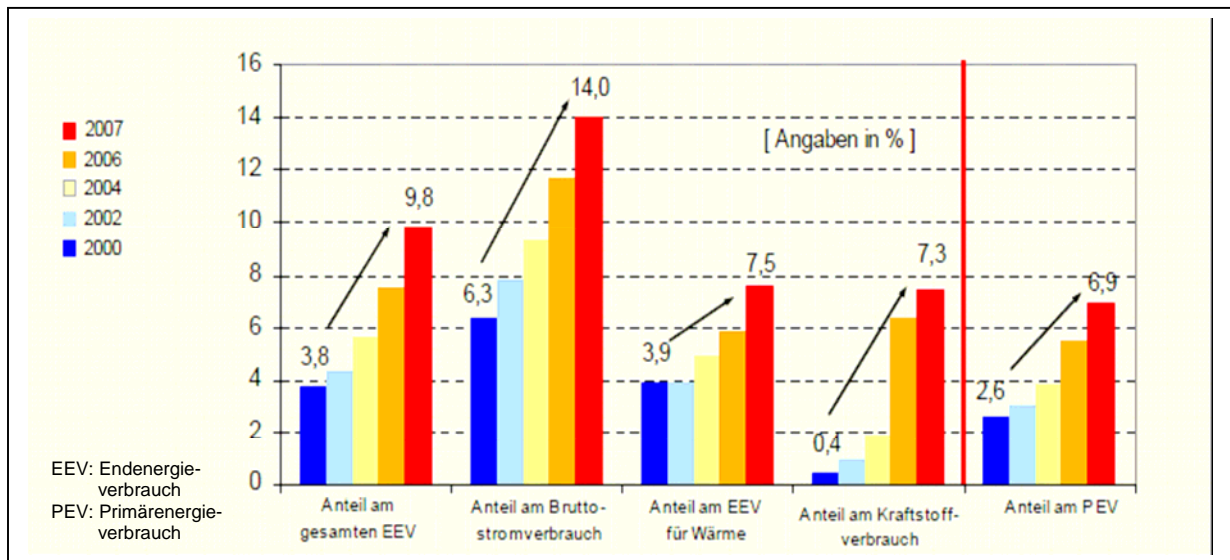


Abb. 14: Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland
 Quelle: BMU 2008, S. 8 .

Bezogen auf Deutschland lässt sich die Situation erneuerbarer Energien im Jahre 2007 wie folgt pointiert zusammenfassen (vgl. BMU 2008, S. 9):

- Die Windenergie leistet den größten Beitrag der regenerativen Energien (installierte Leistung 22.247 MW) und hat allein einen Anteil von 6,4 % am deutschen Bruttostromverbrauch.
- Wasserkraft nimmt im Bereich der Stromerzeugung eine bedeutende Rolle ein (3,4 % des Bruttostromverbrauchs), allerdings stagnieren die Kapazitäten seit einigen Jahren nahezu.
- Die Bioenergie verzeichnet aufgrund der verbesserten Rahmenbedingungen im EEG 2004 deutliche Zuwächse, wobei sie momentan insbesondere im Wärmebereich hohe Anteile innehat. Aber auch bei biogenen Kraftstoffen sowie der Stromerzeugung erlebt die grundlastgeeignete Bioenergie einen Aufschwung.
- Geothermie leistet bisher nur unbedeutende Beiträge zur Energiebereitstellung, jedoch werden in den nächsten Jahren verschiedene Heizkraftwerke und Anlagen zur Stromerzeugung den Betrieb aufnehmen.
- Die Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen verzeichnet weltweit die höchsten Zuwachsraten (2006: 40 %; Zubau von 1.100 MW) und trägt inzwischen 0,5 % zum Bruttostromverbrauch bei. Auch der Ausbau der Solarthermie schreitet voran, wobei gegenwärtig 9,6 Mio. m² Kollektorfläche in Deutschland installiert sind.

