

100 % Erneuerbaren Energien – Wie schnell kommt die Energiewende im Stromsektor?

Nur durch Erneuerbare Energien wird auf absehbare Zeit der Strom für alle bezahlbar bleiben. Die Energiewende ist spätestens 2020 erreichbar.

Dipl. Ing. Andreas Henze, Solarwerkstatt Freising

Probleme der heutigen Energiewirtschaft

Seit über 20 Jahren wissen wir um die Problematik des anthropogenen Klimawandels. Schon 1894 - also vor über 110 Jahren - gab es erste Hinweise dazu von Arvid Gustav Högbom.

Doch ist unsere heutige weltweit organisierte Energieversorgung nicht nur für den Klimawandel verantwortlich, sondern sie verursacht ebenfalls zahlreiche Kriege. Zudem birgt sie große soziale Ungerechtigkeiten in sich.

Unglaublicher Energiemüll

Pro Bundesbürger fallen im Schnitt jedes Jahr 1,5 t Hausmüll an. Pro Person produzieren wir jährlich rund 10 t Energiemüll in Form von CO₂: Kaum jemanden sind diese Mengen von uns produzierten Mülls bewusst!

Nebenbei benötigen wir enorme Mengen Sauerstoff, um die in den fossilen Energien gebundenen Kohlenstoffmoleküle zu verbrennen und in das Klimagas CO₂ zu verwandeln. Vergleichen wir die Gewichte von Hausmüll und Energiemüll, so werfen wir also fast das Siebenfache an Energiemüll weg. Berechnen wir unseren Energiemüll als Volumen, da der Müll hauptsächlich als Gas anfällt, so wird das Ausmaß noch unfassbarer: Jeder von uns ist im Schnitt verantwortlich für 5000 m³ Energiemüll im Jahr – das entspricht dem zweieinhalbfachen Volumen eines gefüllten 50m-Wettkampf-Schwimmbeckens.

Dazu kommen in der Bundesrepublik noch radioaktive Abfälle von rund 400 t jährlich, die wir über 100.000 Jahre unter sicherem Verschluss halten müssen. Dies ist in keiner menschlichen Gesellschaft risikolos möglich, denn der Mensch ist nicht unfehlbar.

Kritischer Klimawandel

Die neuesten, 2007 veröffentlichten Berichte des Nobelpreisträgers IPCC (intergovernmental panel of climate change) lassen keinen Zweifel an dem vom Menschen verursachten Klimawandel. Die Gutachten listen die bisherigen Änderungen des Klimas und die Folgen des Treibhauseffektes auf und teilen sie nach der wissenschaftlichen Sicherheit der Prognose in verschiedene Kategorien ein.

Als Ursache für die Klimaveränderung nennt IPCC hauptsächlich den CO₂-Anstieg, in kleinerem Umfang der Anstieg anderer Treibhausgase wie z.B. Methan. Die Auswirkung der Änderung der solaren Einstrahlung wird dagegen als gering bezeichnet.

Folgende Beobachtungen wurden festgehalten:

- Die Erwärmung der Erdoberfläche ist ohne jeden Zweifel vorhanden.
- Die Häufigkeit heftiger Niederschläge hat weltweit zugenommen.
- Die Temperaturen in den letzten 50 Jahren waren sehr wahrscheinlich höher als in den letzten 500 Jahren; wahrscheinlich sogar höher als in den letzten 1300 Jahren.

- Alleine in den letzten 27 Jahren hat die schneebedeckte Fläche um ca. 5% abgenommen.
- Weltweit schrumpfen die Gletscher.
- Das Meereis verzeichnet in der Arktis einen Rückgang um 8% im Jahr.
- Die Eisschilde auf Grönland und der Antarktis schmelzen bzw. brechen ins Meer.
- Der Meeresspiegel ist im 20. Jahrhundert um 17 cm angestiegen. Ursache für mehr als die Hälfte des Anstiegs war die thermische Ausdehnung der wärmer werdenden Ozeane.

Das IPCC erwartet die folgenden Veränderungen:

- Zwischen 2090 und 2100 wird es eine globale Erwärmung zwischen 1,8°C und 4,0°C geben, am stärksten im Norden (Nordpol und weiträumige Umgebung).
- Für den gleichen Zeitraum werden 18-38 cm Meeresspiegelanstieg im niedrigsten Szenario, 26-59cm für das höchste Szenario vorausgesagt.
- Einen weiteren Anstieg der Meeresspiegel über viele Jahrhunderte – selbst dann, wenn die CO₂-Emissionen vollständig zurückgefahren werden: Die tieferen Schichten der Ozeane werden erst über einen längeren Zeitraum von den oberflächennahen Schichten erwärmt.
- Nach Modellrechnungen wird das Grönlandeis bei einer dauerhaften Erwärmung über 3°C vollständig abschmelzen. Dies entspricht dann einem Meeresspiegelanstieg um sieben Meter!
- Sehr wahrscheinlich werden die Niederschläge in den höheren Breiten zunehmen, während sie sich wahrscheinlich in den Tropen, den Subtropen und im Mittelmeerraum verringern.

Verheerende Kriege um Erdöl

Auslöser für den Bürgerkrieg in Nigeria 1966 waren dessen Ölvorkommen und die ungerechte Verwendung der Einkünfte daraus. Es starben 1,1 Millionen Menschen. Hauptauslöser für den jemenitischen Bürgerkrieg 1994 war das Öl. Auch in Angola, im Sudan, in Bolivien, Ecuador und Kolumbien ist das Öl entweder Auslöser der Konflikte, oder es heizt den Konflikt wie in Nigeria immer wieder an.

Die Themen Energie und Ressourcensicherung haben 1999 offiziell im Rahmen eines Strategiekonzeptes Einzug in die NATO gehalten: „Die Interessen der Allianz können auch durch Risiken weitläufiger Natur gefährdet werden, zu denen die Zufuhr von lebenswichtigen Ressourcen gehört“. Mittlerweile plant die NATO eine schnelle Eingreiftruppe, die auch zur Sicherung der lebenswichtigen Ressourcen - zu denen zählen insbesondere Öl und Gas - eingesetzt werden kann. Damit findet sich auch in Deutschland ein direkter Zusammenhang zwischen Energie und militärischer Gewalt bzw. militärischer Ausgaben.

Allein die USA gaben von 1990 bis 2005 über 500 Milliarden US\$ für die Truppenpräsenz in der Golfregion aus. Die Kosten des 2. Golfkrieges sind darin noch nicht einmal enthalten.

Das unmäßige Geschäft mit der Energie

Heute machen wenige weltweit operierende Firmen die größten Geschäfte im Energiebereich. Drei der fünf größten Unternehmen waren im Jahr 2003 Energiekonzerne. So machte allein ExxonMobil einen Umsatz von 246,7 Milliarden Dollar. Royal Dutch/Shell brachte es mit seinen 100.000 Mitarbeitern auf einen Gesamtumsatz von 201,7 Milliarden Dollar – das sind 2 Mio. Dollar pro Mitarbeiter! 200 Mrd. Dollar entsprechen in etwa dem Bruttoinlandsprodukt von Portugal mit 10 Millionen Einwohnern. Während jedoch

Shell 2003 einen Gewinn von 12,5 Milliarden Dollar erwirtschaftete, ist Portugal hoch verschuldet.

Auch der deutsche Energieversorger eon wies im Jahr 2006 einen Gewinn vor Steuern von 8,15 Milliarden Euro bei einem Umsatz von knapp 68 Milliarden Euro aus. Außer eon gibt es in Deutschland auch noch RWE, ENBW und Vattenfall: Die drei zusammen erwirtschafteten noch einmal 6,67 Milliarden Euro an Gewinnen. Die vielen Stadtwerke und kleinen Energieversorger sind hier nicht erwähnt. Bezogen auf die rund 80 Mio. Einwohner der Bundesrepublik haben die vier Energieversorger also einen Gewinn von 180 € pro Bundesbürger gemacht.

Erneuerbare Energien sind die Lösung

Die Erneuerbaren Energien können all diese oben geschilderten Probleme der jetzigen Energiewirtschaft lösen:

- Sie setzen kein CO₂ und keine Radioaktivität frei.
- Sie sind dezentral in jedem Land der Welt vorhanden und bieten somit kein Konfliktpotenzial.
- Sie bringen auf regionaler Ebene breit gestreutes Einkommen, Gewinn und Arbeit für nahezu alle Menschen weltweit.

Doch kann der Energiebedarf eines Industrielandes wie Deutschlands auf Erneuerbare Energien voll umgestellt werden? Und: Wie schnell kann dies geschehen?

