

VOLLVERSORGUNG MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN

INSTITUTE DES FVEE ERARBEITETEN ENERGIEKONZEPT 2050

Sieben Institute des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE) haben ein „Energiekonzept 2050“ erarbeitet, in dem die Technologien dargestellt werden, welche es erlauben, die Energieversorgung bis 2050 auf „erneuerbare Füße“ zu stellen. In diesem Artikel werden zudem die dazu gehörigen Infrastruktur- bzw. Randbedingungen vorgestellt. Wenn die Energiepolitik Energieeffizienz- und Speichertechnologien fördert, die Stromnetze ausbaut, das EEG und die Innovationsdynamik aufrecht erhält, kann das Energiesystem 2050 sogar um mehr als 700 Mrd. Euro preiswerter sein als das heutige.

Erneuerbare Energien haben das größte energetische und technische Potenzial aller bekannten Energiequellen. Sie sind umwelt- und klimafreundlich, global einsetzbar, in wenigen Jahren die kostengünstigsten Energiequellen und sie genießen eine außerordentlich hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Die Erneuerbaren Energien können die Nutzung von Kohle, Erdöl, Erdgas und nuklearen Energien im Strom- und Wärmemarkt schrittweise reduzieren und langfristig vollständig ersetzen. Sie reduzieren damit die Abhängigkeit von Energieimporten, erhöhen die Energiewertschöpfung im Land und schaffen Arbeitsplätze [1].

Das Energiekonzept 2050 „Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% Erneuerbaren Energien“ zeigt, dass sich die Energietechnologien der Erneuerbaren in den letzten Jahren mit einer nicht vorhersehbaren Rasanterwicklung entwickelt haben und dass sie das energetische Rückgrad bilden können für eine nachhaltige Energieversorgung. In dem Konzept werden auch die wichtigsten Randbedingungen für eine Vollversorgung mit Erneuerbaren

Energien behandelt, diese sind:

1. Erhöhung der Energieeffizienz von Bereitstellungs- und Nutzungstechnologien,
2. Entwicklung von Energiespeichertechnologien,
3. Ausbau des Stromnetzes,
4. Priorität für Forschung und Entwicklung erneuerbarer Energietechnologien,
5. Erhalt der Vorrangregelung für Stromeinspeisung aus Erneuerbaren Energien.

Bedingung: Erhöhung der Energieeffizienz

Auf dem Feld der Energieeffizienztechnologien entscheidet sich, ob die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesrepublik erreicht werden können oder nicht [1]. Würden die Erneuerbaren Energien lediglich zusätzlich zu einer fossilen und nuklearen Energieerzeugung hinzugefügt werden, so ergäben sich keine Entlastungseffekte. Auch der bloße Ersatz von fossilem oder atomarem Strom führt noch nicht zu einem nachhaltigen Energiesystem. Es muss eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs erfolgen. Denn der heutige Energieeintrag in die Natur ist zu groß! Die Folge ist: Artensterben durch Abholzen der Wälder, durch Bodenerosion, durch Erwärmung von Flüssen und Seen, durch Lichtverschmutzung und nicht zuletzt durch die rasante Klimaerwärmung (CO₂ und Wärmeabstrahlung). Eine Anpassung der Flora und Fauna ist dabei nahezu unmöglich.

Vom energetischen und technologischen Potenzial der Erneuerbaren Energien aus gesehen, wäre die Senkung des Energieverbrauchs eigentlich nicht nötig, denn die Energiepotenziale der Erneuerbaren sind riesig. Dennoch gibt es neben den ökologischen auch wirtschaftliche

Gründe, mit Erneuerbaren Energien sparsam umzugehen. Dabei werden zwei verschiedene Effizienzarten unterschieden – die Energieerzeugungseffizienz und die Energienutzungseffizienz.

