

Beschreibung der Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Gregor Czisch

Jan. 2006

Sowohl die Ressourcenproblematik als auch die drohenden Ausmaße der Klimaänderung lassen einen langfristigen Umstieg auf andere Energiequellen unausweichlich erscheinen und mittelfristig als dringend geboten. Unabhängig von der Frage, auf welchem Niveau sich der Energiebedarf stabilisieren lässt, bleibt dabei zu klären, welche Möglichkeiten sich aus technischer und wirtschaftlicher Sicht in Zukunft zur Deckung unseres Energiebedarfs anbieten. Eine Option besteht in der Nutzung regenerativer Energien in ihrer ganzen Vielfalt.

Die Doktorarbeit "*Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung, kostenoptimierte Variationen zur Versorgung Europas und seiner Nachbarn mit Strom aus erneuerbaren Energien*" konzentriert sich mit der Stromversorgung auf einen Teilaspekt der Energieversorgung, der zunehmend an Wichtigkeit gewinnt und als ein Schlüssel zur nachhaltigen Energieversorgung interpretiert werden kann. In dieser Arbeit wurden Möglichkeiten einer weitgehend CO₂-neutralen Stromversorgung für Europa und seine nähere Umgebung untersucht. Dabei wurde der Frage nachgegangen, wie die Stromversorgung aufgebaut sein sollte, damit sie – basierend auf heute marktverfügbaren Techniken – kostengünstig verwirklicht werden kann. Auch die Frage, welchen Einfluss die Nutzung einiger neuer Technologien, die bisher noch in Entwicklung sind, auf die zukünftige Gestaltung der Stromversorgung haben könnte, wurde anhand einiger Beispiele untersucht. Die Konzeption der zukünftigen Stromversorgung sollte dabei nach Möglichkeit objektiven Kriterien gehorchen, die auch die Vergleichbarkeit verschiedener Versorgungsansätze gewährleisten. Dafür wurde ein Optimierungsansatz gewählt, mit dessen Hilfe weitgehend auf subjektive Entscheidungsprozesse verzichtet werden kann. Die Optimierung wählt aus einem optionalen Kraftwerks- und Leitungspark, hier im weiteren als **Pool** bezeichnet, die kostengünstigste Versorgungsstruktur und entscheidet gleichzeitig über den zeitlichen Einsatz aller Komponenten.

Diese gekoppelte Optimierung von Systemkonfiguration und Einsatz aller Komponenten wird im Folgenden als Kraftwerks-Einsatz- und -Auswahl-Planung bezeichnet. Sie ist im Rahmen der Doktorarbeit eigens in Anlehnung an übliche – in der Energiewirtschaft verwendete – Verfahren der Ausbauplanung entwickelt worden.

Als Erzeugungsoptionen kommen dabei u.a. die Nutzung regenerativer Energien durch Wasserkraftwerke, Windenergiekonverter, Fallwindkraftwerke, Biomassekraftwerke sowie solare und geothermische Kraftwerke in Betracht, die an den jeweils –für das Gesamtsystem - günstigsten Orten betrieben werden. Dabei ergeben sich aus der Hinzunahme von oder den Verzicht auf verschiedene Optionen – z.B. Hinzunahme von einzelnen noch nicht marktverfügbaren Erzeugungstechniken – verschiedene Szenarien der zukünftigen Stromversorgung. Nach der Erstellung des Pools aus Transportnetzen und Erzeugungseinheiten ist jeweils eine regional differenzierte, maximal zur Auswahl stehende Leistung der verschiedenen Komponenten sowie deren Erzeugungscharakteristik mit ihren spezifischen Kosten gegeben. Die Kraftwerks-Auswahl-Planung trifft auf dieser Basis die Entscheidung, welche der gegebenen Optionen zur Stromversorgung zu wählen sind. Die zugrundegelegten Kosten orientieren sich in den meisten Szenarien möglichst nah an den heutigen Kosten, oder beruhen – bei nicht marktverfügbaren Techniken – auf möglichst realistischen Annahmen. Auch die Versorgungsaufgabe wurde möglichst realistisch gewählt und bezieht das gesamte Erzeugungsgebiet, in dem der Pool definiert wurde, mit ein. Die Optimierung hatte also jeweils zur Aufgabe, für die definierte sehr realitätsnahe Versorgungsaufgabe den idealen Kraftwerks- und Leitungspark zu bestimmen, der eine kostenoptimale Stromversorgung gewährleistet.