Potenziale der Erneuerbaren Energien in Deutschland

Das weltweite Potenzial der Erneuerbaren Energien beträgt ca. das 3.000-fache des heutigen Weltenergieverbrauchs. Laut der Studie „Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft“ (BMU 2006) liegt das „global insgesamt technisch nutzbare Potenzial der Erneuerbaren Energien [...] aber selbst bei strengen Restriktionen in der Größenordnung des Sechsfachen des derzeitigen weltweiten Bedarfs an Endenergie“. (siehe Bild1)

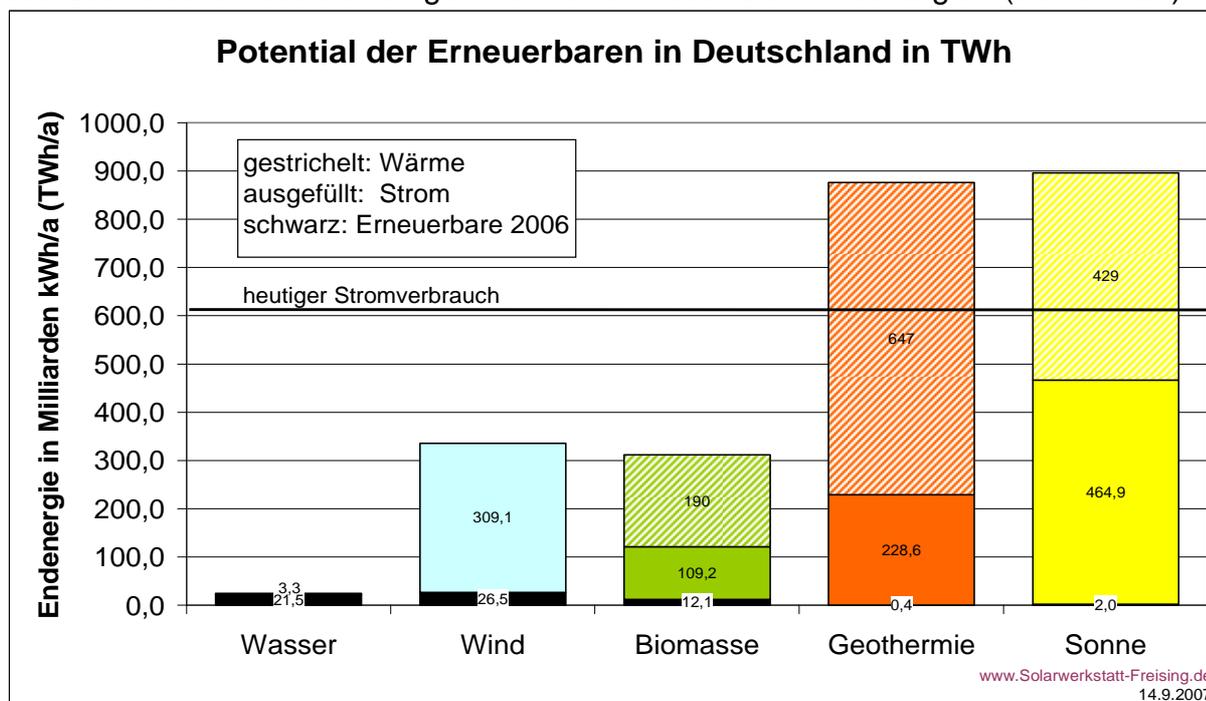


Bild 1: Potenzial der Erneuerbaren Energien in Deutschland für den Wärmebereich (schraffiert), den Strombereich (einfarbig). Die heutige Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ist in schwarz zu sehen.

Aus dieser Grafik ist klar und deutlich abzulesen: Die Erneuerbaren Energien können den Strombedarf Deutschlands leicht decken! Werden die einzelnen Potenziale aufaddiert, zeigt sich: Die Erneuerbaren können rund doppelt so viel Strom bereitstellen, wie in Deutschland heute jährlich gebraucht wird. Mit den sinnvollen und technisch möglichen Energiesparmaßnahmen - die den Strombedarf halbieren können – ist es das Vierfache des Verbrauchs.

Der heute genutzte Anteil der Erneuerbaren Energien im Strombereich ist schwarz dargestellt. Außer bei der Wasserkraft werden erst wenige Prozent dieses Potentials genutzt. Zusätzlich ist noch der Stromverbrauch 2006 eingetragen.

Im Folgenden beschäftigen wir uns ausschließlich mit den Strom erzeugenden Erneuerbaren Energien, da sie den größten Teil des von Deutschland emittierten Kohlendioxids vermeiden können. Denn genau diese heutige Stromerzeugung ist für knapp die Hälfte der CO₂-Emissionen und damit auch der verursachten Klimaschäden verantwortlich.

Entwicklung der Erneuerbaren Energien von 1990-2006

Um die Möglichkeiten der Erneuerbaren Energien für die Zukunft abschätzen zu können, betrachten wir zunächst den bisherigen Verlauf des Ausbaus seit 1990.

Wasserkraft

Die Wasserkraft erzeugt eine natürlicherweise fluktuierende Strommenge (siehe Bild 2). Wasserkraftwerke produzierten 1990 rund 16 TWh Strom - eine Terrawattstunde (TWh) entspricht einer Milliarde Kilowattstunden (kWh). Durch den Zubau vieler Kleinwasserkraftwerke sowie ganz weniger Großwasserkraftwerke, aber auch durch die Modernisierung der Turbinenhäuser konnte die Stromerzeugung durch Wasserkraft bis 2006 auf 21,5 TWh erhöht werden. Dies entspricht einem mittleren jährlichen Wachstum von 1,7%. Allerdings ist hier das Potenzial mit rund 25 TWh pro Jahr nahezu ausgeschöpft. Nicht berücksichtigt ist das noch weitgehend unbekanntes Potenzial der Meeresenergie, welches in Form von Wellenkraftwerken, Gezeitenkraftwerken, Strömungskraftwerken und Osmosedruckkraftwerken genutzt werden kann.

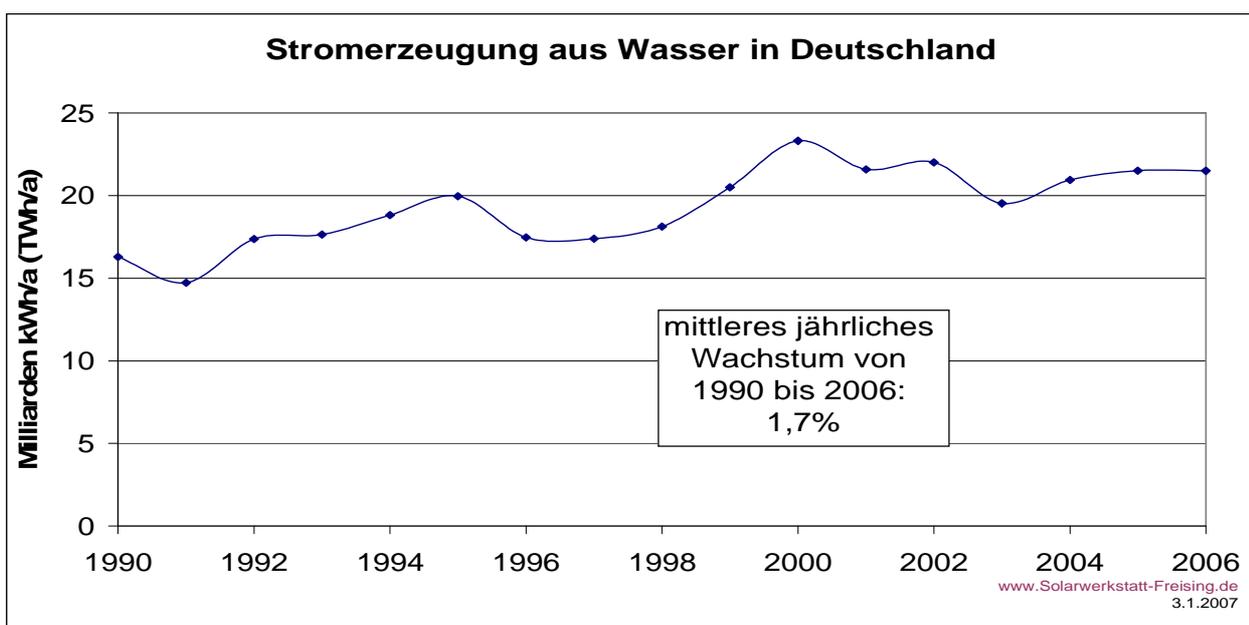


Bild 2 Stromerzeugung aus Wasserkraft in Deutschland

Windkraft

Die Windenergienutzung ist zwar schon seit Jahrhunderten in Deutschland beheimatet, wurde jedoch Ende des 19. Jahrhunderts eingestellt. Nun erlebt sie eine Renaissance, seitdem das Stromeinspeisegesetz ab 1990 mit einer festgelegten Vergütung geschaffen wurde. Im Gegensatz zu den früheren Windmühlen erzeugen die heutigen Windkraftanlagen Strom und speisen diesen ins Netz ein. Sehr deutlich ist der rasante Aufschwung der Windstromerzeugung in Bild 3 zu sehen: Sie wuchs von anfänglich nahezu Null bis 2006 auf über 30 TWh und damit auf rund 5% des Stromverbrauchs. Dies entspricht einem mittleren jährlichen Wachstum der Stromerzeugung von 51%.

