

## Vergesst doch die Atomkraft!

von Amory B. Lovins, Imran Sheikh und Alex Markevich

Stets hat man uns gesagt, Atomenergie sei ein blühender Industriezweig, der eine spektakuläre Renaissance erlebe, denn sie sei bewährt, nötig, wettbewerbsfähig, zuverlässig, sicher, verlässlich, weit verbreitet, immer beliebter und CO<sub>2</sub>-frei. Sie sei ein perfekter Ersatz für die Kohlekraftwerke mit ihrem hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Neue Atomkraftwerke seien also im Interesse des Klimaschutzes, der Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie und des wirtschaftlichen Wachstums.

Da ist aber ein Haken: Der private Kapitalmarkt investiert nicht in neue Atomkraftwerke. Und ohne Investition findet keine Kraftwerksbestellung statt. Die wenigen Bauaufträge, die fast ausschliesslich in Asien vergeben werden, erfolgen durch zentrale Planer. Und dabei wird tief in die Staatskasse gegriffen. In den Vereinigten Staaten von Amerika haben nicht einmal staatliche Subventionen, die so hoch wie die Kosten des neuen Atomkraftwerks oder noch grösser waren, einen Anreiz auf die Wallstreet auszuüben vermocht.

Der vorliegende Überblicks-Artikel möchte mit möglichst wenig technischen Begriffen die Kosten, das Klimaschutz-Potenzial, die Zuverlässigkeit, die finanziellen Risiken, den Erfolg am Markt, die Verbreitungsgeschwindigkeit und den Beitrag zur Energieversorgung von neuen Atomkraftwerken mit jenen ihrer Konkurrenz, die wenig oder gar kein CO<sub>2</sub> ausstösst, vergleichen. Er erklärt, warum die immer grösser werdenden Subventionen durch die Steuerzahler keine Investoren anzuziehen vermögen. Kapitalgeber ziehen stattdessen Konkurrenzprojekte vor, die das Klima schützen, weniger kosten, kürzere Bauzeiten haben und geringere finanzielle Risiken darstellen. Die Atomindustrie behauptet, sie habe keine ernsthafte Konkurrenz. Diese Konkurrenz produziert aber bereits mehr Energie als die Atomkraftwerke weltweit und wächst viel schneller als der Atomkraftwerkpark.

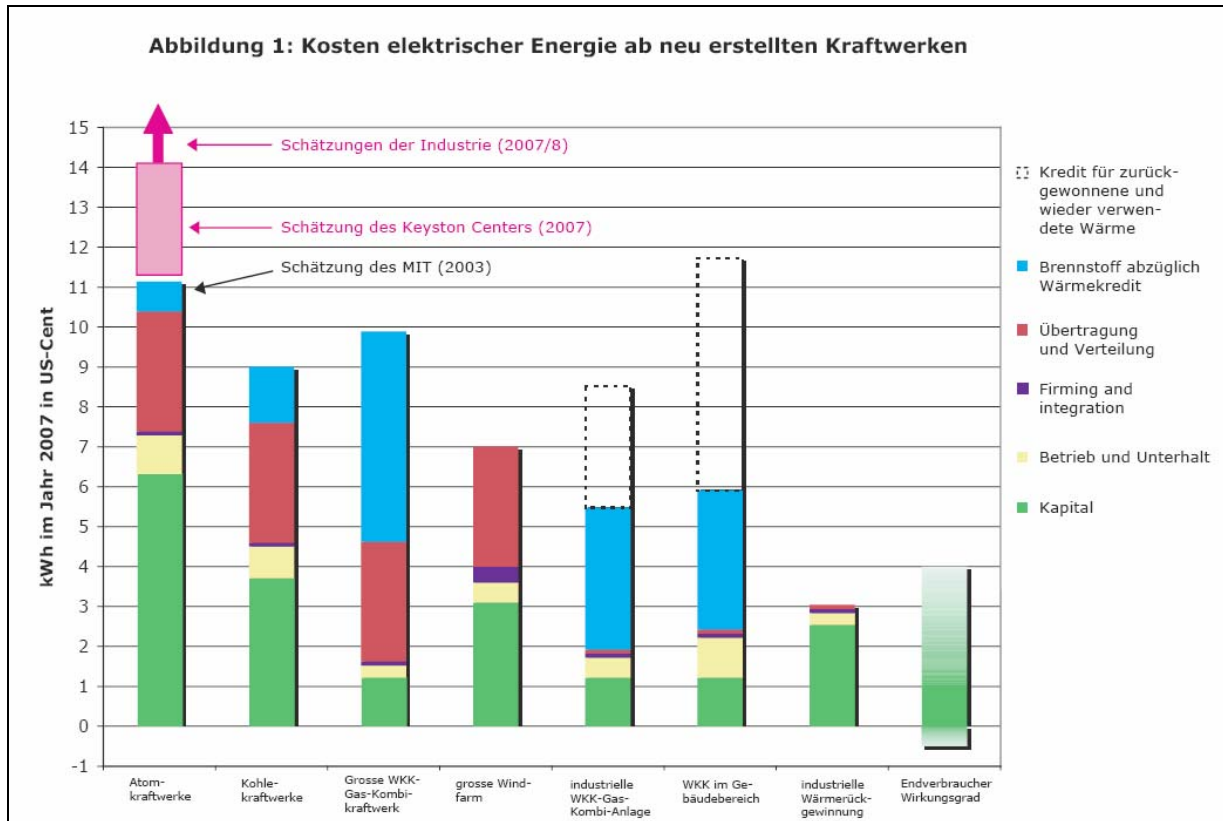
Am auffälligsten ist, dass man beim Vergleich der Fähigkeit aller Konkurrenten, das Erdklima zu schützen und die Energiesicherheit zu verbessern, feststellt, warum Atomenergie nie imstande sein wird, alle diese Versprechen einzulösen; nicht einmal, wenn sie auf dem freien Markt Käufer und Investoren finden würde. Zugleich bieten die CO<sub>2</sub>-freien Konkurrenten der Atomenergie tatsächlich hocheffiziente Klima- und Sicherheits-Lösungen an, schneller und mit grösserer Vertrauenswürdigkeit.

### **Nicht konkurrenzfähige Kosten**

Die Zeitschrift „The Economist“ stellte im Jahre 2001 fest, dass „Atomenergie, die man einst für zu billig hielt, um sie nur schon zu messen, heute zu teuer ist, als dass sie noch eine Rolle spielen könnte“ – günstig im Betrieb, aber sehr kostspielig im Bau. Seither ist sie im Bau noch um ein Vielfaches teurer geworden. Und in ein paar Jahren, wenn die alten Brennstoff-Lieferverträge auslaufen, wird sie auch im Betrieb um ein Vielfaches teurer sein. Die Gesamtkosten übersteigen schon heute deutlich die von anderen konventionellen Kraftwerken (Kohle, Gas, grosse Windfarmen). Noch viel kostengünstiger produzieren die weiter unten beschriebenen Konkurrenten.