Gründe für Energienutzungseffizienz:

- Der Strombedarf wird voraussichtlich weltweit auf das Doppelte steigen.
- Verdoppelt sich der Strombedarf, verdoppelt sich ohne Erneuerbare Energien und Energieeffizienz auch der klimaschädliche CO₂-Ausstoß.
- Sinkt in Deutschland der Strombedarf durch Energieeffizienz um 50%, würde sich der Anteil der Erneuerbaren Energien im Netz um etwa den gleichen Prozentsatz erhöhen. Man braucht dann also nur halb so viele Windräder, PV-Anlagen, Wasserkraftanlagen, usw., um Kohle und Atomstrom zu ersetzen.
- Energiekosten sind immer auch Produktionskosten. Wer in der Wirtschaft am wenigsten Energie benötigt, um ein Produkt zu erzeugen, hat einen Wettbewerbsvorteil.
- Sinkt auch der Wärmebedarf, benötigt man weniger Strom, Gas, Solarthermie, Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung.
- Durch konsequente Nutzung von Energieeffizienztechnologien können sich Wohnhäuser und Industriegebäude selbst mit Energie versorgen, denn durch Energieeffizienztechnologien können Erneuerbare Energien oft erst ihre volle Wirkung entfalten, weil ein geringerer Energiebedarf Vorteile für ihren Einsatz bringt.

In Bild 1 ist dargestellt, wie trotz einer Verdopplung des weltweiten Strombedarfs bis 2050 der Gesamtbetrag der Primärenergie nicht zu steigen braucht,

wenn fossile Energieträger schrittweise durch Erneuerbare Energien ersetzt werden. Dabei spielen Energieeffizienztechnologien wie KWK, Elektromobilität, Wärmepumpen und Verbrauchsreduktionen die Hauptrolle. Die Prognose der IEA, die eine andere Entwicklung beschreibt, ist mit der linken Kurve angedeutet [1].

Erhöhung der Energieerzeugungseffizienz

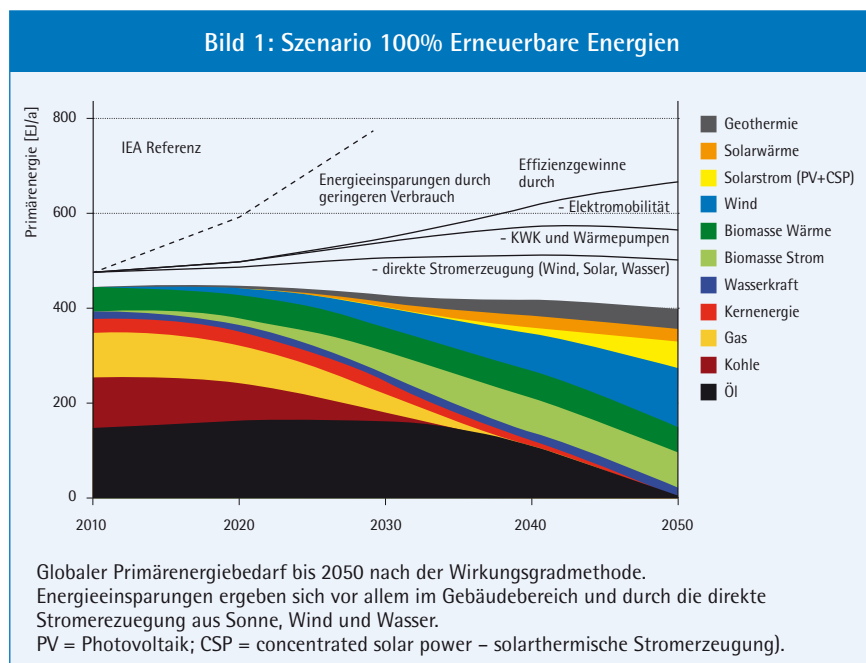
Die Energieerzeugungseffizienz von Kohle- oder Atomkraftwerken beträgt im Durchschnitt nur 35%, weil die Abwärme nicht genutzt wird. Der Einsatz von Erneuerbaren Energien aus Wind, PV und Wasserkraft ist daher um 55 bis 65% effizienter als aus Kohle- und Atomkraftwerken, weil bei ihrer Erzeugung keine Abwärme anfällt. Daher lohnt es sich, Strom aus Kohle- und Atomkraftwerken durch Strom aus EE wie Wind, Photovoltaik und Wasserkraft zu ersetzen. Die Energieerzeugungseffizienz erhöht sich dabei um ca. 2/3 gegenüber dem Primärenergieeinsatz in konventionellen Kraftwerken (siehe auch Bild 1). Der Einsatz von Erneuerbaren Energien, bei denen Wärme abfällt, sollte immer in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen.