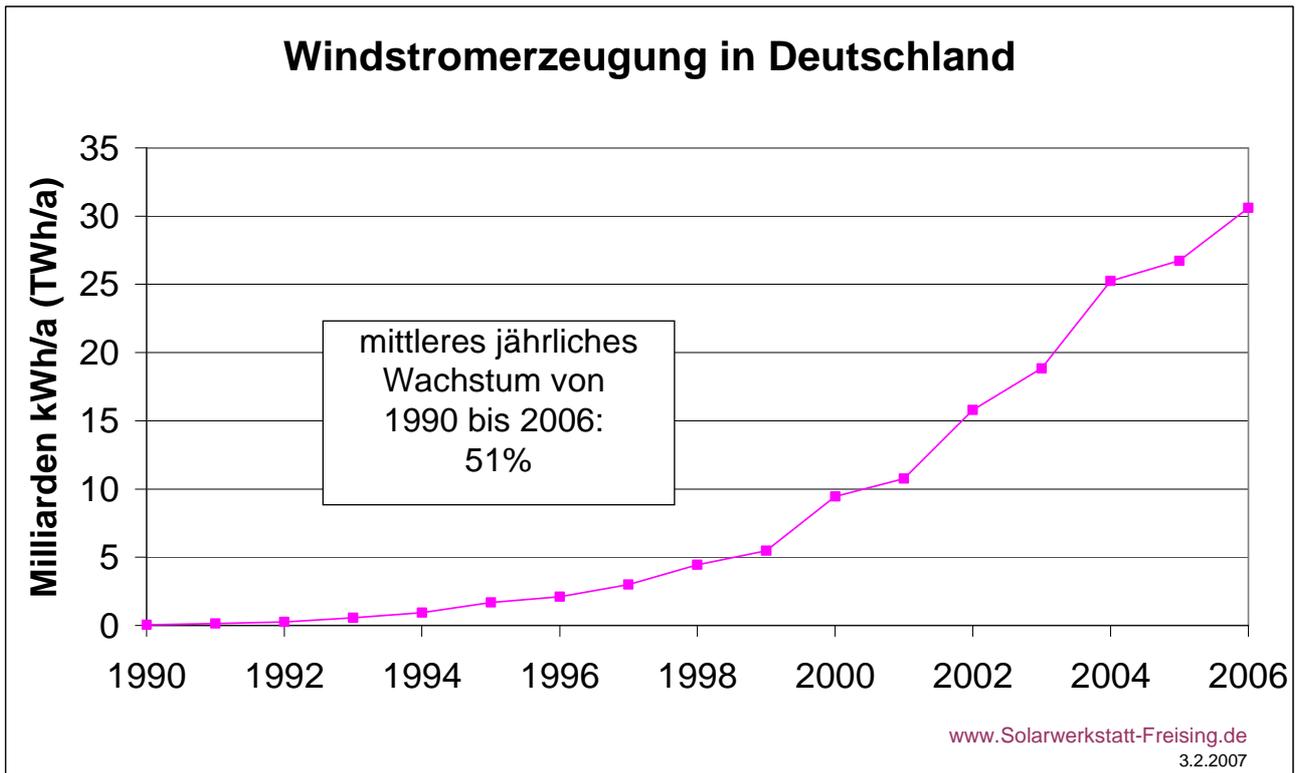


Bild 3: Stromerzeugung aus Wind in Deutschland

Biomasse

Auch im Bereich der traditionell genutzten Biomasse, die schon seit den Anfängen der Stromerzeugung mit Hilfe von Dampfmaschinen genutzt wurde, ist seit 1990 ein kräftiges Wachstum zu verzeichnen: Die jährliche Stromerzeugung konnte von knapp 2 TWh (1990) auf ca. 13 TWh im Jahr 2006 gesteigert werden (siehe Bild 4). Dies entspricht einem jährlichen Wachstum der Stromerzeugung von durchschnittlich 14,8% mit steigender Tendenz. In den Jahren 2000 bis 2005 betrug das durchschnittliche Wachstum 21,8%. Insbesondere konnte hier die Biogasnutzung in den letzten Jahren erheblich zulegen.

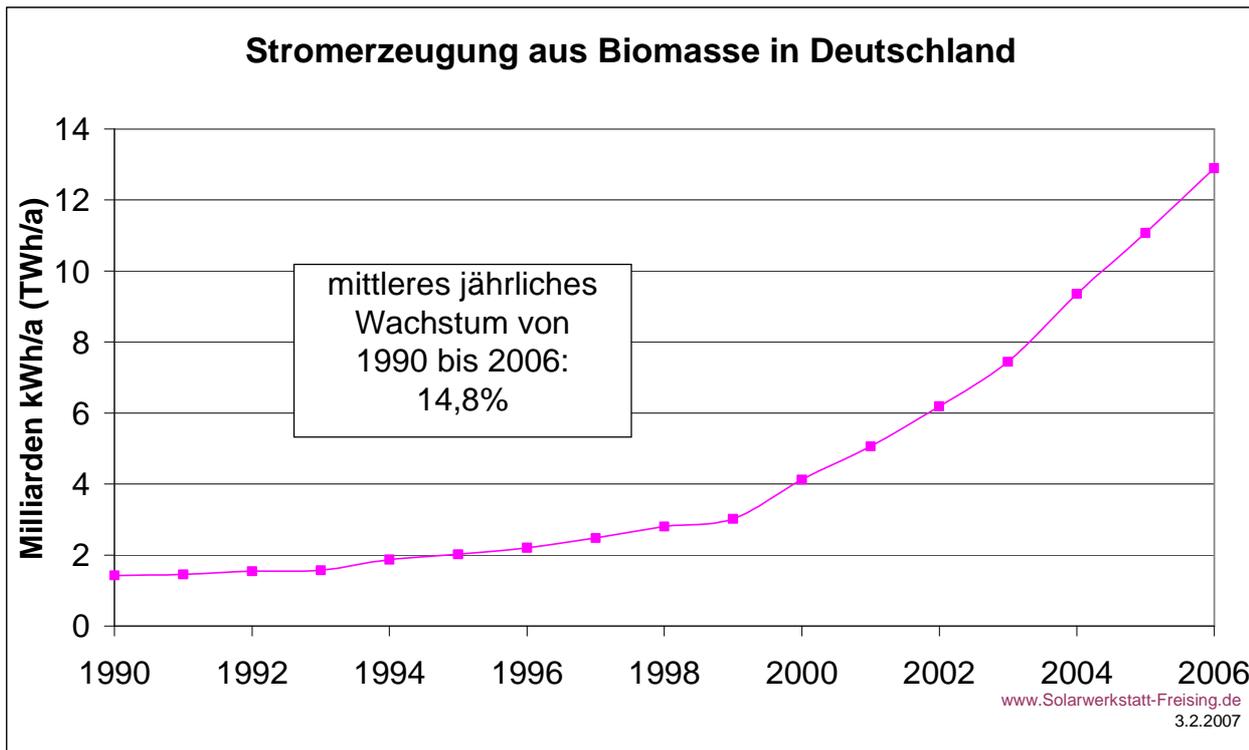


Bild 4: Stromerzeugung aus Biomasse

Die Biomasse, die in flüssiger, fester und gasförmiger Form nutzbar ist, steht wie in der Potenzialabschätzung dargestellt nicht nur zur Verstromung zur Verfügung. Wird sie aber zur Stromerzeugung eingesetzt, so wird sie sinnvollsten in Kraftwerken genutzt, die die Kraftwärmekopplung (KWK) nutzen, also gleichzeitig Strom und Wärme herstellen. Diese Technik kann schon im kleinsten Maßstab z. B. als Pflanzenöl- oder etwas größer als Biogas-Blockheizkraftwerk angewendet werden. Festbrennstoffe aus Biomasse können in großen Dampfkraftwerken zu Strom und Wärme umgewandelt werden. Biomasse kann aber auch als Biokraftstoff und als Ersatz des Erdöls in der Chemie zur Kunststoffherstellung sowie anderer Materialien dienen.

Dieselbe Anbaufläche kann aber auch zur Produktion von Nahrungsmitteln sowie Viehfutter dienen. Wichtig bei dieser Diskussion – Nahrungsmittel contra Energie – ist deshalb die Größenordnung, um die es sich hier handelt. Deutschland misst 35,7 Mio. ha, davon sind rund 10,9 Mio. ha Waldflächen, 19,1 Mio. ha landwirtschaftliche Flächen – davon 11,8 Mio. ha Ackerland -, 4,4 Mio. ha Siedlungsfläche, 1,7 Mio. ha sonstige Flächen und 2 Mio. ha Stilllegungsflächen, die teilweise schon energetisch genutzt werden.