Durch eine verstärkte großräumige Vernetzung von Verbrauch und Erzeugung waren günstige Effekte für den Einsatz dargebotsabhängiger regenerativer Erzeugungseinheiten zu erwarten. So liegen die günstigsten Standorte für Kraftwerke, die von regenerativen Energien gespeist werden, oft weit von den potentiellen Stromabnehmern entfernt. Zudem stellt sich bei großen räumlichen Distanzen ein deutlicher Ausgleich der lokalen Darbotsschwankungen ein und gleichzeitig können Leistungs- und Arbeitsvermögen der integrierten Speicher-

kraftwerke flexibler eingesetzt werden. Deshalb wurde das Versorgungsgebiet¹ und dementsprechend auch der Pool – im Hinblick auf hinreichende Ausgleichseffekte – für Europa und seine Nachbarn in einer Größe gewählt, die eine vorteilhafte Nutzung der genannten Effekte erwarten ließ. So wurde auch das Zusammenspiel einer Vielzahl von Kraftwerken in einem weiträumigen Netzverbund mit verschiedenen verfügbaren Speichersystemen mit Hilfe der Kraftwerks–Einsatz– und –Auswahl–Planung untersucht.

Das Ziel war, mit Hilfe unterschiedlicher Szenarien eine breite Basis als Entscheidungsgrundlage für zukünftige politische Weichenstellungen zu schaffen. Für Szenarien mit unterschiedlichen Grundannahmen ergeben sich verschiedene Stromversorgungsstrukturen und Stromkosten. Die Szenarien zeigen damit Optionen für eine zukünftige Gestaltung der Stromversorgung auf, machen Auswirkungen verschiedener – auch politischer – Rahmenbedingungen deutlich und stellen so die geforderte Entscheidungsgrundlage bereit.

Vorgehensweise

Ein erster, wesentlicher Schritt zur Erstellung der Szenarien war die Schaffung einer belastbaren Datengrundlage. Für die erneuerbaren Energien mussten beispielsweise deren Potentiale sowie deren Dargebotsverhalten ermittelt werden. Zur Ermittlung der Potentiale kurzfristig bis mittelfristig dargebotsabhängiger regenerativer Energien mussten – anhand der dafür genutzten Daten – ausreichend lange Zeiträume überschaubar sein. Gleichzeitig musste das kurzfristige Dargebotsverhalten mit den Daten auch in angemessener zeitlicher Auflösung erfasst werden. Eine weitere Anforderung war, dass alle räumlich/zeitlichen Interdependenzen, Korrelationen sowie Antikorrelationen und stochastischen Effekte möglichst realitätsnah abgebildet sein mussten. Diese Forderung bedeutet, dass die Daten, mit denen das Dargebotsverhalten regenerativer Energien erfasst werden sollte, an allen Orten für den gleichen Zeitraum verfügbar sein mussten².