Weltweit sind die Baukosten von Atomkraftwerken viel stärker gestiegen als die Baukosten anderer Kraftwerke. Das liegt nicht nur an den markant gestiegenen Preisen von Stahl, Kupfer, Nickel und Zement, sondern auch an der ausgezehrten globalen Infrastruktur, die es für die Konstruktion, den Bau, das Überwachen und Betreiben eines Atomreaktors braucht. Das Vorzeigeprojekt der Atomindustrie, der

finnische Reaktor, der vom französischen Top-Atomkraftwerkbauunternehmen Areva hochgezogen wird, ist nach einer Bauzeit von 28 Monaten um mindestens 24 Monate gegenüber dem Zeitplan im Rückstand. Das Budget ist bereits um 2 Milliarden Dollar überzogen.



Im Jahre 2007 war, wie Abbildung 1 zeigt, die Atomenergie zur teuersten Variante unter all den Optionen geworden. Das zeigt sowohl die massgebliche, aber mittlerweile zu tiefe Schätzung des MIT aus dem Jahre 2003<sup>1</sup>, die Nachbesserung durch das Keystone-Center (Mitte 2007; siehe Abb. 1; rosa Balken) als auch die spätere und noch höhere Schätzung der Industrie (siehe Abbildung 1; rosa Pfeil)<sup>2</sup>.

Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) und Effizienz sind „dezentrale Ressourcen“, die in der Nähe des Endverbrauchers der Energie liegen. Darum vergrössern sie weder die Kapitalkosten noch die Energieverluste des Verteilungsnetzes, das die grossen Kraftwerke und die abgelegenen Windfarmen mit den Stromkonsumenten verbindet<sup>3</sup>. Windfarmen benötigen genau wie Solarzellen<sup>4</sup> eine Stabilisierung („Stromspeicherung“), um ihre variable Einspeisung ins Netz auszugleichen. Alle Arten von Generatoren erfordern eine Form von Backup, also Redundanz, für den Fall eines Defektes. Abbildung 1 stellt diese Kosten dar.

Ein thermisches Kraftwerk erzeugt immer sehr viel Abwärme, die in der Regel ungenutzt bleibt. Industrielle WKK-Anlagen und WKK in der Grössenordnung eines Gebäudes gewinnen die meiste Abwärme zurück und machen so separate Wassererwärmer zur Erzeugung von industriellem Heisswasser oder Heizwasser für die Gebäudeheizung überflüssig. So entsteht der ökonomische „Kredit“ in der Abbildung 1. Elektrische Energie aus WKK und genutzte Wärme aus bisher ungenutzten industriellen Prozessen ist sogar noch preiswerter, denn zur Erzeugung wird kein zusätzlicher Brennstoff gebraucht.<sup>5</sup>

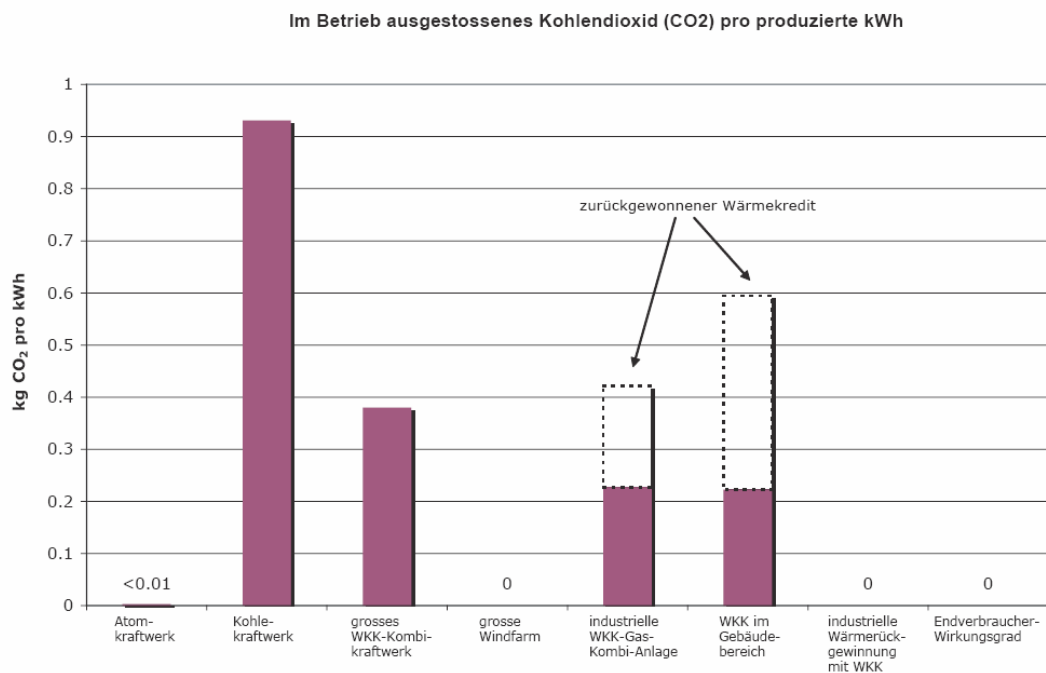
Effizienz des Endverbrauchers bedeutet, dass der Stromkunde aus jeder Kilowattstunde das Maximum herausholt, indem er schlaudere Techniken einsetzt. Wie die Zusammenarbeit des **Rocky Mountain**

Institute (RIM) mit vielen führenden Firmen gezeigt hat, leistet Effizienz die gleichen oder gar bessere Dienste mit weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoss, tieferen Betriebskosten und häufig geringeren Anfangsinvestitionen. Die Investition, um eine Kilowattstunde zu sparen, beträgt überall in den USA etwa zwei Cents, aber war geringer als ein Cent in hunderten von Dienstprogrammen (hauptsächlich für Geschäftskunden) und kann sogar weniger als Null Cent sein bei neuen Büro- und Fabrikgebäuden – und bei einigen Nachrüstungen, die mit ohnehin anstehenden Gebäuderenovationen kombiniert werden.