Wichtig ist die Relation der Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen. Weltweit wird rund die Hälfte der Anbauflächen zum Anbau von Viehfutter benötigt: Die Ernährungsfrage der Weltbevölkerung wird bei weitem mehr von dem Anteil der Fleischnutzung als von der energetischen Nutzung der Anbauflächen abhängen.

Photovoltaik

Die Photovoltaik – die direkte Stromerzeugung aus Licht – hat mit Abstand die höchsten mittleren Wachstumsraten bei der Stromerzeugung in den letzten 16 Jahren gehabt: Sie konnte in diesem Zeitraum um mehr als den Faktor 2.000 gesteigert werden. Dies

entspricht einem mittleren jährlichen Wachstum von 61% - Tendenz steigend (2000-2005: 84,8%). Die Solarstromerzeugung erreichte im Jahr 2006 einen Wert von 2 TWh. (Bild 5) Dies ist in Bezug auf den derzeitigen Verbrauch von jährlich 618 TWh elektrischer Energie noch sehr wenig (0,3%), insbesondere wenn man bedenkt, dass das jährliche Potenzial bei über 450 TWh gesehen wird. Hier ist also eine hohe Wachstumsrate auch in Zukunft von entscheidender Bedeutung. Großer Vorteil dieser Technik ist ihre Nutzbarkeit auf Siedlungs- und Verkehrsflächen, die sonst nicht für die Energiegewinnung zur Verfügung stehen. So können auf Dauer alle Dachflächen (Ost-, Süd-, West- und ein Teil der flachen Norddächer), die Fassaden, sowie alle nicht nach Norden ausgerichteten Straßenränder und Überdachungen genutzt werden.

Auf landwirtschaftlichem Grund ist eine zeitweilige – da jederzeit wieder komplett rückbaubare – Nutzung denkbar. Immerhin kann die Photovoltaik mit einem Flächenwirkungsgrad von heute schon 5% bei Freiflächenanlagen rund das Zweieinhalbfache dessen erreichen, was mit Pflanzenenergie möglich ist. Und werden gar nur Teile der Pflanzen, z. B. das Öl oder die feste Biomasse, zu Strom umgewandelt mit Wirkungsgraden von rund 30%, so erhöht sich dieses Verhältnis auf das Achtfache. Bei Kraftwärmekopplung der Biomasseverstromung erhöht sich deren Wirkungsgrad auf rund 90%; das Verhältnis zur Photovoltaik beträgt aber immer noch knapp drei. Die Flächeneffizienz von PV ist somit gegenüber der Biomasse um den Faktor 3 bis 8 höher.

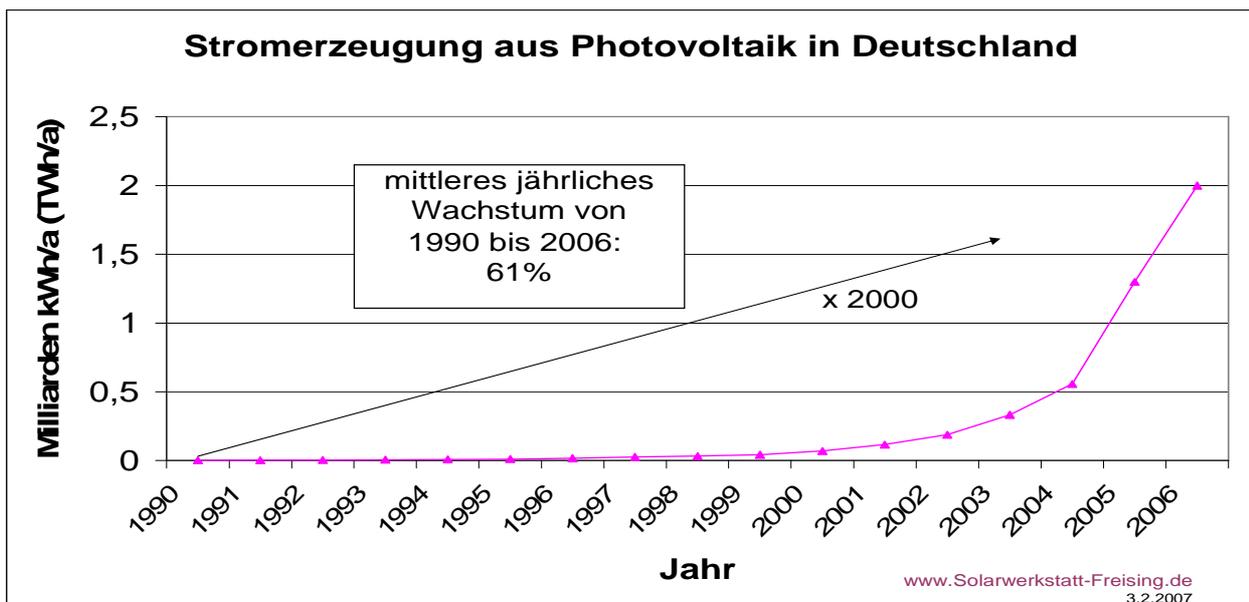


Bild 5: Stromerzeugung aus Photovoltaik

Geothermie

Aus Geothermie – oberflächennahe Erdwärme und Tiefenerdwärme – lässt sich oberhalb einer Mindesttemperatur Strom erzeugen. Solche Anlagen werden z. B. seit Jahrzehnten im vulkanischen Island genutzt. In Deutschland gehen zurzeit die ersten Tiefen-Geothermie-Anlagen in Betrieb. Bisher werden mit Geothermie ca. 0,4 TWh Strom jährlich erzeugt. Zur Abschätzung der weiteren Szenarien wird hier ein Wachstum von 50% angesetzt. Wie wir sehen werden, ist dieses Wachstum je nach Szenario allerdings noch zu niedrig angenommen, um entscheidende Auswirkungen auf den Energiemix der Zukunft zu haben. Die Geothermie kann mit ihren großen Produktionsmengen pro Anlage auch schneller wachsen, insbesondere, da erst die ersten deutschen Pilotanlagen – davon eine größere – am Netz sind. Die Ausbaugeschwindigkeit hängt sehr stark von den

wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab, die vor allem über die Vergütung des produzierten Stroms bestimmt wird.

Erneuerbare Energien von 1990 bis 2006

In Bild 6 sind alle Erneuerbaren Energien aufgeführt. Dabei wird sichtbar: Seit 2004 erzeugt die Windenergie gegenüber der Wasserkraft einen größeren Teil des Erneuerbaren Stroms. Danach kommt der Biomassebeitrag, und erst zu einem relativ kleinen Teil (0,3% des Stromverbrauchs - dafür aber mit der größten Wachstumsrate) die Photovoltaik. Die Geothermie ist 2006 das erste Mal erkennbar und wird in Zukunft deutlich zulegen: Hier dürften meist größere Kraftwerke mit bekannter Technologie und hohen Jahreslaufzeiten errichtet werden.