Diese Anforderungen erfüllen die globalen Analysemodelle verschiedener Wetterdienste³. Mit ihnen ist es möglich, nicht nur die räumlich/zeitlichen Verhältnisse einer regenerativen Ressource hinreichend genau zu erfassen, sondern auch die Beziehungen zwischen verschiedenen regenerativen Ressourcen, also beispielsweise der Windenergie und der Solarenergie. Durch ihre Verwendung wurde es erstmals möglich anhand einer verlässlichen Datengrundlage Fragen einer großräumigen regenerativen Stromversorgung ohne ungesicherte Annahmen anzugehen. Für die weniger kurzfristig dargebotsabhängige regenerativen Energien – wie die Wasserkraft und die Biomasse – war die Anforderung an die Abbildungstreue des zeitlichen Verhaltens nicht so hoch, dafür musste insbesondere bei der Wasserkraft auf eine realitätsnahe räumliche Verteilung bestehender Kraftwerke geachtet werden, um das Dargebotsverhalten hinreichend genau zu erfassen. Bei der Geothermie hingegen spielten zeitliche Effekte – im Gegensatz zur räumlichen Verteilung der Ressourcen – keine Rolle, weshalb sich hier die Erstellung der Datengrundlage auf die Lokalisierung der Ressourcen und die Abschätzung ihrer Qualität für die Stromerzeugung konzentrieren konnte. In allen Fällen mussten bisher unbeschrittene Wege gefunden werden, um die notwendige Datengrundlage zu schaffen. Gleichmaßen gilt dies für die Stromverbrauchsdaten, die aus einer Vielzahl der Länder im Versorgungsgebiet, das in den Szenarien berücksichtigt ist, verfügbar gemacht werden konnten. Diese Daten dienten wiederum als Grundlage, von der aus auf die Lastverläufe in Ländern geschlossen wurde, für die keine originalen Stromverbrauchsdaten verfügbar waren.

Als Grundlage der Szenarien mussten aber ebenso belastbare Kostendaten gefunden werden, die allen Besonderheiten der jeweiligen Technologien gerecht werden. Deshalb wurden die Kosten für jede berücksichtigte Erzeugungsoption studiert und dementsprechend ausführlich auch in der Arbeit diskutiert. Das gibt dem Leser der Doktorarbeit auch die Möglichkeit, sich ein eigenständiges Bild zu machen.

Ein weiterer innovativer Ansatz war, eine mathematische Optimierung für das Auffinden der optimalen zukünftigen Stromversorgung zu verwenden. So wurde es möglich zu einem objektiven Bild der Möglichkeiten einer zukünftigen, regenerativen Stromversorgung zu gelangen. Der Zugang über einen mathematischen Optimierungsansatz bei der Ermittlung der kostenoptimalen Stromversorgung, gewährt eine weitgehende Unabhängigkeit von subjektiven Entscheidungskriterien. Gewählt wurde als Optimierungsansatz die Lineare Optimierung

¹ Das gewählte Szenariogebiet erfasst mit Europa und seinen südlichen und östlichen Nachbarn etwa 1,1 Mrd. Einwohner und einen Stromverbrauch von knapp 4000 TWh/a (vgl. [Czi04]).

² Insbesondere eine Verwendung von statistischen Daten ohne realen Zeit- und Ortsbezug ist aufgrund dieser Anforderung ausgeschlossen.

³ In dieser Arbeit wurden für die Erstellung der Datengrundlage kurzfristig dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien meteorologische Daten der ECMWF–Reanalyse ERA–15 verwendet und teilweise auch von NCAR/NCEP.

bzw. Lineare Programmierung. Die resultierenden Optimierungsprobleme haben einen großen Umfang. Das wirkte sich nicht nur auf die Rechenzeiten aus, sondern erzwang auch die Nutzung von leistungsstarken Rechnern mit großen Haupt-Speichern (RAM) und erforderte insbesondere aufgrund der Größe des Optimierungsproblems⁴ eine effiziente Entwicklungsumgebung zu dessen Formulierung. Auch diese wurde im Rahmen der Arbeit eigens entwickelt.

Bestandteil der Optimierung war eine mathematische Abbildung aller nutzbaren Systemkomponenten, wie etwa der regenerativen Erzeugungseinheiten. Auch eine Auseinandersetzung mit den verfügbaren Transporttechniken war nötig, um die Möglichkeiten der Nutzung regenerativer Energien im großräumigen Stromverbund adäquat erfassen und abbilden zu können. Diese Transportthematik wird deshalb auch ausführlich dargestellt, wobei neben dem Vergleich von Drehstrom- und Gleichstromtechnik auch eine detaillierte Diskussion der Kosten und Wirkungsgrade für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) Platz findet.