Die Nutzung bzw. der Ausbau erneuerbarer Energien ist für Deutschland nicht nur ein wesentlicher Aspekt zukunftsfähiger Energieversorgung, sondern auch ein erst-rangiger Wirtschaftsfaktor. Dabei weist insbesondere die Kombination der erneuerbaren Energien untereinander sowie ihr Verbund mit effizienten Erzeugungs- und Nutzungstechniken (Kraft-Wärme-Kopplungen, Blockheizkraftwerke etc.) den Weg in die Zukunft. Diese Maßnahmen zeigen ebenfalls Auswege aus bereits beobachtbaren bzw. drohenden Krisenerscheinungen: Wie oben bereits angedeutet, werden die wesentlichen Krisen (Klima-, Energie-, Ressourcen-, Werte- und Finanzkrise) durch die Nichtnachhaltigkeit der Denkweisen, Spielregeln und Entscheidungsprozeduren ausgelöst. Erst wenn es gelingt, die Grundannahmen, Rahmenbedingungen und das gesamte Wertegerüst auf Nachhaltigkeit auszurichten, werden die genannten Krisen bewältigbar.

Das bedeutet, dass der Umstieg auf erneuerbare Energien weltweit auch ein Beitrag zur Bewältigung der Finanzkrise (dringende Zukunftsinvestitionen zur Bezahlbarkeit der künftigen Wirtschaft) ist bzw. gewesen wäre. Hätten die nationalen Regierungen dies umfassender erkannt und die zur Krisenbewältigung eingesetzten Mittel gezielter auf Klimaschutz und den Ausbau erneuerbarer Energien und Ressourcen ausgerichtet, wäre dies ein effektiverer und effizienterer Beitrag zur Krisenbewältigung gewesen als viele andere „Finanzspritzen“. Beiträge zur Forcierung der regenerativen Energien und des Klimaschutzes hätten außerdem der deutschen und der progressiven internationalen Wirtschaft enorme Impulse gegeben.

Immerhin weisen viele Eckpunkte der deutschen Energiepolitik bis zum Jahre 2020 in der Energie-Roadmap 2009 in die richtige Richtung (vgl. BMU 2009, S. 7):

- nachhaltige Energieversorgung dauerhaft sichern;
- Energiekosten senken und 500.000 neue Arbeitsplätze schaffen;
- über 30 % des Stromes aus erneuerbaren Energien gewinnen;
- Ausstieg aus der Atomenergie bis 2022 umsetzen;
- bundesweite Netz-Gesellschaft gründen und Stromnetz ausbauen;
- Stromverbrauch um 11 % senken;
- fossilen Wärmebedarf senken und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) verdoppeln;
- Emissionen im Verkehr um mindestens 20 % senken;
- internationale Klimaverhandlungen zum Erfolg führen.

6. Schlussbemerkungen

Der Übergang vom fossilen zum solaren Pfad der Energieversorgung ist alternativlos, um die Bezahlbarkeit, Versorgungssicherheit und Wohlstandssicherung in großer und wachsender Breite und auch für zukünftige Generationen (inter- und intragenerative Gerechtigkeit) bei Vermeidung gravierender Probleme aus der Energieversorgung (Klimakollaps, Kostenexplosionen, Kriegsgefahren, irreversible Naturzerstörungen etc.) zu gewährleisten.

Dies bedarf des Umdenkens und Umsteuerns, wobei dies – ebenfalls alternativlos – nur als Bestandteil und im Rahmen des Übergangs zu einer nachhaltigen Entwicklung zu leisten ist.

Der Umstieg auf den solaren Pfad der Energieversorgung ist eine enorme Herausforderung an alle gesellschaftlichen Akteure in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sowohl auf globaler als auch auf nationaler und regionaler Ebene.

Die Wissenschaft steht in der Verantwortung, die nachhaltige Entwicklung im Allgemeinen und die nachhaltige, auf dem Solarpfad beruhende Energieversorgung im Besonderen als generalisierten Zielfokus mit großer Hingabe, Akribie und Innovationsorientierung (Überwindung nicht nachhaltigkeitgerechter Paradigmen und *pre-analytic visions*) anzugehen. Dem Wesensmerkmal dieser Aufgabe folgend, bedarf es dafür insbesondere der interdisziplinären Forschung mit einem sowohl technik- und naturwissenschaftlichen Fokus als auch einer sozial- und wirtschafts- bzw. geisteswissenschaftlichen Sicht.

Nachhaltige Entwicklung ist unser und der Forschung Schicksal.