Wind, WKK und Effizienz des Endverbrauchers bringen elektrische Dienstleistungen bereits preiswerter zum Kunden als zentralisierte Kraftwerke, ob es jetzt Atomkraftwerke oder konventionell-thermische Kraftwerke seien. Dieser Kostenunterschied wird noch grösser, da zentralisierte thermische Kraftwerke eher überaltert sind, während ihre Konkurrenz sich rasch verbessert. Die hohen Kosten von konventionell-thermischen Kraftwerken würden noch höher, wenn ihre hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgefangen und immobilisiert werden müssten.

### Nicht konkurrenzfähige Vermeidung von CO<sub>2</sub>

Im Betrieb setzt ein Atomkraftwerk fast kein CO<sub>2</sub> frei. Der geringe Ausstoss rührt von der Herstellung des Brennstoffs unter den aktuellen Umständen her.<sup>6</sup> Darum wird das Atomkraftwerk als idealer Ersatz für ein kohlebefeuertes thermisches Kraftwerk gefeiert. Aber der scheinbar so logische Ersatz kann auch mit nicht-atomaren Technologien vorgenommen werden, die billiger und schneller verfügbar sind. So bekommt man mehr Entlastung des Klimas pro investierten Dollar und pro Jahr. Abbildung 2 zeigt, dass verschiedene Varianten unterschiedlich viel CO<sub>2</sub> pro produzierte Kilowattstunde ausstossen.

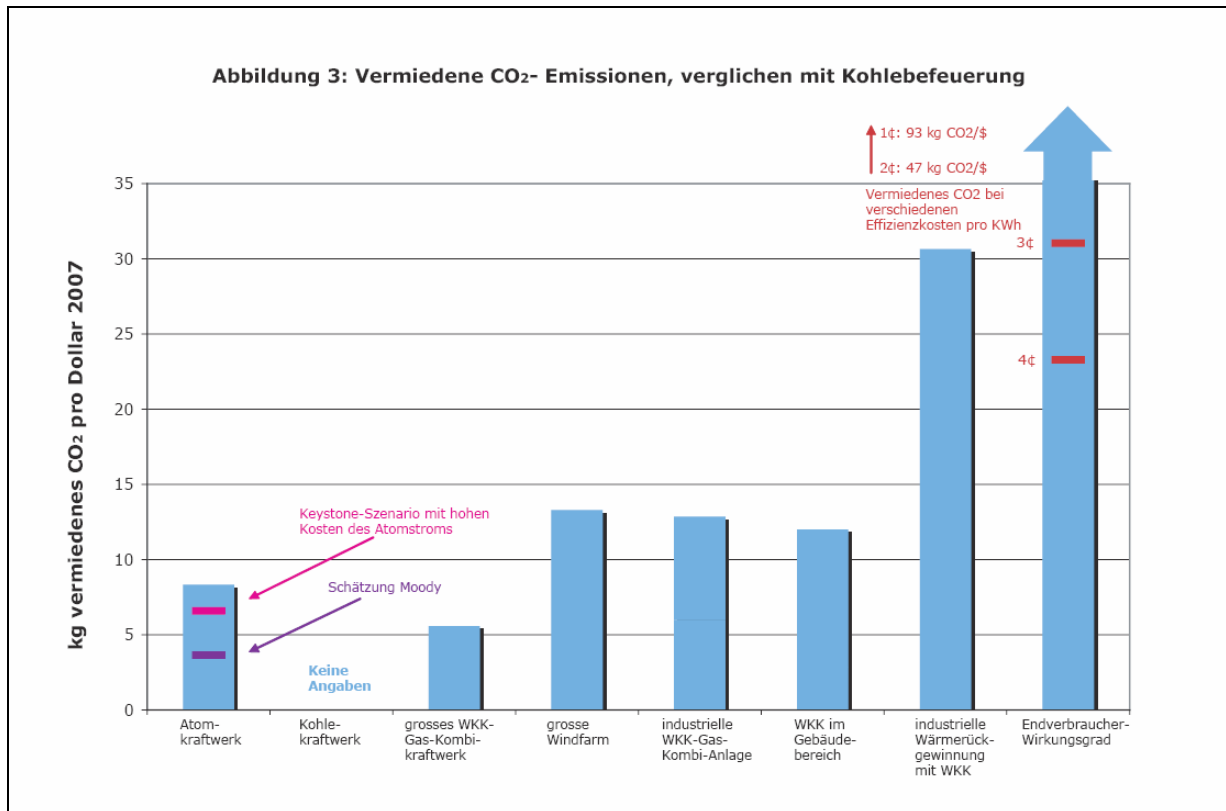


Kohlekraftwerke stossen von allen konventionell-thermischen Kraftwerken pro Kilowattstunde mit Abstand am meisten CO<sub>2</sub> aus. Der Ersatz von Kohlekraftwerken steht also zuoberst auf der Prioritätenliste, wenn es um die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses geht. Eine Kilowattstunde Atomstrom bringt die ungefähr 900 g CO<sub>2</sub> nahezu zum Verschwinden, die bei der Produktion einer Kilowattstunde Kohlestrom freigesetzt werden. Aber genau denselben Effekt hat auch eine Kilowattstunde Windstrom, eine Kilowattstunde aus industrieller WKK mit Wärmerückgewinnung oder eine Kilowattstunde, die dank Effizienz des Endver-

brauchers eingespart wurde. Und eine Kilowattstunde aus einer der letzten drei Ressourcen ohne CO<sub>2</sub>-Ausstoss kostet mindestens einen Drittel weniger als eine Kilowattstunde Atomstrom. Also reduziert man mit ihnen pro Dollar den CO<sub>2</sub>-Ausstoss viel stärker!

Industrielle Gas-Kombi-WKK und WKK im Gebäudebereich verbrennen in der Regel Erdgas; dabei wird ebenfalls CO<sub>2</sub> frei (allerdings nur halb so viel wie bei Kohle). Eine Erdgaskilowattstunde kann also weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoss vermeiden als eine Kilowattstunde Atomstrom, nämlich etwa 700g.<sup>7</sup> Obwohl WKK pro Kilowattstunde weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoss vermeidet als ein Atomkraftwerk, vermeidet diese Technologie pro Dollar Stromkosten mehr CO<sub>2</sub> als Atomstrom, denn sie ist viel preiswerter. Wenn wir davon ausgehen, dass eine Kilowattstunde Strom ab WKK etwa halb so viel wie eine Kilowattstunde Atomstrom kostet, dann erhält man pro Dollar doppelt soviel WKK-Strom wie Atomstrom. Also vermeidet man so 1,4 Kilogramm CO<sub>2</sub> für denselben Preis, mit dem man bei Atomstrom nur 900g vermieden hätte.

Abbildung 3 vergleicht die Kosteneffizienz verschiedener Elektrizitäts-Optionen beim Vermeiden von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wir betrachten sowohl die Kosteneffizienz, gemessen in Kilowattstunden pro Dollar, als auch die Kohlendioxid-Emissionen, falls es diese überhaupt gibt.



