


Auf die VERTEILUNG kommt es an

Von Dr. Franz Trieb



Das 50-Megawatt-Kraftwerk Andasol 1 bei Guadix, Südspanien, im Bauzustand 2007. Als große Tanks erkennbar: Sieben-Stunden-Speicher für den Nachtbetrieb. Das Kraftwerk soll zum Herbst 2008 am Netz sein.

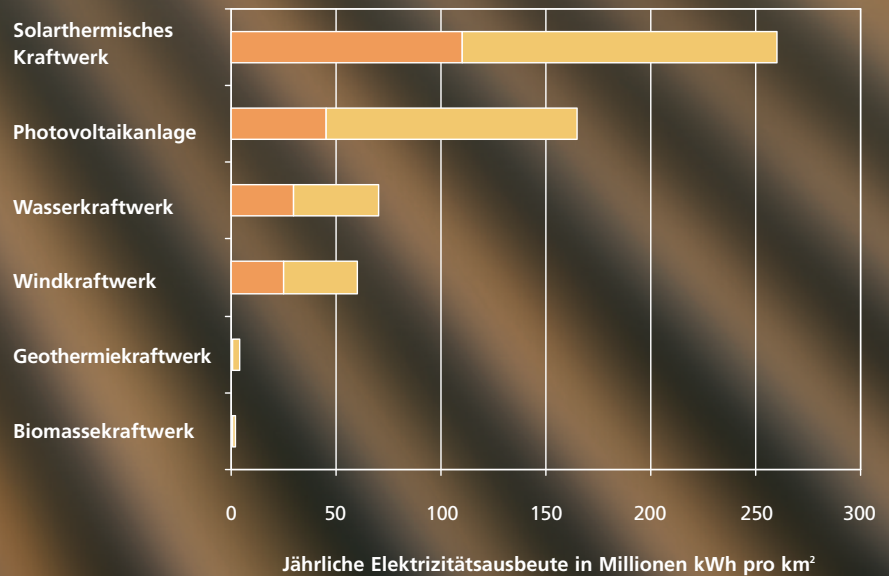


Internationale Energieverbünde: Nachhaltige Energieversorgung als Teil der Außenpolitik



Schon heute zeigt sich, dass im Energiebereich ein Paradigmenwechsel notwendig wird, um zunehmende Energiekosten, Umweltschäden, Konflikte und Verteilungskämpfe zu vermeiden: weg von den klassischen, unter der Erde gespeicherten Energieformen Öl, Gas, Kohle und Uran, hin zu den frei fließenden erneuerbaren Energieströmen Wasserkraft, Biomasse, Windenergie, Geothermie, Gezeiten- und Wellenenergie sowie Sonnenenergie. Im Rahmen mehrerer Studien im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat die Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart eine Bestandsaufnahme der Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen für die Stromerzeugung im Großraum Europa-Mittlerer Osten-Nordafrika erstellt.

Maximale jährliche Stromerträge verschiedener Kraftwerkstypen bezogen auf die benötigte Landfläche bei Freilandanlagen in der Region Europa-Mittlerer Osten-Nordafrika.



Betrachtet man die Prognosen für Europas Energiebedarf bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts, kann man sehen, dass mit einem vergleichsweise moderaten Wachstum des Stromverbrauchs – allerdings auf hohem Niveau – zu rechnen ist. Begründet ist das durch die relativ konstanten Bevölkerungszahlen und das moderate Wirtschaftswachstum. Im Süden des Mittelmeerraums, im Mittleren Osten und in Nordafrika sieht das ganz anders aus: Dort nimmt die Bevölkerung zu, die Wirtschaftskraft wächst und der Energiebedarf steigt. Es wächst praktisch ein zweites Europa heran, eine Tatsache, die durchaus wünschenswert ist, aber eine Herausforderung für eine nachhaltige Versorgung der Gesamtregion Europa-Mittlerer Osten-Nordafrika darstellt, kurz EUMENA genannt für Europe-Middle East-North Africa.