Literaturverzeichnis:

Alsema, Erik A./Wild-Scholten, Mariska J. de/Fthenakis, Vasilis M. (2006): Environmental impacts of PV electricity generation – a critical comparison of energy supply options ECN, 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden 2006.

Beleites, Michael (1992): Altlast Wismut – Ausnahmezustand, Umweltkatastrophe und das Sanierungsproblem im deutschen Uranbergbau, Frankfurt a.M. 1992.

BMU (2009): Neues Denken - Neue Energie – Roadmap Energiepolitik 2020, Berlin 2009.

BMU (2008): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin 2008.

BMU (2007): Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2007 – Grafiken und Tabellen, Stand 15.12.2008; unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik (AGEE-Stat), Berlin 2007.

BMU (2006): BMU-Themenpapier Windenergie, Berlin 2006.

BMWi (2008): Energie in Deutschland, Berlin 2008.

Bundesanstalt für Geowissenschaften (2008): Kurzstudie Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2007, Hannover 2008.

URL: http://www.bgr.bund.de/cln_092/nn_322848/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie__Kurzf__2007,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Energiestudie_Kurzf_2007.pdf.

DEHST (2004b): Emissionsfaktoren und Kohlenstoffgehalte.

URL: http://www.dehst.de/cln_007/nn_174076/SharedDocs/Downloads/DE/Antragstellung__dl/Antragstellung__neu__dl/Emissionsfaktoren__und__C-Gehalte.html.

dena (2009): Vorteile & Nachteile von Biomasse, Berlin 2009.

URL: <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/biomasse/grundlagen/vorteile-nachteile-von-biomasse.html>.

Diekmann, Jochen/Horn, Manfred (2007): Fachgespräch zur Bestandsaufnahme und methodischen Bewertung vorliegender Ansätze zur Quantifizierung der Förderung erneuerbarer Energien im Vergleich zur Förderung der Atomenergie, Berlin 2007.

DLR/ISI (2006): Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, Stuttgart – Karlsruhe 2006.

URL: http://www.bmu.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/ee_kosten_stromerzeugung.pdf.

Englaender, Daniel (2009): GTM Research – 2009 Global PV Demand Analysis and Forecast – The Anatomy of a Shakeout II, Cambridge Mass. 2009.

EEG (2009): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften (Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009).

EU (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Amtsblatt der Europäischen Union L 142, S. 16-62.

Fraunhofer ISE (2009): Weltrekord: 41,1 % Wirkungsgrad für Mehrfachsolarzellen am Fraunhofer ISE, Pressemitteilung 01/09 vom 14.01.2009.

URL: <http://www.ise.fraunhofer.de/presse-und-medien/presseinformationen/presseinformationen-2009/weltrekord-41-1-wirkungsgrad-fuer-mehrfachsolarzellen-am-fraunhofer-ise>.

Fromm, Erich (1976): Haben oder Sein – Die seelischen Grundlagen einer neuen Gesellschaft, Stuttgart 1976.

Georgescu-Roegen, Nicholas (1971): The entropy law and the economic process, Cambridge 1971.

Göllinger, Thomas (2008): Syntropie-Nutzungsmanagement als Basis einer zukunftsfähigen Ressourcenwirtschaft. In: Riesner, Wilhelm/Seidel, Eberhard (Hrsg.): Zukunftsfähige Ressourcenwirtschaft, Marburg 2008, S. 313-338.

Goerne, Gabriela von (2005): Das Risiko CO₂-Speicherung, Präsentation auf dem Greenpeace-Workshop "Carbon Sequestration and Storage", 26.09.2005 in Berlin.
URL: http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Goerne_GP_CCS_26-09-05.pdf.

Gruber, Josef (1996): Innovative Energietechnologien – Auswirkungen auf Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. In: Schneider, Adolf/Schneider Inge (Hrsg.): Neue Horizonte in Technik und Bewusstsein, Vorträge des Kongresses 1995 im Gwatt-Zentrum 1995 am Thunersee, Bern 1996, S. 61-86.

Hennicke, Peter/Fischedick, Manfred (2007): Erneuerbare Energien – Mit Energieeffizienz zur Energiewende, Bonn 2007.

Hesselbarth, Charlotte (2009): Wirkungen des EU-Emissionshandels als ökonomisches Instrument der Umweltpolitik auf das Betriebliche Nachhaltigkeitsmanagement, Aachen 2009.