Atomenergie ist die teuerste Option und bringt deshalb pro Dollar weniger Kilowattstunden als ihre Konkurrenz. So ist es nicht überraschend, dass Atomstrom auch beim Klimaschutz, gemessen in vermiedenem CO<sub>2</sub> pro Dollar, zu den Verlierern gehört. Noch schlechter ist nur das zentralisierte Erdgas-Kombikraftwerk ohne WKK.<sup>8</sup> Stabilisierte Windenergie und WKK sind 1,5-mal kosteneffizienter als Atomenergie beim Vermeiden von CO<sub>2</sub>. So liegen auch die Effizienzkosten bei unglaublichen 7 Cents pro Kilowattstunde. Die Effizienz bei üblicherweise beobachteten Kosten schlägt die Atomenergie mit grossem Vorsprung – zum Beispiel um etwa das Zehnfache für Effizienzkosten von 1 Cent pro Kilowattstunde.

Neue Atomenergie ist so teuer, dass man beim Verschieben eines ausgegebenen Dollars vom Atomstrom zur Effizienz das Klima sieben mal besser schützt, als wenn man einen ausgegebenen Dollar von der

Kohle zur Atomenergie verschiebt. Unter durchaus vernünftigen Annahmen kann man zeigen, dass das Ausgeben eines Dollars für neue Atomenergie statt für effiziente Nutzung der elektrischen Energie für das Klima schlechter ist als wenn man den Dollar für ein neues Kohlekraftwerk ausgegeben hätte! Wenn uns Massnahmen gegen den Klimawandel wirklich ein ernsthaftes Anliegen sind, müssen wir unsere Investitionen gut überlegen, um den Klimaschutz auszuweiten und zu beschleunigen. Weil Atomenergie teuer ist und der Bau von Atomkraftwerken viel Zeit in Anspruch nimmt, führt die Beschaffung von mehr Atomstrom anstelle von Strom der billigeren, flexibleren Konkurrenz letztlich zu einer Reduktion und Verlangsamung des Klimaschutzes!

### **Fragwürdige Zuverlässigkeit**

Alle Kraftwerke bzw. Generatoren können eine Panne haben. Die Unterschiede liegen bei den Gründen, der Häufigkeit, beim Umfang, bei der Dauer des Ausfalls und bei der Wahrscheinlichkeit einer Panne. Auch die zuverlässigsten und grössten Kraftwerke produzieren die elektrische Energie nicht ununterbrochen: Wenn sie ausfallen, dann fehlt ein Leistungs-Brocken im Gigawatt-Bereich. Und das kann dann erst noch ziemlich lange dauern. Von allen fertig gestellten 132 Atomkraftwerken in den USA (das sind 52 % der ursprünglich 253 bestellten Kraftwerke) waren 21 % ständig und unvorhergesehen wegen Zuverlässigkeits- und Kosten-Problemen nicht am Netz, während weitere 27 % zumindest einmal für ein Jahr oder länger ausfielen. Auch zuverlässig betriebene Atomkraftwerke müssen durchschnittlich für 39 Tage alle 17 Monate für Unterhalts- und Revisionsarbeiten abgeschaltet werden. Um mit diesen Ausfällen von Atomkraftwerken und grossen konventionell-thermischen Kraftwerken, die während etwa 8 % der Zeit nicht am Netz sind, umgehen zu können, müssen die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) etwa 15 % Produktions-Überkapazität betreiben. Einige dieser Reserve-Kraftwerke arbeiten sogar ständig im Leerlauf, um im Bedarfsfall sofort bereit zu sein! Gebiete, die sehr stark vom Atomstrom abhängig sind, gehen besonders grosse Risiken ein, denn eine Dürre, ein ernsthaftes Sicherheitsproblem, oder ein terroristischer Zwischenfall können den gleichzeitigen Ausfall gleich mehrere Atomkraftwerke gleichzeitig verursachen.

Atomkraftwerke haben noch einen weiteren Nachteil: Aus Sicherheitsgründen müssen sie im Falle einer Panne sofort abgeschaltet werden können; aus kernphysikalischen Gründen können sie nachher nicht sofort wieder eingeschaltet werden. Während des Stromausfalls im Nordosten der USA im August 2003 mussten neun tadellos funktionierende Atomkraftwerke abgeschaltet werden. Zwölf Tage später, während denen sie langsam wieder hochgefahren wurden, hatte ihr mittlerer Kapazitätsverlust die 50 % - Grenze überschritten. Während den ersten drei Tagen, als sie am nötigsten gewesen wären, lag ihre mittlere Energieabgabe 3 % tiefer als unter Normalbetrieb.

Die grossen Übertragungsleitungen, die wegen konzentrierten Atomkraftwerken nötig sind, sind verletzlich für Gewitter, Eisstürme, Gewehrgeschosse und andere Störungen. Je grösser unsere Kraftwerke und Leitungen werden, umso häufiger und verbreiteter werden regionale Stromausfälle. Weil 98 bis 99 % der Ausfälle von den Übertragungsleitungen ausgehen, wird die Zuverlässigkeit grösser, wenn man das Verteilnetz weglässt und stattdessen zu effizient genutzten, diversifizierten und gut verteilten Ressourcen übergeht, die sich in der Nähe der Stromkonsumenten befinden. Zudem ist es viel unwahrscheinlicher, dass viele kleine Produktionseinheiten gleichzeitig eine Panne hat. Ihre Unterschiedlichkeit und geographische Verteilung machen sie insgesamt extrem zuverlässig, auch wenn die einzelne Produktionseinheit nicht einmal sonderlich zuverlässig ist.