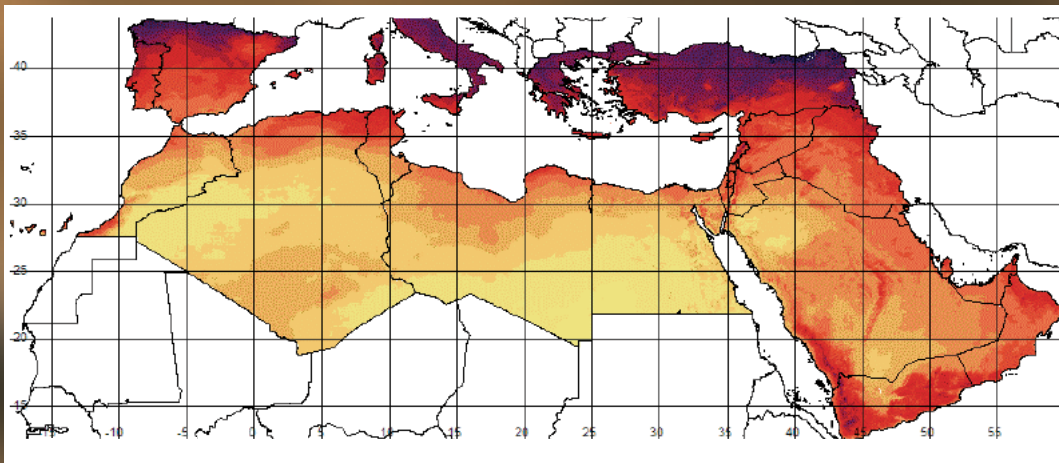
Unterschiedliche Verfügbarkeit

Die Untersuchung zeigte, dass in dieser Region große Mengen erneuerbarer Energie zur Verfügung stehen, allerdings in ganz unterschiedlichen Erscheinungsformen, Konzentrationen und Zusammensetzungen. So können aus Biomasse mit der heute verfügbaren Technologie an guten Standorten im Herzen Europas jedes Jahr bis zu zwei Gigawattstunden (GWh), das sind zwei Millionen Kilowattstunden, Elektrizität pro Quadratkilometer Landfläche „geerntet“ werden. Ähnlich verhält es sich bei der (noch nicht ganz ausgereiften) Nutzung geothermischer Energie aus sehr tiefen Schichten (Hot Dry Rock Verfahren). Bei Wasserkraft und Windkraft steigt der Ertrag auf 50 bis 70 GWh pro Quadratkilometer und Jahr (GWh/km²/a) an, zumindest an den guten Wasserkraftstandorten in Skandinavien und in den Alpen, ebenso wie bei der Windkraft an der Atlantik- und Nordseeküste, Offshore,

und an besonders exponierten Standorten auch im Inland. Doch werden diese Erträge durch die direkte Nutzung der Sonnenenergie mit Photovoltaikanlagen und vor allem mit großen solarthermischen Dampfkraftwerken deutlich in den Schatten gestellt: Hier schlägt der Stromertrag mit ca. 150 bis 250 GWh/km²/a im südlichen Mittelmeerraum zu Buche.

Wasser und Wind im Schatten der Sonne

Vernachlässigt man alle Flächen, die sich aus den verschiedensten Gründen nicht für die Aufstellung der notwendigen Gerätschaften eignen und berücksichtigt man nur jene Potenziale, die durch technische Entwicklung, Serienfertigung, Massenproduktion und ausreichende Erträge in absehbarer Zeit konkurrenzfähig werden könnten, dann ergeben sich für die Region EUMENA die folgenden Gesamtpotenziale für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequel-



Jährliche direkte solare Einstrahlung pro Quadrat-kilometer Landfläche in der Region Europa-Mittlerer Osten-Nordafrika in Gigawattstunden (GWh/ km²/a).

Quelle: www.dlr.de/tt/med-csp



len, angegeben jeweils in Terawattstunden, TWh (eine TWh entspricht einer Milliarde Kilowattstunden):

| | |
|---------------|---------------|
| Wasserkraft | 1.350 TWh/a |
| Windkraft | 1.950 TWh/a |
| Biomasse | 1.350 TWh/a |
| Geothermie | 1.100 TWh/a |
| Sonnenenergie | 630.000 TWh/a |

Auch hier stellt die direkte Nutzung der Sonnenenergie die aus ihr abgeleiteten Energieformen Wind, Biomasse und Wasserkraft sowie auch die Geothermie weit in den Schatten. Das Sonnenstrompotenzial übersteigt den heutigen Weltstrombedarf von etwa 18.000 TWh/a um Größenordnungen, während die anderen Energieformen nicht ausreichen würden, um allein den Bedarf der Region EUMENA von heute – etwa 4.000 TWh/a – abzudecken.

Energie ist also ausreichend, ja sogar im Überfluss, vorhanden. Aber es stellt sich die Frage: Ist sie auch dort verfügbar, wo sie gebraucht wird und vor allem auch dann, wenn sie ge-

braucht wird? Oder brauchen wir riesige Speicherkapazitäten im Stromnetz, um die räumlich weit verteilten und fluktuierenden erneuerbaren Energieströme an die Spitzen-, Mittel- und Grundlast anzupassen?