Systemtechnische Optimierung fördern

Energieerzeugungs- und -bereitstellungseffizienzen benötigen systemtechnische Lösungen. So sollten beispielsweise Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen oder Wärmepumpen mit Strom aus Erneuerbaren Energien betrieben werden, sie erreichen dadurch eine energiewirtschaftlich höhere Effizienz. Ein weiteres Beispiel ist das energieeffiziente und solare Bauen: Erst durch die Maßnahmen des energieoptimierten Bauens kann die Energieversorgung eines Gebäudes auf der Basis Erneuerbarer Energien ihre volle Wirkung entfalten, da ein geringerer Energiebedarf Vorteile für den Einsatz Erneuerbarer Energieträger mit sich bringt [1].

Die Kombination von Effizienz- und Energietechnologien erlaubt vor allem auch dann Systemgrenzen zu überschreiten, wenn die zur Verfügung stehenden Erneuerbaren Energiequellen je nach Bedarf in die nachgefragten Energieformen umgewandelt werden. So kann aus Strom Wärme und Kraftstoff entstehen, aus Wärme Strom und Kraftstoff und aus Kraftstoff Strom und Wärme. Welche der Konversionen jeweils zum Tragen kommt hängt von den entwickelten Systemlösungen und ökonomischen Rahmenbedingungen ab [1].

Insofern ist es wichtig, die einzelnen zu erforschenden Energietechnologien



nicht unabhängig voneinander zu optimieren, sondern zu zeigen, wie sich Erneuerbare Energien in ihren systemischen Eigenschaften ergänzen und zusammen mit Effizienz- und Energiespeichertechnologien zu einem zuverlässigen und robusten „Regenerativen Kombikraftwerk Deutschland“ entwickeln lassen.

Bedingung: Energiespeichertechnologien

Während fossile und nukleare Energien in gespeicherter Form vorliegen und somit im Rahmen der bereitgestellten Kapazitäten zeitlich flexibel zur Deckung des schwankenden Energiebedarfs zur Verfügung stehen, besteht bei Erneuerbaren im Stromsektor selbst bei idealem Ausgleich durch Stromübertragung in ganz Europa noch ein Restbedarf an Speichern [2].

Noch liegt der Bedarf an Stromspeichern, welche für Energieversorgung von 100% Erneuerbare Energie aus benötigt würden, deutlich über der heute verfügbaren Speicherkapazität. So kann es in Deutschland in den Wintermonaten zu Zeiten mit sehr geringem Angebot an Erneuerbaren Energien kommen (wenig Solarenergie und Windflauten) [2].

Die einzigen vorhandenen Großspeicher in der notwendigen Größenordnung sind Erdgasspeicher mit einer bestehenden thermischen Kapazität von 217 TWh (Untertage-Gasspeicher) und einem geplanten Ausbau um 79 TWh in den nächsten Jahren. Diese Technik der Langzeitspeicherung ist sicher und bewährt und kann für chemische Energieträger aus erneuerbarem Strom auf zwei Arten verwendet werden: einerseits direkt durch die Speicherung eines Erdgas-Substitut

in Form von erneuerbarem Methan oder von Wasserstoff über eine Umstellung der Gasinfrastruktur in ein Wasserstoff-Verteilnetz [1].