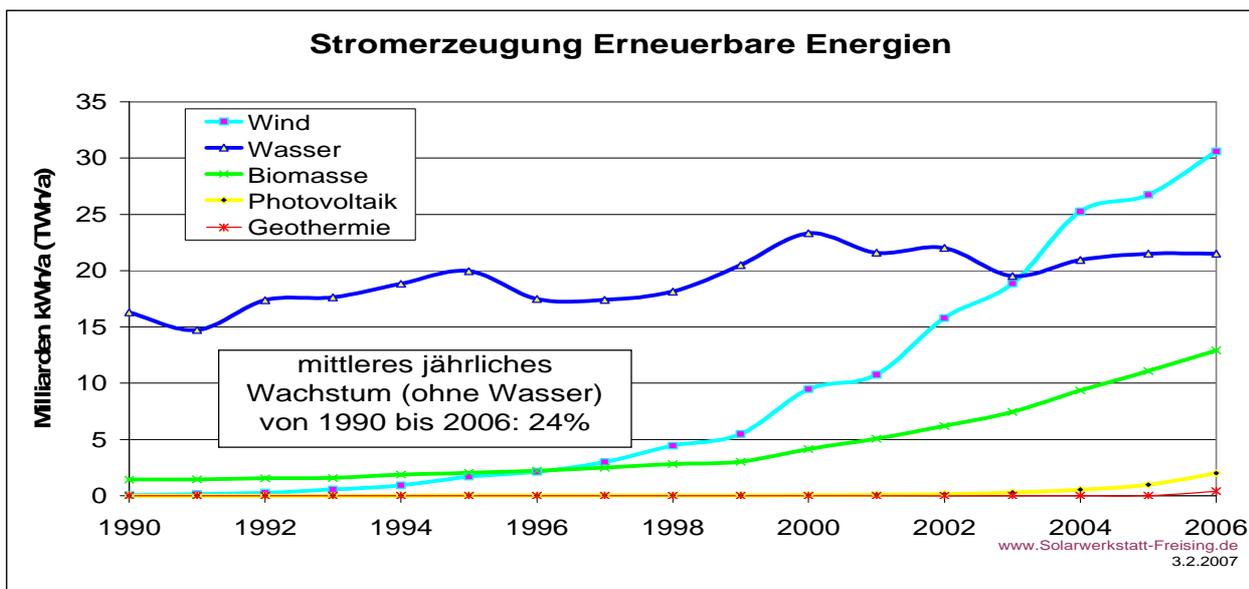


Bild 6: Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien

Alle Erzeugungsarten summiert ergeben Bild 7. Es ist deutlich erkennbar, dass die Erneuerbaren Energien in den letzten Jahren von knapp 20 TWh rapide auf rund 70 TWh gewachsen sind. Die Wasserkraft, die 1990 noch nahezu den gesamten Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugt hat, hat 2006 nur unwesentlich mehr Strom erzeugt. (Bild 7) Dagegen haben die anderen Erneuerbaren Energien - allen voran die Windkraft – die enorme Mehrproduktion von rund 50 TWh geleistet. Die Voraussetzungen für dieses Wachstum waren 1990 noch denkbar schlecht: Die heute verfügbaren Techniken waren in keiner Branche marktreif, zum Teil noch nicht einmal vorstellbar. Bei allen Technologien hat es also einen enormen Entwicklungsschub gegeben. Teilweise war der so groß, dass 1990 solche Größen (z. B. Windräder) noch für technisch nicht beherrschbar galten, das Potenzial mit den damaligen Techniken nicht erschließbar schien (Geothermie). Nicht zu vergessen, dass sich aufgrund neuer technologischer Ideen die maximal denkbaren Wirkungsgrade (z. B. bei Tripel-Solarzellen) erhöht haben.

Noch im Jahr 2000 konnte sich keines der Forschungsinstitute, die Zukunftsszenarien für zukünftige Energieversorgungen entwickeln, vorstellen, dass das im Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG – Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien) in §1 Absatz 2 genannte erste Ziel erreichbar sei. Es wurde den Politikern abgeraten, ein solch unmöglich zu erreichendes Ziel zu verankern. Im EEG heißt es wörtlich: „Zweck dieses Gesetzes ist ferner, dazu beizutragen, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12,5 Prozent und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20

Prozent zu erhöhen.“ Das erste Etappenziel konnte schon im ersten Halbjahr 2007 nach knapp sieben Jahren erreicht werden, das zweite könnte bis 2010 erreicht sein.

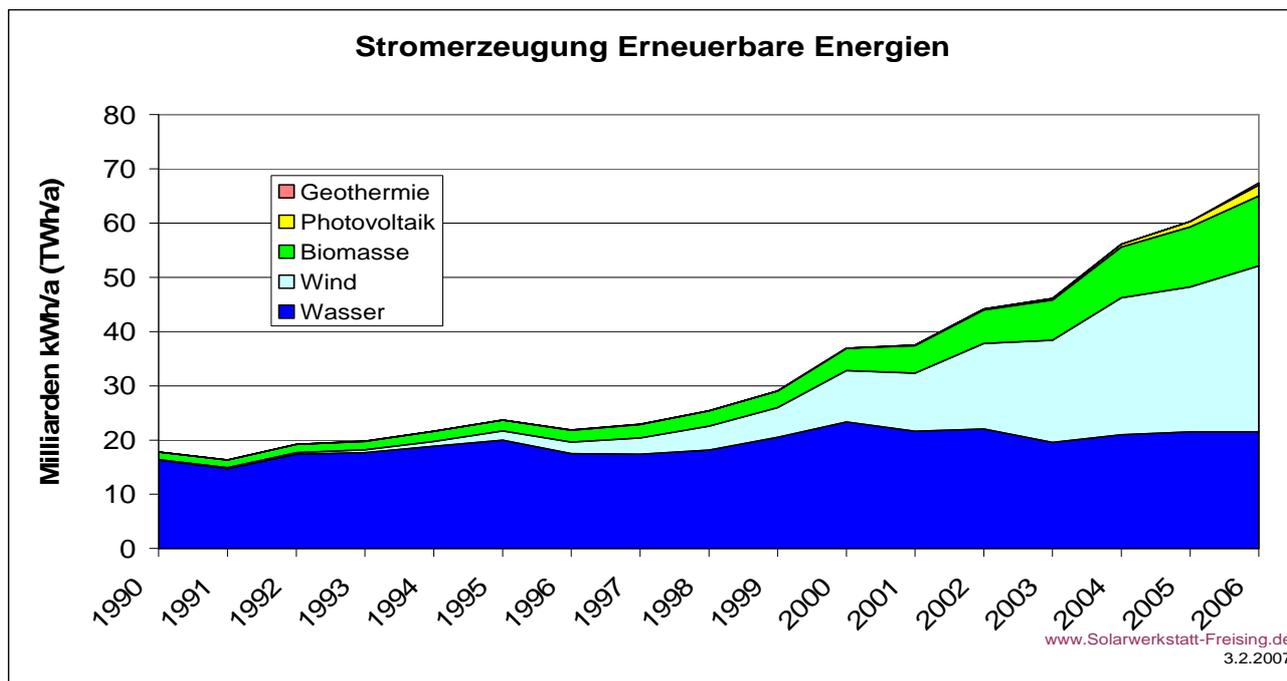


Bild 7: Summierte Stromerzeugung aller Erneuerbarer Energien zusammen

Verglichen mit dem jährlichen Stromverbrauch (2006: 618 TWh) erzeugen wir allerdings noch viel zu wenig (Bild 8), obwohl wir Ende 2007 voraussichtlich schon 15 % erreicht haben werden.

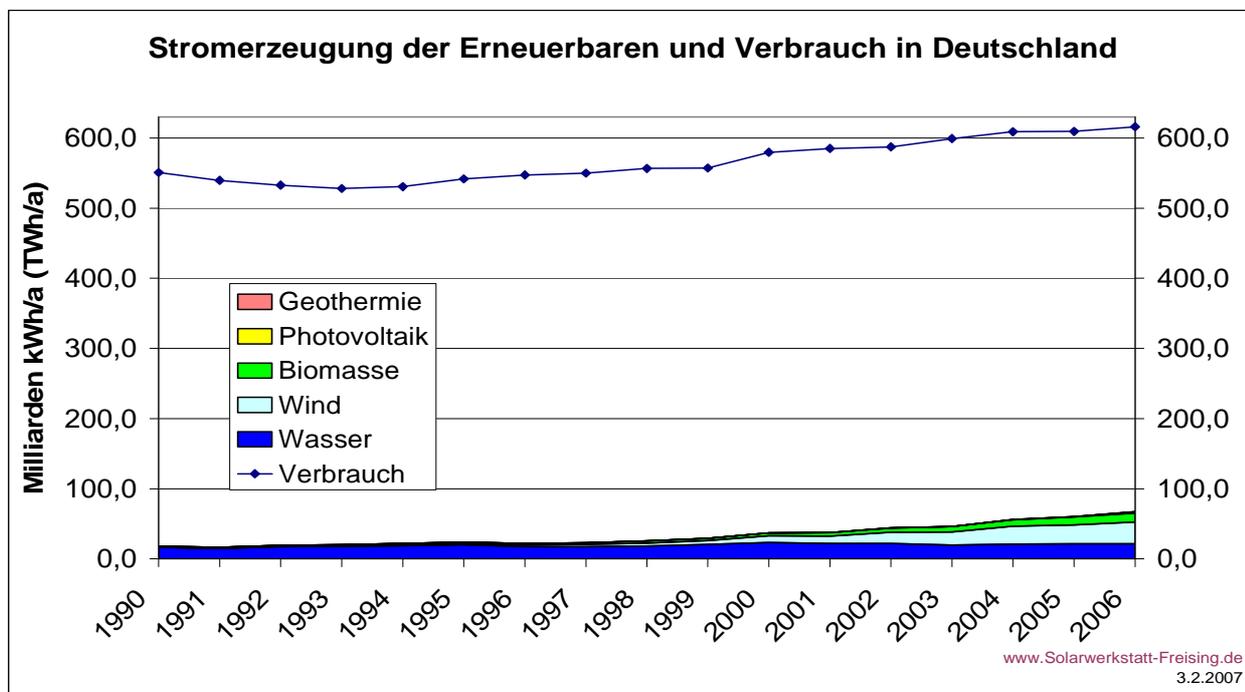


Bild 8: Stromerzeugung im Vergleich zum Stromverbrauch

Wie geht's weiter mit den Erneuerbaren Energien?