Darauf aufbauend wurde eine Vielzahl verschiedener Szenarien gerechnet. Dabei führen Szenarien mit verschiedenen technologischen und ökonomischen Annahmen zu unterschiedlichen Ergebnissen für die zukünftige Stromversorgung. Als Ausgangsszenario und Bezugspunkt dient ein konservatives **Grundszenario**. Hier handelt es sich um ein Szenario für eine Stromversorgung ausschließlich unter Nutzung erneuerbarer Energien, die wiederum ausschließlich auf heute bereits entwickelten Technologien zurückgreift und die heutigen Kosten aller Komponenten zugrundelegt. Dieses Grundszenario ist dementsprechend auch als eine Art konservative Worst-Case-Abschätzung für unsere Zukunftsoptionen bei der regenerativen Stromversorgung zu verstehen. Damit hat es besondere Bedeutung und wurde zur Validierung seiner grundsätzlichen Aussagekraft in vielfältiger Weise überprüft.

Wichtigste Ergebnisse

Als Ergebnis der Optimierung basiert die Stromversorgung beim Grundszenario zum größten Teil auf der Stromproduktion aus Windkraft. Biomasse und schon heute bestehende Wasserkraft übernehmen den überwiegenden Teil der Backup-Aufgaben innerhalb des – mit leistungsstarken HGÜ-Leistungen verknüpften – Stromversorgungsgebiets. Die Stromgestehungskosten liegen mit 4,65 €/kWh sehr nahe am heute Üblichen. Bezogen auf das Bruttosozialprodukt machen die Mehrkosten für die rein regenerative Stromversorgung des Grundszenarios – im Bezug auf die Kostenstruktur Anfang 2004 – nur wenige Promille aus⁵. Dieses Ergebnis zeigt, dass bei internationaler Kooperation schon bei Nutzung heute verfügbarer Technik ohne weitere Kostenreduktionen eine rein regenerative Stromversorgung möglich ist, die wirtschaftlich ohne Probleme zu realisieren wäre. Das verweist den Handlungsbedarf eindeutig in den Bereich der Politik. Eine wesentliche Aufgabe der Politik läge darin, die internationale Kooperation zu organisieren und Instrumente für eine Umgestaltung der Stromversorgung zu entwickeln. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass nicht nur der Weg zu einer CO₂-neutralen Stromversorgung beschritten würde, sondern sich darüber hinaus ausgezeichnete Entwicklungsperspektiven für die ärmeren Nachbarstaaten der EU und Europas eröffnen⁶.

⁴ Die Dateien im Standardformat für die lineare Optimierung, in denen die Optimierungsprobleme für die Szenarien formuliert sind, bestehen jeweils aus etwa 20 Millionen Zeilen (Das entspricht etwa einer halben Millionen Seiten.) und haben im Ascii-Format eine Größe von knapp 900 MB. Solche Dateien von Hand zu editieren, ist praktisch ausgeschlossen, zumal für die verschiedensten Szenarien und während der Entwicklung der Methodik dutzende davon erstellt werden mussten. Auch die verfügbaren Entwicklungsumgebungen waren aufgrund der Problemgröße nur wenig geeignet.

⁵ Setzt man für die heutigen Kosten die Preise für Strom an, der an der Energiebörse Deutschlands am Strom-Terminmarkt gehandelt wird – er lag im 1. Halbjahr 2004 im Mittel der niedrigen "Cal-05 base" bei gut 3,2 €/kWhel [EEX04] (und liegt heute nochmals deutlich höher), dann liegt die Differenz – berechnet für Deutschland - bei etwas mehr als 1,4 €/kWhel, oder 3,4% des Deutschen Bruttoinlandsprodukts.