Erneuerbares Methan als chemischer Energiespeicher

Zur Herstellung chemischer Energieträger aus Erneuerbaren wird mittels Elektrolyse aus Wasser Wasserstoff und Sauerstoff gewonnen. Der erzeugte Wasserstoff kann dann als sauberer Energieträger eingesetzt werden, zum Beispiel in Brennstoffzellen, Gasturbinen oder Verbrennungsmotoren. Ebenso ist es möglich aus dem Wasserstoff mittels einer chemischen Reaktion mit Kohlendioxid Methan zu erzeugen. Dieses synthetische Erdgas (Erdgassubstitut) lässt sich problemlos in das bereits bestehende Versorgungsnetz integrieren.

Die Methan-Herstellung aus Erneuerbaren Energien und die Nutzungsoptionen in unterschiedlichen Verbrauchssektoren bieten die Chance für ein Zusammenwachsen der Energiesektoren Energiespeicher, Stromnetz, Gasnetz und Mobilität. Strom und erneuerbares Methangas sind bidirektional ineinander umwandelbar und verfügen schon heute über eine gut ausgebaute Infrastruktur mit saisonaler Gasspeicherkapazität.

Thermische Energiespeicher

Auch die thermische Energiespeicherung ist unverzichtbar. Die möglichen Einsatzbereiche thermischer Energiespeicher reichen von der saisonalen Speicherung in der Solarthermie bis zu Hochtemperaturspeichern bei der solarthermischen Elektrizitätserzeugung. Selbst erneuerbar erzeugte Elektrizität kann, wenn kurz-

zeitig nicht ins Netz einspeisbar, nach der Umwandlung in Wärme oder Kälte kostengünstig und effizient gespeichert werden.

Für die Speicherung thermischer Energie wird meist Wasser eingesetzt, da es eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzt und sehr kostengünstig ist. Kleinere Speicher werden als Pufferspeicher in thermischen Solaranlagen (Warmwasserbereitung) für eine Speicherung über Tage oder Wochen eingesetzt. Große Wasserspeicher (bis zu mehreren tausend m³) werden zur saisonalen Speicherung solarer Wärme zum Heizen im Gebäudebereich meist in Verbindung mit einem Nahwärmenetz gebaut. Mit großen saisonalen Wärmespeichern kann in Deutschland etwa die Hälfte des Gesamtwärmebedarfs von größeren Gebäudeeinheiten solar gedeckt werden.

Die thermische Energiespeicherung ist insbesondere zur Steigerung der Energienutzungseffizienz von Kraft-Wärme-Kopplungs-Technologien notwendig. Speicher für hohe Temperaturen und für kleine Kraft-Wärme-Kältekopplungsanlagen ermöglichen einen stromgeführten Betrieb, wobei die anfallende Wärme einige Tage oder länger gespeichert werden kann. Dies ist für eine bessere Nutzung industrieller Prozesswärme interessant, um in Bereichen mit hohem Energieverbrauch große Wärmemengen für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung nutzbar zu machen.

Ausbau des Stromnetzes

Mit zunehmendem Anteil fluktuierender Stromquellen muss für Europa ein neues Stromübertragungsnetz zur Verfügung stehen, welches die durch lokale Erzeugung entstehenden Schwankungen großflächig ausgleicht. Dafür müssen leistungsfähige, intelligente Stromnetze aufgebaut werden. Dezentrale Energieversorgungsstrukturen, die über „Backbone“-Netze miteinander verbunden sind sowohl energetisch als auch wirtschaftlich vorteilhaft. Über diese Netze können mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien Lastschwankungen oder Angebotsschwankungen auch über große Entfernungen ausgeglichen und zusätzliche Stromlieferanten eingebunden werden (z.B. Wasserkraft aus Skandinavien, Windenergie aus Portugal oder Solarstrom aus Nordafrika).