In unserem Blick in die Zukunft nehmen wir an, dass die Erneuerbaren Energien in den nächsten Jahren mit den Raten der letzten 16 Jahre weiter wachsen werden. Das Wachstum der Energieproduktion ist lediglich durch die oben angegebenen Potenziale – gemittelt aus den verschiedenen Potenzialabschätzungen – begrenzt. Allerdings haben sich bislang die Potenziale mit der sich weiterentwickelnden Technik der Erneuerbaren Energien immer weiter nach oben verschoben. Beispielsweise wurden die Abschätzungen für die Windenergie z. B. immer wieder nach oben korrigiert, und zwar genau in dem Maße, in dem sich die Technik - hin zu immer größeren Windrädern - weiterentwickelt hat. Deshalb fließt in alle Potenzialabschätzungen höchstens der Stand der Technik zum Zeitpunkt der Entstehung, meistens aber mit einigen Jahren Verzögerung ein. Potenzialabschätzungen sind auch immer sehr stark von den Annahmen der Ausschlussflächen abhängig. Das ist z.B. bei der Photovoltaik eindrucksvoll zu sehen: Die heutige Stilllegungsfläche – das sind 2 Mio. ha, die zur Zeit nicht zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden – würde ausreichen, um den gesamten Stromverbrauch der Bundesrepublik je nach verwendeter Technik bis zu eineinhalb Mal zu decken. Sicherlich sollen nicht die ganzen Stilllegungsflächen für Photovoltaik genutzt werden; und sicherlich ist es auch nicht sinnvoll, den Strombedarf komplett mit Solarstrom decken zu wollen, einzelne Potentialabschätzungen gehen aber z. B. nur von 84 TWh aus, da hier nur nach Süden ausgerichtete Dachflächen und davon auch nur ein Teil betrachtet werden. Hier wird sehr gut sichtbar, dass je nach Annahmen für den Photovoltaikausbau auch das Potenzial ganz unterschiedlich ausfällt. In den folgenden Szenarien wird immer von einem konstanten Stromverbrauch ausgegangen. Laut den vorherrschenden Szenarien wird dieser sich aber verringern. Allein die Vermeidung von Standby-Verlusten kann den Stromverbrauch um rund 18 TWh oder 3% senken.

Szenario 1: Wachstum wie bisher

In Bild 9 ist sehr eindrucksvoll zu sehen, wie rasant die weitere Entwicklung vorstatten gehen kann, wenn wir das Wachstum der Erneuerbaren Energien aufrecht erhalten. Schon 2016 – also in neun Jahren – kann der gesamte Strombedarf Deutschlands aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden. Die Windenergie ist dann zu 100% ausgeschöpft: Sie nähert sich schon ab 2012 dem angenommenen Ausbaupotential an. Die Biomasse ist mit 51 TWh zu knapp der Hälfte ihres Potenzials von 131 TWh genutzt. Die Photovoltaik deckt knapp ein Drittel des Strombedarfes und die Geothermie erzeugt bis 2016 lediglich ein Prozent des Strombedarfes. Photovoltaik und Geothermie sind dann aber noch weit davon entfernt (250 TWh bzw. 200 TWh pro Jahr), voll ausgeschöpft zu sein. Bei der Biomasse wären ebenfalls noch 80 TWh mehr möglich.

	Wasser	Wind	Biomasse	Photovoltaik	Geothermie	Verbrauch		
Wachstum	1,9%	53,9%	14,7%	60,6%	50,0%	0,0%		Startwerte
Potential	25 TWh/a	336 TWh/a	131 TWh/a	467 TWh/a	229 TWh/a		AKW	nein
maximaler Ausbau	25 TWh/a	336 TWh/a	131 TWh/a	467 TWh/a	229 TWh/a		Verbrauchsbegrenzung	nein
Endjahr:	2016						max. Zubau(Rest)	40%

Stilllegungsfläche 2 Mio ha entsprechen 600-1.000 TWh/a

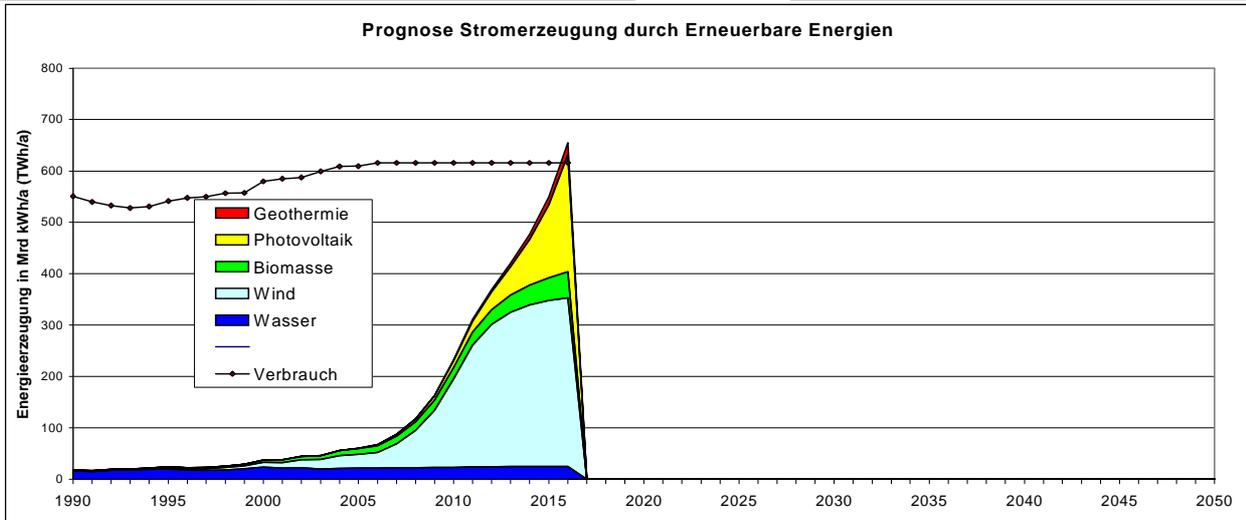


Bild 9: Szenario 1: Wachstum wie bisher bis zum Erreichen des derzeitigen Strombedarfs

Szenario 2: Reduzierung des Wachstums der Windenergie

Selbst dann, wenn wir annehmen, dass die Windenergie das Ausbautempo der letzten 16 Jahre nicht durchhalten kann und in Zukunft lediglich mit dem mittleren Tempo der Jahre 2000-2005 (21,8% anstelle der im Szenario 1 angenommenen 53,9%) ausgebaut wird: Bild 10 zeigt deutlich, dass diese Verlangsamung keine entscheidende Rolle spielt. Das Ziel 100% Erneuerbare Energien wird dann im Stromsektor gerade mal ein Jahr später, also im Jahr 2017 erreicht. Die Verteilung der Stromerzeugung auf die verschiedenen Erneuerbaren Energien ist ähnlich wie bei Szenario 1; lediglich übernimmt die Photovoltaik einen Teil des Windstromes aus Szenario 1.

	Wasser	Wind	Biomasse	Photovoltaik	Geothermie	Verbrauch		
Wachstum	1,9%	23,1%	14,7%	60,6%	50,0%	0,0%		Startwerte
Potential	25 TWh/a	336 TWh/a	131 TWh/a	467 TWh/a	229 TWh/a		AKW	nein
maximaler Ausbau	25 TWh/a	336 TWh/a	131 TWh/a	467 TWh/a	229 TWh/a		Verbrauchsbegrenzung	nein
Endjahr:	2017						max. Zubau(Rest)	40%

Stilllegungsfläche 2 Mio ha entsprechen 600-1.000 TWh/a

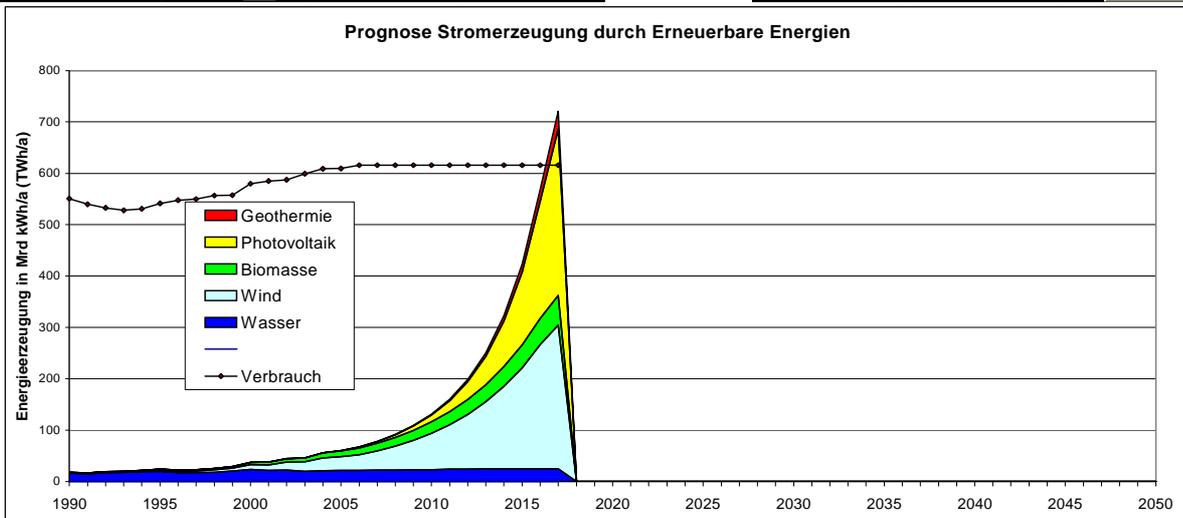


Bild 10: Szenario 2: Die Windenergie wächst nur noch mit 21,8% (Mittelwert von 2000-2005).