Höfken, Ulrike (2007): Energie 2.0 – die grünen Maßnahmen bis 2020 und der Weg zur kommunalen Energie-Agenda. In: Kratz, Sabine (Hrsg.): Energie der Zukunft – Bausteine einer nachhaltigen Energieversorgung, Marburg 2007, S. 161-191.

Höttker, Herrmann/Thomsen, Kai-Michael/Köster, Heike (2004): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse.
URL: <http://bergenhusen.nabu.de/bericht/VoegelRegEnergien.pdf>.

Huber, Joseph (1995): Nachhaltige Entwicklung – Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik, Berlin 1995.

IEA (2008): Key World Energy Statistics 2008, Paris Cedex 2008.

URL: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf.

Kreikebaum, Hartmut/Zabel, Hans-Ulrich (2008): Kreislaufwirtschaft als Wirtschaftstyp zukunftsfähiger Ressourcenwirtschaft. In: Riesner, Wilhelm/Seidel, Eberhard (Hrsg.): Zukunftsfähige Ressourcenwirtschaft, Marburg 2008, S. 269-294.

Ploetz, C. (2003): Sequestrierung von CO₂ – Technologien, Potentiale, Kosten und Umweltauswirkungen, externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 „Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit“, Berlin – Heidelberg 2003.

URL: http://www.wbgu.de/wbgu_jg2003_ex07.pdf.

Prognos AG (1992): Identifizierung und Internalisierung der externen Kosten der Energieversorgung, Basel 1992.

REN21 (2008): Renewables 2007 – Global Status Report, Paris 2008.

Sachs, Wolfgang u.a. (2009): Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt, Frankfurt am Main 2009.

Schilling, Hans-Dieter (2004): Wie haben sich die Wirkungsgrade der Kohlekraftwerke entwickelt und was ist künftig zu erwarten?

URL: <http://www.energie-fakten.de/pdf/wirkungsgrade.pdf>.

SRU (2000): Umweltgutachten 2000 – Schritte ins nächste Jahrtausend, Stuttgart 2000.

Staiß, Frithjof u.a. (2007): Jahrbuch Erneuerbare Energien, Stuttgart 2007.

Stern, Nicholas (2006): The Economics of Climate Change – The Stern Review, Cambridge 2006.

UBA (2008): Atomausstieg und Versorgungssicherheit, Dessau 2008.

URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/atomausstieg.pdf>.

UBA (2007): Externe Kosten kennen – Umwelt besser schützen – Die Methodenkonvention zur Schätzung externer Kosten am Beispiel Energie und Verkehr, Berlin 2007.

UBA (2006): Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung, Positionspapier des Umweltbundesamtes zu möglichen Auswirkungen, Potenzialen und Anforderungen, Dessau 2006.

UBA (2001): Untersuchung zur Nachhaltigkeit der Kernenergienutzung – Endbericht zum Vorhaben SR 2404 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stuttgart 2001.

Weizsäcker, Ernst Ulrich von (1989): Erdpolitik – Ökologische Realpolitik an der Schwelle des Jahrhunderts der Umwelt, Darmstadt 1989.

Wuppertal Institut für Klima, Energie und Umwelt (2004): Braunkohle – ein subventionsfreier Energieträger? Kurzstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Wuppertal 2004.

Zabel, Hans-Ulrich (2006): Von der Nachhaltigkeitskonzeption zur Nachhaltigkeitsökonomik und zum Nachhaltigkeitsmanagement. In: Göllinger, Thomas (Hrsg.): Bausteine einer nachhaltigkeitsorientierten Betriebswirtschaftslehre, Festschrift für Eberhard Seidel, Marburg 2006, S. 89-104.

Zabel, Hans-Ulrich (2001): Ökologische Unternehmenspolitik im Verhaltenskontext – Verhaltensmodellierung für Sustainability, Berlin 2001.

Zabel, Hans-Ulrich (1997): Entropie und Kreislaufwirtschaft. In: VDI-Forschungsberichte: Wirtschaft, Wissenschaft und Umwelt, Reihe 15, Nr. 180, Essen 1997, S. 55-97.

Ziesing, Hans-Joachim (2004): Externe Kosten in der Stromerzeugung, Energie im Dialog, Band 4, Frankfurt a.M. 2004.