Schon 2020 „trägt Strom aus dem sich etablierenden europäischen Erneuerbaren Energie-Stromverbund mit knapp 5 TWh/a bereits substantiell zur Erneuerbaren Energie-Stromerzeugung Deutschlands bei.“ [4]

Gelingt der Ausbau dieses transeuropäischen Supernetzes nicht rechtzeitig oder

nicht vollständig, müssen im nationalen Rahmen einerseits Stromüberschüsse aus Erneuerbaren Energien gespeichert werden und andererseits Stromlücken durch Residuallast-Kraftwerke aufgefangen werden. Im Gegensatz zu bisher eingesetzten Grund- bzw. Mittellastkraftwerken sind dies schnell reagierende Gaskraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung und virtuell vernetzbare Kleinstsysteme wie Blockheizkraftwerke, Mikroturbinen und Brennstoffzellen. Elektrische Energiespeicher, wie sie oft vorgeschlagen werden, könnten im Prinzip diesen Ausgleich ebenfalls leisten, sind jedoch auf absehbare Zeit gegenüber starken Netzen bzw. Residuallast-Kraftwerken vermutlich nicht konkurrenzfähig.

Bedingung: Priorität für Forschung und Entwicklung Erneuerbarer Energietechnologien

Die technologischen, ökonomischen und soziologischen Herausforderungen bei der Transformation zum Energiesystem 2050 sind nur mit Forschung und Entwicklung zu bewältigen.

Für den Übergang vom heutigen Zustand der Energiesysteme zu einem nachhaltigen, emissionsfreien, bzw. -neutralen System wird eine ständige Weiterentwicklung der erneuerbaren und energieeffizienten Technologien und der sozialen Begleitforschung benötigt. Die heute verfügbaren Technologien Erneuerbarer Energien sind noch nicht umfassend weit entwickelt, den Herausforderungen eines

Massenmarkts gewachsen zu sein. Neue Materialien für den Ersatz teurer oder seltener Elemente, Verfahrenstechniken, Systemtechniken, Kommunikationstechniken usw. müssen für hohe Stoffumsätze entwickelt werden.

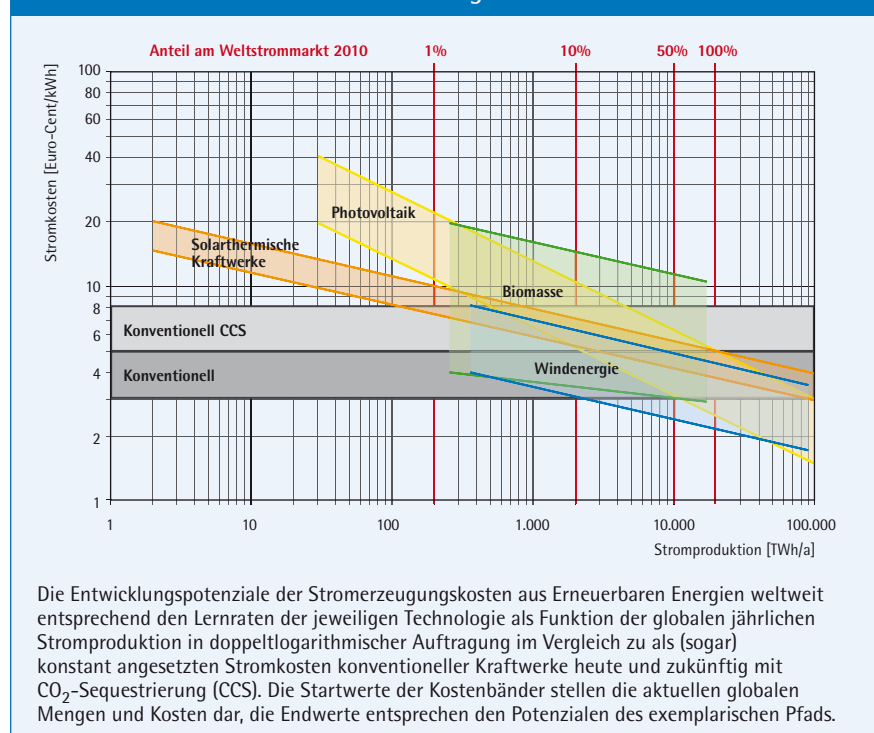
Kostenreduzierung durch Lernkurveneffekte