⁶ Ein Ausbau der erneuerbaren Energien, wie er von der Optimierung im Grundszenario insbesondere in vielen – der EU benachbarten - Entwicklungsländern mit großen Kraftwerkskapazitäten vorgesehen wird, würde dort beinahe zwangsläufig eine Entwicklung von Fertigungskapazitäten für die verschiedenen Kraftwerkssysteme nach sich ziehen. Sowohl hierfür, als auch für die Errichtung der Produktionskapazitäten und der Transportsysteme sowie für die Erlangung des regional nötigen Know-Hows wäre der Aufbau der Infrastruktur in allen hierfür relevanten Sektoren als Konsequenz zu erwarten. Darin begründet sich ein großes Entwicklungspotential, das z.B. für eine Reihe Afrikanischer und anderer relativ armer Staaten im Zuge der Errichtung einer interkontinentalen Stromversorgung erschlossen werden könnte. Dabei würden gleichzeitig die EU-Staaten wirtschaftlich nur relativ wenig belastet, da die Gesamtkosten im Verhältnis zu deren Wirt-

Einige Weitere wichtige Ergebnisse

Beim Grundszenario liegen – wie oben erwähnt – die Stromgestehungskosten bei 4,65 €/kWh und damit sehr nahe am heute Üblichen. Das Ergebnis der Optimierung ist eine Stromversorgung, bei der der größte Teil der Stromproduktion aus Windkraft erfolgt. Biomasse und schon heute bestehende Wasserkraft übernehmen den wesentlichen Part der Backup- Aufgaben innerhalb des – mit großen HGÜ-Leistungen verknüpften – Stromversorgungsgebiets.

Wenn – in einem restriktiv "dezentralen" Ansatz – der Stromtransport zwischen den Regionen⁷ ausgeschlossen wird, steigt die Überschussproduktion stark an und zusätzliche Backup-Leistung sowie Backup-Energie aus anderen Quellen muss herangezogen werden. In einem Szenario, in dem kein Stromtransport zwischen den Regionen zugelassen ist und Brennstoffzellen – betrieben mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff – genutzt werden, um die aus diesem Ansatz resultierenden Engpässe aufzulösen, ergibt sich trotz sehr optimistischer Annahmen für die Wasserstoffkosten eine Erhöhung der mittleren Stromkosten auf über 8 €/kWh. Für Region 6 (Deutschland und Dänemark) würde dieser restriktiv "dezentrale" Ansatz zu einer Erhöhung der Stromkosten auf 10 €/kWh führen und damit auf mehr als das Doppelte. Selbst diese Kosten müssen wegen der niedrig angesetzten Wasserstoffkosten mit großer Vorsicht interpretiert werden. So erlauben die Szenarien auch Rückschlüsse auf die Auswirkungen einer Konzentration auf eine eventuelle zukünftige Wasserstoffwirtschaft.

Auch die Auswirkung von Kostenentwicklungen einzelner Komponenten konnte in eigenen Szenarien untersucht werden. Durch eine deutliche Reduzierung der Kosten für Photovoltaik (PV), könnte auch sie einen ökonomisch sinnvollen Beitrag zur Stromversorgung leisten. Wenn alle anderen Kosten unverändert blieben, würde PV in diesen Szenarien ab etwa einem Achtel der heutigen Kosten⁸ eingesetzt und für knapp 4% der Stromerzeugung genutzt, allerdings ausschließlich in den südlichsten Regionen. Würde es gelingen die Kosten für PV auf ein 16tel der heutigen Kosten zu reduzieren, würden – als Ergebnis der Optimierung – schon etwa 22% der Stromerzeugung von PV beigetragen. Dabei wurde wieder vorausgesetzt, dass bei den anderen Komponenten des Versorgungssystems keinerlei Kostenreduktion stattfindet. Unter diesen Annahmen würden sich die Stromkosten gegenüber dem Grundszenario um ca. 10% auf 4,3 €/kWh reduzieren. Auch jetzt würde die Photovoltaik in den nördlichsten 6 der 19 Regionen noch nicht genutzt, da sie nicht zu einer Verringerung der Stromkosten im gesamten Versorgungsgebiet beitragen könnte. Hier stellen die Szenarien Informationen zur Verfügung, die jedem Interessierten bei der eigenständigen Einschätzung der Optionen hilft, die die Photovoltaik als eventuelle zukünftige Energietechnologie bietet.