Szenario 3: Zusätzliche Begrenzung des Windenergienutzung

Wird die Nutzung der Windenergie auf Dreiviertel des angenommenen mittleren Potentials begrenzt und gleichzeitig das Wachstum auf 21,8% wie in Szenario 2 reduziert, so hat dies auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien in seiner Gesamtheit ebenfalls keine nennenswerte Auswirkung: 100% Erneuerbare Energien werden wieder 2017 erreicht. Der Anteil des Windstromes am Stromverbrauch sinkt um gute 10% von 280 TWh auf 210 TWh.

Den fehlenden Anteil kann wiederum die Photovoltaik aufbringen (siehe Bild 11).

	Wasser	Wind	Biomasse	Photovoltaik	Geothermie	Verbrauch	
Wachstum	1,9%	23,1%	14,7%	60,6%	50,0%	0,0%	Startwerte
Potential	25 TWh/a	336 TWh/a	131 TWh/a	467 TWh/a	229 TWh/a	AKW	langsamere
maximaler Ausbau	25 TWh/a	252 TWh/a	131 TWh/a	467 TWh/a	229 TWh/a	Verbrauchsbegrenzung	wie bisher
Endjahr:	2017		Stilllegungsfläche 2 Mio ha entsprechen 600-1.000 TWh/a			max. Zubau(Rest)	40%

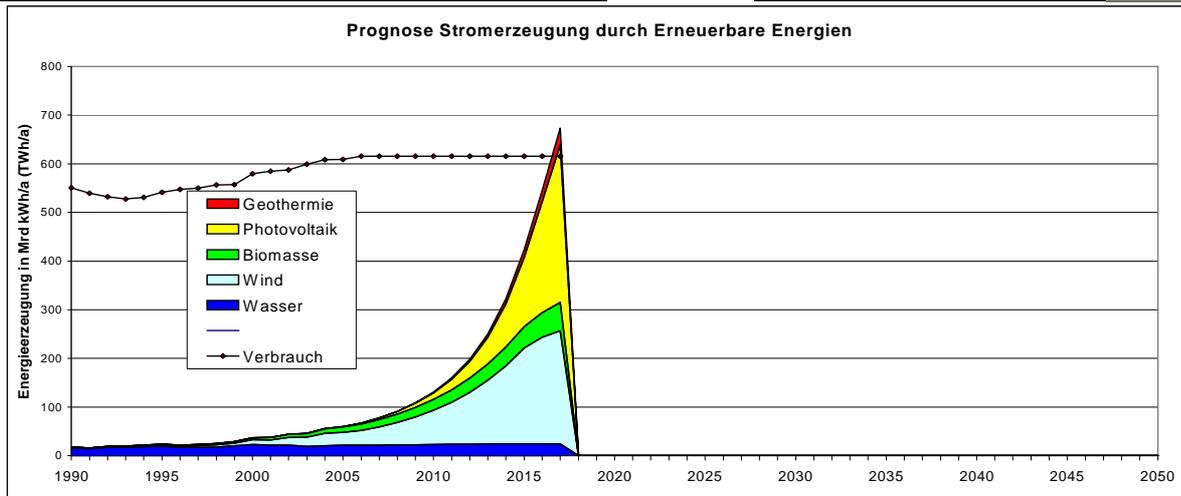


Bild 11: Szenario 3: Reduzierung des Wachstums bei Wind auf 21,8%, Begrenzung des Windstromausbaus auf drei Viertel des Potentials

Szenario 4: Zusätzliche Begrenzung der Biomassennutzung

Die Begrenzung der Biomassennutzung auf ein Drittel des angenommenen nutzbaren Potentials bei gleichzeitiger Übernahme aller Begrenzungen aus Szenario 3 zeigt ebenfalls keinen nennenswerten Unterschied: Die Biomasse wird auch in den vorherigen Szenarien höchstens zu knapp der Hälfte ihrer theoretischen Möglichkeit genutzt. Die Erneuerbaren Energien können wiederum 2017 die benötigte Strommenge zu 100% bereitstellen (siehe Bild 12). Eine Begrenzung der Biomassennutzung ist insofern wichtig, da sie auch in verschiedensten anderen Formen genutzt werden kann. So könnten die beiden anderen wichtigen Energiebereiche „Treibstoff“ und „Wärme“ ebenfalls früher aus 100% Erneuerbarer Energien gedeckt werden. Die für Energiepflanzen nicht verwendeten Flächen stehen weiterhin zum Anbau von Nahrungsmitteln und Viehfutter zur Verfügung.

	Wasser	Wind	Biomasse	Photovoltaik	Geothermie	Verbrauch		
Wachstum	1,9%	23,1%	14,7%	60,6%	50,0%	0,0%		Startwerte
Potential	25 TW h/a	336 TW h/a	131 TW h/a	467 TW h/a	229 TW h/a	AKW	nein	langsamer
maximaler Ausbau	25 TW h/a	252 TW h/a	44 TW h/a	467 TW h/a	229 TW h/a	Verbrauchsbegrenzung	nein	
Endjahr:	2017	Stilllegungsfläche 2 Mio. ha entsprechen 600-1.000 TW h/a				max. Zubau (Rest)	40%	wie bisher

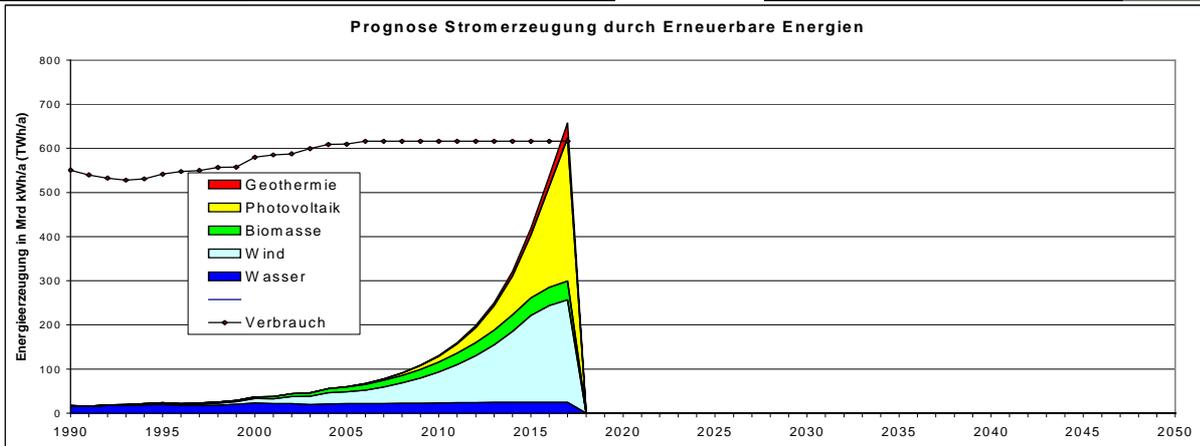


Bild 12: Szenario 4: Reduzierung des Wachstums bei Wind auf 21,8%, Begrenzung des Windstromausbaus auf drei Viertel des Potenzials, Begrenzung der Biomassenutzung auf ein Drittel des Potenzials

Szenario 5: Zusätzliche Reduzierung des Wachstums der Photovoltaik

Das Ziel 100% Erneuerbare Energien wird im Jahr 2020 erreicht, also gerade mal weitere drei Jahre später, wenn zu den Maßnahmen aus Szenario 4 noch die Photovoltaik auf rund zwei Drittel des Wachstums der letzten 15 Jahre begrenzt wird. Dieser Wert stammt aus dem Zeitraum von 1995 bis 2000; in den Jahren 2000 bis 2005 lag er mit 84,8% mehr als doppelt so hoch. Ein solcher zeitlicher Einfluss konnte bei den letzten Änderungen der Rahmenbedingungen der vorherigen Szenarien nicht in dieser ausgeprägten Form beobachtet werden. In diesem Szenario übernimmt zum ersten Mal die Geothermie einen größeren Anteil an der Stromerzeugung. Die einzelnen Beiträge 2020: rund 120 TWh aus Geothermie, 240 TWh aus Photovoltaik, 43 TWh aus Biomasse, 250 TWh aus Wind und 25 TWh aus Wasserkraft.