Wesentlicher Vorteil der Erneuerbaren Energien sind ihre sinkenden Kosten bei zunehmender Nutzung. In Bild 2 sind Preis-Erfahrungskurven bzw. die Lernkurven für verschiedene Erneuerbare Energien zusammengestellt, wobei die Kosten über der erzeugten Energie betrachtet werden. Dabei wird deutlich, dass alle Erneuerbaren konkurrenzfähig zu den konventionellen fossilen Energieträgern werden, sobald ihr globaler Anteil etwa bei 10% oder darüber liegt. Das gilt für alle gleichermaßen. Wirtschaftlichkeit ist somit keine grundsätzliche, sondern nur eine zeitliche Frage.

Erhalt der Vorrangregelung für Stromeinspeisung aus Erneuerbaren Energien

Eine stetige Stromerzeugung durch Grundlastkraftwerke wird nicht mehr benötigt, sobald der Anteil fluktuierender erneuerbaren Stroms größer wird als der Anteil des stetigen Grundlaststroms im Netz gestattet. Dieser Prozess beginnt nach den Leitszenarien 2008 [3] und 2009 [4] bereits ab 2020, wenn der Erneuerbare Energie-Strom einen Anteil

Bild 2: Die Entwicklungspotenziale der Stromerzeugungskosten aus Erneuerbaren Energien weltweit



von rund 40% erreicht hat.

Mit anderen Worten, bleibt die Vorrangigkeit der Einspeisung Erneuerbarer Energien erhalten, wird die Wirtschaftlichkeit von Grundlastkraftwerken darüber entscheiden, wann sie aus ökonomischen Gründen abgeschaltet werden.

Geeignete Kraftwerkstypen sind dann: Gaskraftwerke und Kraft-Wärmekopplungsanlagen (Motor-Generatoren, Mikroturbinen, Brennstoffzellen), die über entsprechende Kommunikationseinrichtungen gesteuert werden können. Auch Biomasseanlagen und geothermische Stromkraftwerke können dazu beitragen, eine gleichmäßige Stromversorgung zu gewährleisten, wie das Regenerative Kombikraftwerk derzeit schon zeigt. Spätestens ab 2030 trägt auch die Erneuerbare Energie-Stromerzeugung in größerem Umfang zu den wachsenden Regelungs- und Ausgleichsaufgaben bei [1].

Die Konsequenzen, die sich aus der Forderung nach schnell reagierenden Kraftwerken ergeben, sind gravierend: Großkraftwerke jeder Art werden für die zukünftigen Versorgungsstrukturen ungeeignet sein, sobald die fluktuierenden Erneuerbaren Energien den Hauptanteil der Versorgung übernehmen. Das bedeutet, dass weder Kernkraftwerke, noch Fusionskraftwerke, noch Kohlekraftwerke eingesetzt werden können. Auch die gegenwärtigen Ansätze der CO₂-Abscheidung und Speicherung bei der Kohleverstromung (CCS) würden aus rein wirtschaftlichen wie aus systemischen Gründen in eine verkehrte Richtung führen.

Der zeitliche Verlauf einer Reduzierung von Grundlastkraftwerken bis 2020 und darüber hinaus regelt sich über die Wirtschaftlichkeit der Kohle- und Kernkraftwerke, sofern die Vorrangregelung zur Einspeisung erneuerbaren Stroms weiter-

hin Bestand hat. Ausgleichszahlungen für abgeregelten erneuerbaren Strom dürfen nur Übergangsregelungen bleiben und müssen zu einem beschleunigten Netz- bzw. Speicherausbau führen.