Die Sonne scheint nicht ständig auf ein bestimmtes Solarpanel; ein bestimmter Windgenerator steht nicht immer in einer steifen Brise. Und doch sind sowohl die Windenergie, deren globales Potenzial 35 mal so gross ist wie der Weltbedarf an elektrischer Energie, als auch die Sonnenenergie, von der innert etwa 70 Minuten soviel auf die Erde fällt, wie die ganze Menschheit jedes Jahr braucht, bei richtiger Stabilisierung imstande, zuverlässig Strom zu liefern, ohne dass die Reserveleistung oder Speicherung hohe Kosten verursachen würden. Diese variablen erneuerbaren Energiequellen werden gemeinsam zuverlässig, wenn sie im Typ und in der räumlichen Anordnung diversifiziert werden und wenn sie mit drei Typen von

Ressourcen integriert werden: mit kontinuierlichen Erneuerbaren (geothermischen Kraftwerken, kleinen Wasserkraftwerken, Biomasse-Kraftwerken, usw.), bestehenden konventionell-thermischen Kraftwerken und der richtigen Reaktion auf die Kundennachfrage. Zu dieser Integration gehören die Wettervorhersage, um die zu erwartende Leistung der verschiedenen erneuerbaren Quellen zu prognostizieren, und Hilfsmittel, um die Nachfragemuster und die Produktion der Wasserkraftwerke zu prognostizieren. Um die Elektrizitätsproduktion trotz grosser Anteile an Wind- und Sonnenenergie im Kraftwerksportfolio zuverlässig aufrecht erhalten zu können, braucht es nicht in erster Linie Reserve- oder Speicherkapazitäten, sondern Hilfsmittel, die für die Steuerung der Leistung grosser konventionell-thermischer Kraftwerke ohnehin schon vorhanden sind. Das Gerücht, erneuerbare Energiequellen seien unzuverlässig, wurde schon längst sowohl durch die Theorie als auch durch die praktische Erfahrung Lügen gestraft.

### **Grosse Subventionen, um von grossen finanziellen Risiken abzulenken**

Beim jüngsten Atomkraftwerk-Projekt in den USA rechnet man mit Kosten von 12 bis 24 Milliarden Dollar (bei einer Leistung von 2,2 bis 3,0 Gigawatt). Dieser Betrag liegt um ein Mehrfaches über den Schätzungen der Industrie und ist ausserhalb der Darstellung der Abbildung 1. Die Besitzerin, eine grosse Holding-Gesellschaft, die in 27 US-Bundesstaaten aktiv ist, hat jährliche Einnahmen von nur 15 Milliarden Dollar. Solch hohe und extrem schwer abschätzbare Kosten machen nun die Finanzierung von Atomkraftwerken, die dem freien Markt ausgesetzt sind extrem teuer, was in jener Hälfte der USA der Fall ist, wo das Elektrizitätsversorgungssystem umgebaut worden ist. In der anderen Hälfte der USA ist das Projekt extrem anfällig auf politisch herausfordernde, plötzliche Änderungen der Zinssätze: Eine neue Kilowattstunde Atomstrom kostet z.B. 16 Cents. Wenn dieser Betrag über Jahrzehnte hinweg „nivelliert“ werden soll, muss die Betreiberfirma im ersten Betriebsjahr mindestens 27 Cent pro Kilowattstunde haben, um die hohen Investitionskosten tragen zu können.

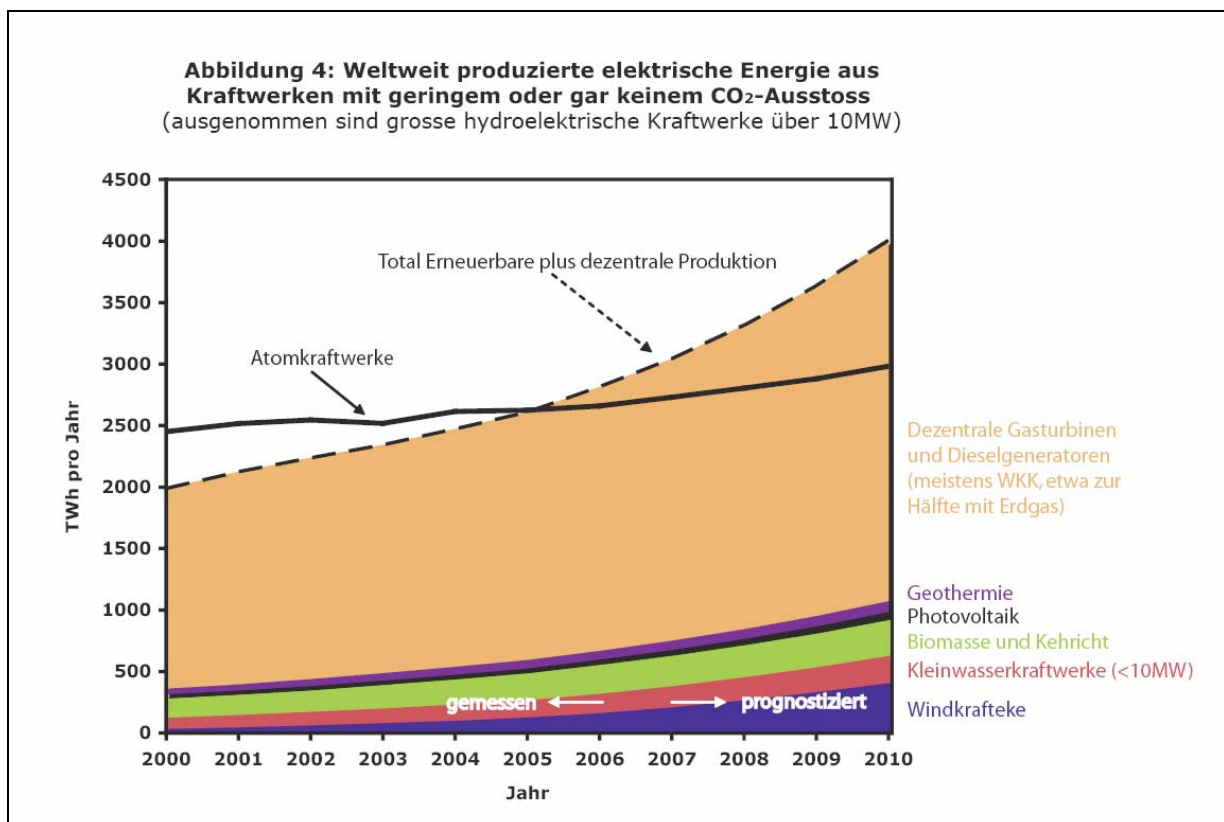
Nachdem sie von den Investoren im Stich gelassen werden, wenden sich die Förderer der Atomenergie einmal mehr an die Steuerzahler, die schon den Grossteil des nuklearen Unfallrisikos tragen und die beim Erteilen von Betriebsbewilligungen herzlich wenig zu sagen haben. In den USA versichern die Steuerzahler die Betreiber der Atomkraftwerke auch gegen legale oder regulatorische Verzögerungen und haben schon jahrzehntelang bestehende Atomkraftwerke mit 1 bis 5 Cents pro Kilowattstunde subventioniert. Im Jahre 2005 erreichte die politisch mächtige Atomlobby eine Erhöhung dieser Subventionen auf 5 bis 9 Cent pro Kilowattstunde für neue Atomkraftwerke oder 60 bis 90 % der gesamten projektierten Anlagekosten. Sie hoffte damit neue Anlagen finanziell attraktiver machen zu können. Wallstreet reagierte aber nicht mit Investitionen. Im Jahr 2007 setzte die Atomindustrie erleichterte gesetzliche Vorschriften durch, die ihre 100 % Darlehens-Garantie (für eine 80 %ige Schulden-Finanzierung) noch wertvoller machten – das Ganze macht, gestützt auf die Daten eines Projekts, für eine einzige Atomanlage etwa 13 Milliarden Dollar aus. Aber die gestiegenen Kosten hatten mittlerweile die 4 Milliarden Dollar-Darlehens-Garantie aus dem Jahre 2005 für einen einzelnen Reaktor schon zu klein werden lassen. Darum erhöhte der Kongress die Garantie der Steuerzahler auf 18,5 Milliarden Dollar. Im Jahre 2008 wird der Kongress um eine weitere Darlehens-Garantie von über 30 Milliarden Dollar angegangen werden. In der Zwischenzeit hat das unparteiische Budget-Büro des Kongresses entschieden, dass Verluste wahrscheinlich seien.