	Wasser	Wind	Biomasse	Photovoltaik	Geothermie	Verbrauch		
Wachstum	1,9%	23,1%	14,7%	40,9%	50,0%	0,0%		Startwerte
Potential	25 TW h/a	336 TW h/a	131 TW h/a	467 TW h/a	229 TW h/a	AKW	nein	langsamer
maximaler Ausbau	25 TW h/a	252 TW h/a	44 TW h/a	467 TW h/a	229 TW h/a	Verbrauchsbegrenzung	nein	
Endjahr:	2020	Stilllegungsfläche 2 Mio. ha entsprechen 600-1.000 TW h/a				max. Zubau (Rest)	40%	wie bisher

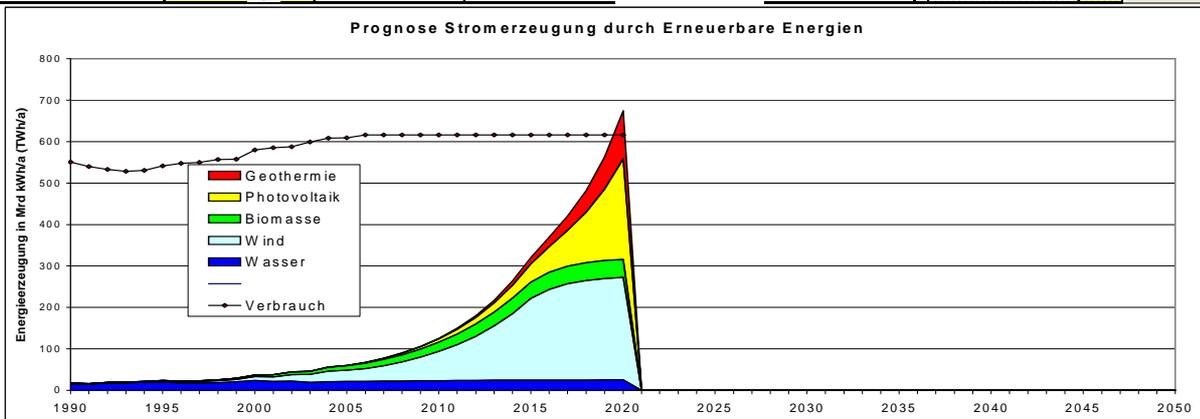


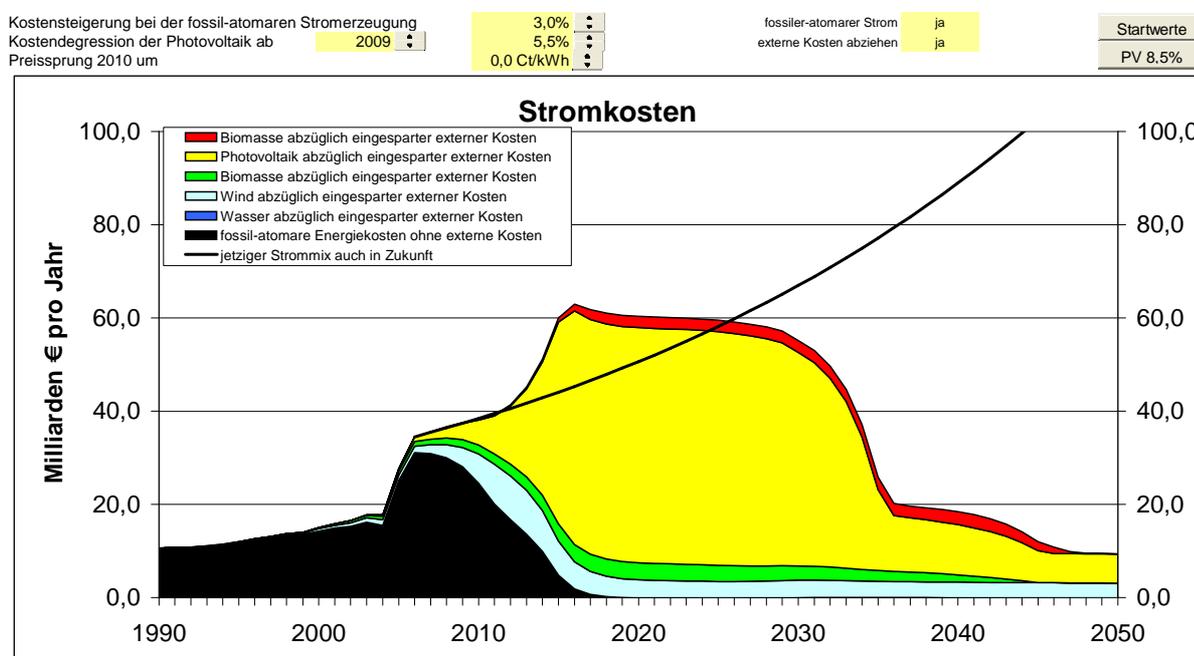
Bild 13: Szenario 5: Reduzierung des Wachstums bei Wind auf 21,8% (vorher 53,9%), Begrenzung des Windstromausbaus auf drei Viertel des Potenzials, Begrenzung des Biomasseausbaus auf ein Drittel des Potenzials, Reduzierung des Wachstums der Photovoltaik auf 40,9% (vorher 60,6%)

Wird das Wachstum der Geothermie auf 30% heruntergesetzt, so benötigen wir ein weiteres Jahr bis zur 100 prozentigen Energiewende im Stromsektor. Die Photovoltaik erzeugt dann 330 TWh und die Geothermie 20 TWh jährlich.

Kosten der Energiewende

Eine wichtige Frage, auch wenn sie gegenüber dem Problem des Klimawandels nur eine geringe Bedeutung haben kann, sind die Kosten der Umstellung. Nehmen wir das ehrgeizigste Szenario 1, so erreichen wir die Energiewende 2016. Für die Kosten der Erneuerbaren Energien wurde angenommen, dass das Erneuerbare Energien Gesetz in seiner heutigen Form weitergeführt wird. Diesen Kosten wurden die nicht anfallenden externen Kosten abgezogen, die bei einer Stromerzeugung mit heutigem Energiemix anfallen würden. Die Daten über die externen Kosten stammen vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Dabei produzieren die heutigen Kraftwerke auf fossil-atomarer Basis im Schnitt 548,5 g CO₂ pro kWh Strom. Das BMU geht von 70 € pro Tonne CO₂ aus. Damit ergeben sich externe Kosten von 4,07 Euro-Cent pro kWh Strom. Diese eingesparten externen Kosten werden den Erneuerbaren Energien gutgeschrieben. Ihre eigenen externen Kosten werden noch hinzugerechnet. Außerdem werden den Erneuerbaren Energien die vermiedenen Erzeugungskosten des fossil-atomar erzeugten Stroms gutgeschrieben.

Bild 14 zeigt, was passiert, wenn wir die Gesamtkosten der Stromerzeugung – also sowohl die fossilen Kosten ohne ihre externen Kosten, als auch die Kosten für den Strom aus Erneuerbaren Energien (abzüglich der vermiedenen Kosten) – darstellen. Die Stromkosten setzen sich dann aus den verschiedenen einzelnen Anteilen für Strom aus fossil-atomaren Kraftwerken, aus Wasserkraft, aus Windkraft, aus Biomasse, aus Photovoltaik und aus Geothermie zusammen. Der „Berg“ gibt also die Gesamtkosten an.



Bild

14: Kosten der Stromerzeugung 1990 bis 2050 unter Annahme von Szenario 1

In dieser Darstellung zeigt die schwarze Linie die Kosten der Stromerzeugung, wenn die Kostensteigerung 3% für den Strommix von 2006 beträgt. Diese Annahme ist bei den stark steigenden Rohstoffpreisen eher niedrig angesetzt. Gut sichtbar wird, dass die Kosten von

2014 bis 2027 um bis zu knapp 20 Milliarden Euro teurer wären als die jetzige Stromerzeugung. Doch bereits bei einer jährlichen Kostensteigerung der fossil-atomaren Stromkosten um 6% liegen die Kosten gleich hoch.

Ab 2027 werden dann jedoch die wahren Auswirkungen der Umstellung sichtbar. Die Kosten der Stromerzeugung werden sinken, da die Techniken zur Erzeugung aus Erneuerbaren Energien immer preiswerter werden. Die Kosten des Stroms können damit in Zukunft wieder auf ein Niveau von 1990 fallen. Das bedeutet: Die Nutzung Erneuerbarer Energien ist die einzige Option, um die Stromkosten wieder zu senken, da kein knapper Brennstoff mit steigenden Kosten benötigt wird. Zudem ist die Sonnenenergie ausreichend und kostenlos vorhanden.

Fazit

Die Energiewende ist möglich. Bei Fortschreibung des bisherigen Wachstums der Erneuerbaren wird die Energiewende spätestens 2020 erreicht. Jedes Zögern bei der Umstellung wird die Energiewende um ein Vielfaches teurer machen, da die Kosten von Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran mitsamt ihren enormen externen Kosten immer weiter steigen werden.

Nur Erneuerbare Energien können auf Dauer stabile Energiepreise garantieren.