Die Auswirkungen von Kostenreduktionen bei der Solarthermie werden wiederum in anderen Szenarien untersucht. Wenn sich beispielsweise die Kosten für die Kollektorfelder von Parabolrinnenkraftwerken halbieren ließen – wie bei verstärkter Nutzung dieser Technologie schon für die nähere Zukunft erhofft, würden die solarthermischen Kraftwerke für ca. 13% der Stromerzeugung genutzt. Dadurch ließen sich die Stromkosten gegenüber dem Grundszenario um ca. 4% reduzieren. Bei einer Reduzierung der Kosten für die Kollektorfelder auf 40% und bei gleichzeitiger Reduzierung der Speicherkosten auf zwei Drittel der heutigen Kosten läge ihr Beitrag bei annähernd 28% der Stromerzeugung und die Stromgestehungskosten würden um ca. 10% auf 4,3 €/kWh sinken. (Nach neueren Untersuchungen lassen sich höchstwahrscheinlich noch wesentlich niedrigere Speicherkosten realisieren.) Das zeigt, dass bei richtiger Weichenstellung in Zukunft auch Solarthermie ein wirtschaftlich interessantes Potential erschließen könnte, was in Anbetracht der relativ kleinen benötigten Kostendegression nicht allzu schwer zu erreichen scheint.

Auch der Vorschlag des Baus eines großen Wasserkraftwerks an einem besonders günstigen Standort am Kongo bei Inga in der Demokratischen Republik Kongo konnte in einem Szenario untersucht werden. Es wurde von der Optimierung mit einer Leistung von 38 GW vorgesehen, womit es die Stromkosten um 6% senken könnte,

schaftskraft relativ gering wären. Zum Thema Entwicklungszusammenarbeit durch die Umsetzung einer internationalen "Energiepartnerschaft" siehe z.B. auch [BBB+03], [Czi01a], [Czi01b]

⁷ Zu den Regionen vgl. [Czi04].

⁸ Um die Kostenschwelle zu finden, ab der PV von der Kraftwerks-Einsatz- und -Auswahl-Planung für die Stromversorgung im Szenariogebiet eingesetzt werden würde, sind die Kosten sukzessive mehrfach halbiert worden, bis die Optimierung bei einem Achtel der heutigen Kosten erstmals PV vorgesehen hat.

was einerseits auf seinen günstigen Strom und andererseits auf weitere günstige Auswirkungen dieser Wasserkraftnutzung im System zurückgeht.

In weiteren, eher spekulativeren Szenarien konnten die Perspektiven untersucht werden, die sich aus der Nutzung bisher nur theoretisch untersuchter Stromerzeugungsoptionen – wie die Hot–Dry–Rock–Geothermie oder die Nutzung von Fallwindkraftwerken (FWKW) – ergeben können. In einem Szenario, in dem bei der Kraftwerks–Einsatz– und –Auswahl–Planung auch die Nutzung von Fallwindkraftwerken zugelassen war, ist das Ergebnis der Optimierung ein Stromversorgungssystem, das weitgehend von der intensiven Nutzung der Stromerzeugung aus Fallwindkraftwerken geprägt ist. Die Stromgestehungskosten liegen mit knapp 4,1 €/ kWh um gut 12% niedriger als im Grundszenario. Auch wenn es sich hierbei – wie erwähnt – um ein Szenario handelt, das einen spekulativen Charakter hat, da bisher kein FWKW realisiert wurde, zeigt es doch auf, welche interessante Perspektive im Besonderen in dieser Stromerzeugungsoption gesehen werden kann und welche Möglichkeiten sich evtl. noch durch weitere bisher nicht entwickelte Technologien erschließen ließen. Die Nutzung der Hot–Dry–Rock–Geothermie wird von der Kraftwerks–Einsatz– und –Auswahl–Planung nicht vorgesehen, solange die Kosten auf dem Niveau liegen, das für die heutige Situation abgeschätzt wurde. Eine Kostenreduktion auf die Hälfte oder im Mittel der genutzten Standorte gut 5 €/ kWh führt aber zu Szenarien in denen bis zu einem Sechstel des Stroms im Szenariogebiet geothermisch erzeugt würde. Damit zeigen diese Szenarien auch interessante Perspektive für die Geothermie auf.