Die Wallstreet bezweifelt nach wie vor, dass Atomenergie wirklich so konkurrenzfähig ist, wie behauptet wird. Soeben hat Warren Buffet ein Atomprojekt aufgegeben, weil es „ökonomisch keinen Sinn macht.“ Und mit ihm wollen sich auch andere Kapitalgeber aus dem Atomgeschäft zurückziehen. Das Atomenergie-Institut versucht darum, die allzu rosigen Erwartungen, die es zu wecken hoffte, etwas zu dämpfen. Es sagt jetzt, die Bestellungen für neue Atomkraftwerke in den USA kämen nicht in Form einer Flutwelle, sondern als zwei kleine Wellenberge: Bis 2015 oder 2016 würden fünf bis acht neue Atomkraftwerke ans Netz gehen. Falls deren Bau unter Einhaltung von Budget und Zeitplan abgelaufen sei, würde eine zweite Staffel kommen. Sogar dieses Szenario wird von manchen erfahrenen Fachleuten aus der Energieindustrie im privaten Kreis angezweifelt. Auf dem heutigen Kapitalmarkt können die Behörden nur etwa so viele neue Atomkraftwerke bauen, wie sie dem Steuerzahler Geld für deren Finanzierung abknöpfen können.

### Die Revolution der „Kleinstkraftwerke“

Während sich die Atomenergie erfolglos bemüht, privates Kapital anzuziehen, sind Investoren auf billigere, schnellere, risikoärmere Alternativen umgestiegen, die von der Zeitschrift The Economist „Kleinstkraftwerke (micropower)“ genannt werden. Das sind dezentrale Turbinen und Generatoren in Fabriken oder Gebäuden (in der Regel handelt es sich hierbei um Wärmekraftkopplungsanlagen) und alle erneuerbaren Elektrizitäts-Quellen mit Ausnahme grosser Wasserkraftwerke mit Dämmen (über 10 Megawatt). Diese Alternativen übertrafen im Jahr 2002 leistungsmässig bereits die gesamte global installierte Atomkraftwerksleistung. Im Jahr 2006 übertrafen sie die Produktion des globalen Atomkraftwerksparks. Am globalen jährlichen Zuwachs an Produktionskapazität für elektrische Energie macht die Atomenergie etwa 2 % aus, während die „Kleinstkraftwerke“ (gemittelt über die Jahre 2004 bis 2007) 28 % ausmachen; ihr Anteil wird 2007/2008 wohl noch grösser sein.

Ein noch preiswerterer Konkurrent ist die Endverbraucher-Effizienz (genannt „Negawatt“): Hier wird Elektrizität gespart, indem sie effizienter oder zu besser gewählten Zeitpunkten eingesetzt wird. Obwohl die Subventionen hier in der Regel kleiner sind als im Atommarkt und obwohl viele Hindernisse bestehen bezüglich fairem Markteintritt und Wettbewerb, haben Negawatt und Kleinstkraftwerke in jüngster Zeit auf dem weltweiten Markt grosse Erfolge gehabt. Die aktuelle und die von der Industrie prognostizierte Stromproduktion durch Kleinstkraftwerke läuft jener der Atomkraftwerke längst davon. Dazu muss man nicht einmal das schwer berechenbare zusätzliche Wachstum in Negawatts oder irgendwelche fossil befeuerten Generatoren unter 1 Megawatt mitzählen (siehe Abbildung 4).



Die Atomindustrie behauptet nach wie vor, ihre einzigen ernsthaften Konkurrenten seien grosse Kohle- und Gaskraftwerke. Aber auf dem Markt haben sich die Fronten bereits verschoben: Jetzt konkurrieren sich grosse thermische Kraftwerke und Kleinstkraftwerke einerseits und Megawatt und Negawatt andererseits. In den USA wurde zum Beispiel allein im Jahr 2007 mehr Windkraftwerksleistung zugebaut als in den fünf letzten Jahren aufsummiert Kohlekraftwerksleistung zugebaut wurde. Indem sie alle zentralisierten thermischen Kraftwerke zusammen überbieten, erbringen Kleinstkraftwerke und Negawatt

zusammen etwa die Hälfte der neuen globalen elektrischen Dienstleistungen. Kleinstkraftwerke allein liefern heute einen Sechstel des weltweiten Bedarfs an elektrischer Energie. In zwölf Industrieländern liefern sie sogar zwischen einem Sechstel und mehr als der Hälfte des Bedarfs (die USA liegen mit bloss 4 % ganz weit hinten).

In diesem breiter skizzierten Konkurrenzkampf können hohe Preise oder steuerliche Abgaben für Kohlendioxid-Emissionen die Atomenergie nicht vor ihrem Schicksal retten. Falls die Atomenergie sich nur gegen Kohlenstrom wehren müsste, könnte sie mit Preisen für Kohlendioxid-Emissionen, die weit über dem aktuellen Marktwert liegen, noch gerettet werden. Aber der Konkurrent des Atomstroms ist nicht der Kohlenstrom! Höhere Preise für Kohlendioxid-Emissionen würden allen Ressourcen, die gar kein Kohlendioxid produzieren (Erneuerbare, WKK mit Wärmerückgewinnung und Negawatt), genauso wie der Atomenergie helfen. Und sogar fossil befeuerte Kraftwerke mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoss dank WKK wären noch im Vorteil.