Schlussfolgerungen

Aus der Verbindung der im Energiekonzept 2050 beschriebenen technologischen Komponenten mit ihren Lern- und Erfahrungseffekten, der Energieeffizienz und der Kosten- und Nutzenanalyse [1] ergibt sich:

1. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien verursacht zwar zunächst Mehrkosten sowohl in der Strom- und Wärmeerzeugung als auch im Verkehrssektor. Bei einer jahresspezifischen Betrachtung wird das Maximum der Mehrkosten aber bereits im Jahr 2015 mit einer Summe von rund 17 Mrd. Euro erreicht.
2. Bei der Betrachtung der Differenzkosten der Erneuerbaren Energien aus allen drei Sektoren wird deutlich, dass die Transformation in ein vollständig auf Erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem bis zum Jahr 2050 auch aus ökonomischer Sicht vorteilhaft ist. Im Zeitraum 2010 bis 2050 können allein in den Sektoren Strom und Wärme Kosten von insgesamt 730 Mrd. Euro eingespart werden.

Der Dreh- und Angelpunkt für eine weitere zügige Entwicklung hin zu einer Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien ist die Energiepolitik. Das Energiekonzept der Bundesregierung kann den Weg dorthin öffnen, wenn die beschriebenen Bedingungen durch gesetzliche Maßnahmen flankiert werden und wenn durch verstärkte Forschung und Entwicklung,

die gegenwärtige Innovationsdynamik aufrecht erhalten wird. Dann allerdings werden Politik und Gesellschaft durch ein Energiesystem, das 2050 vorsichtig gesprochen, zumindest nicht teurer als das gegenwärtige sein wird, belohnt.

Literatur

- [1] Energiekonzept 2050
http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf
- [2] Von Bremen, L.; Hofmann (2009): Storage and Transport Capacities in Europe for a full Renewable Power Supply System. Fraunhofer IWES Studie für Siemens AG. Präsentation auf der ewec 2009 (European Wind Energy Conference). Marseille.
- [3] Leitstudie 2008, Weiterentwicklung der „Ausbastrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas.
Dr. Joachim Nitsch, Stuttgart, in Zusammenarbeit mit der Abteilung „Systemanalyse und Technikbewertung“ des DLR – Instituts für Technische Thermodynamik
- [4] Nitsch, J., Wenzel, B., Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Berlin; August 2009 und weiterführende Arbeiten.

ZUM AUTOR:

► Dr. Gerd Stadermann
Geschäftsführer des Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE)
fvee@helmholtz-berlin.de

DGS-SEMINARTIPP

Solare Kühlung, 25./26. November in Berlin

Das Seminar Solare Klimatisierung im Mai 2010 mit dem renommierten Dozenten Carsten Hindenburg war ein Erfolg. Mit vollen Bankreihen und sehr interessierten Teilnehmern aus branchennahen Unternehmen war nichts von dem „schlafenden Riesen“ Solarthermie zu spüren. Wegen der großen Nachfrage wird dieses Seminar zum 25./26. November 2010 in Berlin erneut angeboten.

Beginnend mit dem ganzheitlichen Ansatz einer energieeffizienten Gebäudenutzung und der Grundlagenvermittlung thermodynamischer Ad- und Absorptionsprozesse in der Kältetechnik wird ein guter Einstieg in das Verständnis für sorptionsgestützte Verfahren gelegt. An vielfältig umgesetzten Beispielprojekten erklärt Hindenburg

Erfahrungen aus Dimensionierung, Regelung und Wirtschaftlichkeit der Anlagen. Von wichtigen Aspekten der solargestützten Systemtechnik für die Planung, mit Tipps und Daumenregeln können die Teilnehmer von dem erfahrenen Planer profitieren. An Hand eines ausführlichen Berechnungsbeispiels werden viele praktische Fragen aufgegriffen und beantwortet. Auch eine Exkursion ist Teil des Seminarprogramms. Beim letzten Mal ging es zur Firma InvenSor GmbH in Berlin, dem Gewinner des Intersolar Awards 2010 mit der Adsorptionskältemaschine InvenSor LTC.

Weitere Infos:

■ <http://www.dgs-berlin.de/solarschule.0.html>