In allen Szenarien – außer den relativ teuren restriktiv ”dezentralen” ohne interregionalen Stromtransport – spielt der Stromtransport eine wichtige Rolle. Er wird genutzt, um Ausgleichseffekte bei der dargebotsabhängigen Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen zu realisieren, gute kostengünstige Potentiale zu erschließen und um die Speicherwasserkraft sowie die dezentral genutzte Biomasse mit ihrer Speicherfähigkeit für großräumige Backup–Aufgaben zu erschließen. Im Grundszenario werden beispielsweise etwa zwei Fünftel der Erzeugung großräumig transportiert. Damit erweist sich der Stromtransport als einer der Schlüssel zu einer kostengünstigen Stromversorgung. Dies wiederum kann als Handlungsempfehlung bei politischen Weichenstellungen interpretiert werden, die demnach gezielt auf internationale Kooperation im Bereich der Nutzung erneuerbarer Energien setzen und insbesondere den großräumigen Stromtransport mit einbeziehen sollten. Die Szenarien stellen damit detaillierte und verlässliche Grundlagen für wichtige politische und technologische Zukunftsentscheidungen zur Verfügung.

Literatur

- [BBB+03] BENHAMOU, K. ; BENNOUNA, A. ; BRÜGMANN, H.-J. ; CZISCH, G. ; FELL, H.- J. ; FISCHEDICK, M. ; HAAS, A. ; JISCHA, M. ; KABARITI, M. ; KNIES, G. ; LEHMANN, H. ; LEHMANN, K.-P. ; METZ, P. ; MICHAELOWA, A. ; U., Möller ; NOKRASCHY, H. ; SATOGUINA, H. ; SCHÖNWIESE, C.-D. ; TRIEB, F.: Trans- Mediterranean Renewable Energy Cooperation ”TREC” – for development, climate stabilisation and good neighbourhood, Deutsche. Internet–Veröffentlichung der ”German Ass. Club of Rome” und des ”Hamburg Climate Protection Foundation” bei Saharawind.com, Marokko. November 2003. – Verfügbar über: <http://saharawind.com/documents/trec.paper.pdf>
- [Czi01a] CZISCH, G.: Global Renewable Energy Potential – Approaches to its Use. Vortrag und Internet–Veröffentlichung. 2001. – Verfügbar über: <http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/fohlen/magdeb030901/overview.htm>
- [Czi01b] CZISCH, G.: Potentiale der regenerativen Stromerzeugung in Nordafrika – Perspektiven ihrer Nutzung zur lokalen und großräumigen Stromversorgung. In: BLUM, W. (Hrsg.): Energie Plutonium Strom und die Umwelt – 17 Vorträge der Tagungen Heidelberg (1999) und Dresden (2000). Bad Honnef : DPG – AKE, 2001. – Veröffentlichung zum Vortrag auf der Frühjahrskonferenz 1999 – Verfügbar über: http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/projekte/Pot_Strom_Nordafrika.pdf, S. 213–232
- [Czi04] CZISCH, G., SCHMID J. (2004), Low Cost but Totally Renewable Electricity Supply for a Huge Supply Area – a European/Transeuropean Example, WWEC 2004 – The 3rd World Wind Energy Conference Renewable Energy Exhibition – The 2nd Wind Power Asia, Peking, Oktober/November 2004, Internet–Veröffentlichung – Verfügbar über: <http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/projekte/WWEC2004.pdf>
- [EEX04] EEX, Autor n. b.: Strom Terminmarkt, Gesamtübersicht : Cal-05 base 28.06.02–01.10.04. Internet–Veröffentlichung, European Energy Exchange, Leipzig. September 2004. – Verfügbar über: http://www.eex.de/futures_market/market_data/futures_graph.asp?marketdaten_date=10/1/2004&zoom=all&type=F1BY&period=2005.01