### **„Klein“ bedeutet schnell, risikoarm und mit grossem Gesamtpotenzial**

Kleine, schnell erbaute Einheiten entfalten den gewünschten Gesamteffekt schneller als einige wenige grosse, langsam erbaute Kraftwerke. Breit zugängliche Angebote, die verkauft werden wie Handys oder Computer, können gesamthaft schneller mehr bewirken als riesige Kraftwerksanlagen, die gebaut werden wie mittelalterliche Kathedralen. Zudem können sich kleine Kraftwerkseinheiten der sich ändernden Nachfrage nach Elektrizität örtlich und zeitlich besser anpassen. Sogar ein Windgenerator mit mehreren Megawatt kann so schnell errichtet werden, dass in den USA hundert Gigawatt zusätzliche Windenergie installiert sind, bevor das erste Gigawatt neue Atomenergie (wenn überhaupt je ...) ans Netz geht.

Kleine, schnell erbaute Einheiten bedeuten auch finanziell viel kleinere Risiken als grosse, langsam erbaute. Dieser finanzökonomische Vorteil ist bloss die Spitze eines noch viel grösseren Eisbergs: Die über 200 unterschiedlichen, verborgenen finanziellen und technischen Vorteile machen Kleinstkraftwerke etwa zehnmal wertvoller ([www.smallisprofitable.org](http://www.smallisprofitable.org)), als die gegenwärtigen Preise oder obige Kostenvergleiche vermuten lassen. Die meisten Vorteile sind auch auf Negawatts anwendbar.

Trotz ihrer geringen individuellen Grösse addieren sich die Kleinstkraftwerke und Negawatts zu einer imposanten Gesamtleistung. Innerhalb der nächsten Jahrzehnte können Kleinstkraftwerke und Negawatts die Last der gesamten Versorgung unserer Wirtschaft mit elektrischer Energie übernehmen. Das Forschungsinstitut für elektrische Energie (Electric Power Research Institute [EPRI]), der „Think Tank“ der Elektrizitätsversorger, hat errechnet, dass das Negawatt-Potenzial der USA (billiger als bloss ein bestehendes Atomkraftwerk laufen zu lassen und die erzeugte elektrische Energie abzuliefern) zwei- bis dreimal so gross ist wie der Beitrag von 19 %, den die Atomkraftwerke zum Elektrizitätsmarkt der USA beitragen. Das RMI hat eine detailliertere Studie gemacht und einen noch grösseren Faktor gefunden. WKK in den Fabriken der USA kann soviel Strom produzieren wie die Atomkraftwerke; der Beitrag wird noch grösser, wenn WKK in Gebäuden, die 69 % der amerikanischen elektrischen Energie konsumieren, noch dazu kommt. Windkraftwerke an akzeptablen Standorten in den USA können zu konkurrenzfähigen Preisen mindestens das Doppelte an Strom produzieren, das die gesamte Nation konsumiert. Andere Erneuerbare können den Beitrag noch vergrössern, ohne wesentlichen Landverbrauch, ohne Variabilität der Produktion oder andere Einschränkungen. Also können allein WKK, Windenergie und Stromeffizienz – alle zu konkurrenzfähigen Preisen – die gegenwärtige Produktion der Atomkraftwerke in den USA etwa um den Faktor 14 übertreffen.

Die Atomenergie mit ihren jahrzehntelangen Projektierungszyklen, den Schwierigkeiten der Standortwahl und (in erster Linie) ihrer fehlenden Attraktivität für privates Kapital kann hier ganz einfach nicht mithalten. Im Jahr 2006 hat sie zum Beispiel weltweit weniger Leistung zugebaut als die Photovoltaik oder nur einen Zehntel des Zubaus an Windenergie oder 30 bis 41 mal weniger als die Mikrokraftwerke. Die Erneuerbaren (ausgenommen sind die Grosswasserkraftwerke) erhielten 56 Milliarden Dollar privates Risiko-Kapital; die Atomkraft erhielt wie üblich nichts. Die in China installierte Leistung in dezentralen erneuer-

baren Kraftwerken war siebenmal grösser als jene der Atomenergie; die Erneuerbaren wuchsen siebenmal schneller. Im Jahr 2007 bauten China, Spanien und die USA je einzeln mehr Windenergie zu als weltweit Atomenergie zugebaut wurde. Die Atomindustrie posaunt ihr ach so grossartiges Wachstum hinaus, dabei sind die Kleinstkraftwerke leistungsfähiger und wachsen 18-mal schneller.

### **Sicherheitsrisiken**

Zu Recht nennt Präsident Bush die Verbreitung von Atomwaffen die grösste Gefahr für die USA. Aber diese Proliferation wird ganz wesentlich unterstützt und erleichtert durch die Verbreitung von Material, Ausrüstung, Wissen und Kenntnissen im Zusammenhang mit dem Bau von Atomkraftwerken. Und das alles versteckt sich hinter einer unschuldig aussehenden zivilen Tarnung. Die Wiederaufbereitung von Kernbrennstoff, die Präsident Bush ja wieder aufnehmen möchte, macht die Handhabung von Atomabfällen viel komplizierter, erhöht die Kosten und fördert die Proliferation von Atomwaffen. Dagegen würde das Anerkennen der Tatsache, dass Atomkraft auf dem Markt versagt hat, und die Hinwendung zu sicheren, kostengünstigen Energie-Optionen für die weltweite Entwicklung diejenigen demaskieren und bestrafen, die Atomwaffen verbreiten, indem die Bestandteile, die zum Bau von Bomben nötig sind, viel schwerer zu beschaffen wären. Wer diese Bestandteile dennoch beschaffen wollte, müsste viel verdeckter vorgehen. Wer beim Versuch der Beschaffung schliesslich ertappt würde, hätte einen grossen politischen Gesichtsverlust zu erleiden. Das würde die Proliferation viel schwieriger machen. Zudem wäre sie leichter rechtzeitig zu entdecken, indem die spärlichen nachrichtendienstlichen Mittel auf die Nadeln statt auf die Heuhaufen angesetzt werden könnten.

Die Atomkraft steht auch vor anderen einmalig grossen Herausforderungen wie zum Beispiel den langlebigen radioaktiven Abfällen, der Möglichkeit von Unfällen von katastrophalen Ausmassen oder der Verletzlichkeit gegenüber terroristischen Angriffen. Aber in einer Marktwirtschaft hat diese Technologie auch ohne derartige Probleme keine Chancen; also müssen wir hier auf solche Gesichtspunkte gar nicht eintreten.

### **Schlussfolgerungen**

Warum halten Leute, die sonst gut informiert sind, die Atomkraft nach wie vor für ein Schlüsselement einer guten Klimastrategie? Jedenfalls nicht, weil diese Auffassung einer gewissenhaften Analyse standzuhalten vermöchte. Es scheint eher, die Gründe lägen in einer oberflächlich attraktiven Story, bei einer unheimlich starken und effizienten Lobby, bei einer neuen Generation, die vergessen hat oder gar nie wusste, warum die Atomkraft schon früher versagt hat (seither hat sich fast nichts verändert), bei Führern in fast allen grossen Regierungen, die der Atomkraft gegenüber positiv eingestellt sind, bei tief verwurzelten Gewohnheiten und bei Gesetzen, die riesige Kraftwerke gegenüber dezentralen Lösungen bevorzugen und die ein übertrieben grosses Angebot einem effizienten Einsatz vorziehen, bei der Tatsache, dass die wirklichen Gewinner im freien Markt in vielen offiziellen Statistiken gar nicht auftauchen (die häufig nur die grossen Kraftwerke im Besitz der Elektrizitätsversorger überhaupt erfassen) und bei schludriger Berichterstattung durch eine haarsträubend unkritische Presse.

Ist es nicht an der Zeit, dass wir die Atomkraft endlich vergessen? Geldgeber, die Bescheid wissen, glauben nicht mehr an sie. PolitikerInnen und ExpertInnen sollten ihrem Beispiel folgen. Nach mehr als einem halben Jahrhundert hingebungsvoller Anstrengung und mit Subventionen aus der Staatskasse von einer halben Billion (d.h. eine Million Millionen) Dollars kann die Atomkraft auf dem Markt nach wie vor nicht bestehen. Wenn wir dieses eindeutige Verdikt des Marktes akzeptieren, können wir endlich weiterfahren, indem wir die besten Käufe zuerst tätigen: Erprobte und weit verbreitete Verfahren, um mehr Kohlendioxid pro investierten Dollar zu vermeiden; Verfahren, die schneller, sicherer, zuverlässiger und von der Öffentlichkeit erst noch besser akzeptiert sind. Wie schon oft in der Vergangenheit, besteht auch jetzt das Finden einer vernünftigen Klima- und Sicherheitsstrategie darin, die Signale der Marktwirtschaft ernst zu nehmen.

Amory Lovins ist Physiker und Mitbegründer, Vorsitzender und Chef-Wissenschaftler des Rocky Mountain Institute (RMI), wo Imran Sheikh als Forschungs-Analytiker arbeitet und Alex Markevich Vizepräsident ist.

Amory Lovins hat sehr viele Elektrizitätsunternehmen beraten, von denen einige auch Atomkraftwerke betreiben. Die Verfasser bedanken sich bei ihrem Kollegen Dr. Joel Swisher für seine hilfreichen Kommentare und bei vielen zitierten und nicht zitierten Quellen für ihre Unterstützung. Ein technischer Artikel, der als Vorabdruck einer Publikation in der Ausgabe vom September 2008 in der Zeitschrift „Ambio“ (Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften) erhältlich ist [www.rmi.org/sitepages/pid257.php#E08-01](http://www.rmi.org/sitepages/pid257.php#E08-01), ergänzt diese Zusammenfassung mit allen Einzelheiten und einer umfassenden Dokumentation. Am RMI wird eine globale Datenbank der Kleinstkraftwerke, gestützt auf industrielle und öffentliche Quellen, geführt. Sie ist insgesamt bis und mit 2006, stellenweise schon bis und mit 2007, nachgeführt: [www.rmi.org/sitepages/pid256.php#E05-04](http://www.rmi.org/sitepages/pid256.php#E05-04).

#### Fussnoten:

1. Diese konservative Annahme wird als Grundlage aller Vergleiche in diesem Artikel verwendet.
2. Alle Geldbeträge in diesem Artikel sind US-Dollars im Jahre 2007. Alles sind Näherungswerte und gelten für die entsprechenden Technologien in den USA im Jahre 2007. Kapital und Betriebskosten werden über die Lebensdauer der Investition ausgemittelt.
3. Dezentrale Kraftwerke mögen für Reserveleistung im Notfall schon auf das Verteilnetz abstützen, aber solche Reserve-Kapazität wird selten beansprucht und erfordert darum nicht einmal eine geringfügige Vergrößerung der Netzkapazität. Dies im Unterschied zum Bau von neuen, zentralisierten Grosskraftwerken. Ja, im Normalfall erlauben diversifizierte, dezentrale Kraftwerke eine Reduktion der beanspruchten Netzkapazität; Netzreserven stehen dann für andere Verbraucher zur Verfügung.
4. In der Abbildung 1 ist Sonnenenergie nicht berücksichtigt, weil die Gesteungskosten solarer Elektrizität stark von der Art der Anlage und deren Finanzierung abhängen. Aus der Abbildung 4 ist ersichtlich, dass Photovoltaik im Moment eine der kleineren Quellen erneuerbarer Elektrizität ist. Elektrizität aus solarthermischen Kraftwerken macht einen noch vielen kleineren Anteil aus.
5. Ein ähnlicher Kredit für vermiedenen Brennstoff zur Wassererwärmung kann es dieser Technologie sogar ermöglichen, Elektrizität mit negativen Kosten zu produzieren. Das Diagramm vernachlässigt in konservativer Art solche Kredite (die stark anlagen-abhängig sind) und stellt einen typischen positiven Verkaufspreis dar.
6. Wir vernachlässigen hier die bescheidenen und gut vergleichbaren Energiebeträge, die zur Herstellung eines Generators jeglicher Bauart benötigt werden (Graue Energie). Ebenso vernachlässigen wir mögliche Energiebeträge, die für die langfristige Handhabung des atomaren Abfalls oder für die Extraktion von Uran aus Erzen mit geringem Urangehalt nötig sind.
7. Da die genutzte Abwärme bei WKK Brennstoff zur Wassererwärmung ersetzt, vermeidet WKK mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde als ein grosses gasbefeuertes Kraftwerk.
8. Wenn auf lange Sicht die Gaspreise niedriger als die hier angenommenen (7,72 Dollar pro 1,055 GJ [= 1 Mio British Thermal Units (BTU)]) sind und wenn man die aktuell hohen atomaren Kosten berücksichtigt, dann könnten die WKK-Kombi-Kraftwerke pro Dollar mehr CO<sub>2</sub> vermeiden als Atomkraftwerke. Dies könnte sogar schon mit den hier angenommenen Preisen möglich sein, wenn man die Fähigkeit der WKK-Kombi-Kraftwerke zu lastgeführtem Betrieb sauber in Rechnung stellt. Damit ergänzen sie in idealer Weise saubere, billigere, variable, erneuerbare Quellen wie z.B. die Windenergie.
9. Daten für dezentrale Gasturbinen und Dieselgeneratoren berücksichtigen Generatoren mit einer Leistung von weniger als einem Megawatt nicht.