Spitzenlast wird heute durch schnell regelbare Kraftwerke gedeckt. Diese werden im Bedarfsfall zugeschaltet, um das Stromnetz zu stabilisieren. Sie laufen nur wenige hundert bis tausend Stunden im Jahr und arbeiten meistens mit Erdgas oder gespeicherter Wasserkraft. Mittellast wird durch Kraftwerke gedeckt, die weniger gut regelbar sind und mehr Zeit zum Anfahren benötigen, wie beispielsweise Kohlekraftwerke. Grundlast wird heute in der Regel durch Braunkohle-, Kohle- und Atomkraftwerke gedeckt, die beinahe durchgehend bei konstanter Leistung arbeiten.

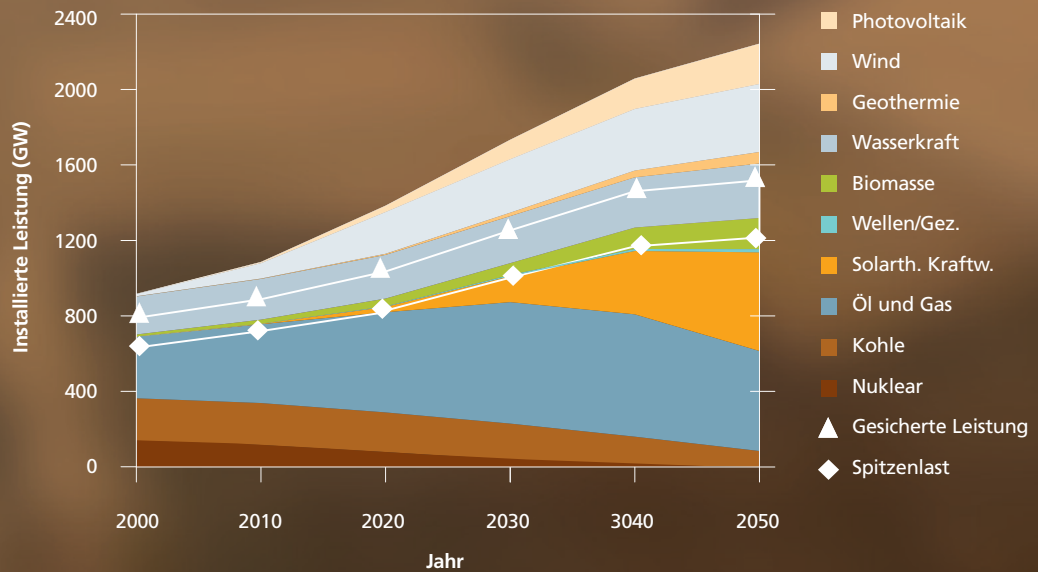
Die Grundlast selbst wird jedoch nicht durch große, kontinuierlich laufende Verbraucherblöcke realisiert, sondern sie ist sozusagen der Sockel, der durch

die statistische Addition vieler räumlich verteilter und fluktuierender Verbraucher entsteht. Entsprechend verhält es sich mit den verschiedenen erneuerbaren Energiequellen, die deshalb im Prinzip genauso gut zur Deckung der Grundlast geeignet sind; allerdings fast immer im Verbund, selten alleine. Dies konnte für eine ganze Reihe von Ländern mit einem einfachen Rechenmodell belegt werden. Es bilanzierte den stündlichen Verlauf der Last mit dem stündlichen Verlauf der Stromerzeugung aus verschiedenen erneuerbaren und fossilen Energiequellen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass durch einen moderaten Umbau der Netzstruktur die Voraussetzungen für ein solches Szenario beispielsweise auch in Deutschland geschaffen werden können.

Ein weiteres Ergebnis der vom DLR durchgeführten Untersuchung war, dass eine zuverlässige Deckung der elektrischen Last mit einem ausgewogenen Mix erneuerbarer und fossiler Energiequellen durchaus zu be-

Installierte elektrische Leistung verschiedener Kraftwerkstypen bis 2050 in der Region EU-MENA. Die Grafik zeigt ebenso die kumulierte Spitzenlast aller Länder und die kumulierte gesicherte elektrische Leistung aller Kraftwerkstypen im Vergleich.

Quelle: Trieb und Müller-Steinhagen 2007



werkstelligen ist. Bei diesem Konzept übernehmen die Erneuerbaren weitgehend die Grundlast, während fossile Energieträger, bei gleichzeitig stark reduziertem Verbrauch, einen wichtigen Teil der Regelleistung zum Ausgleich von Angebot und Last liefern.

Ein Teil der Regelleistung wird jedoch auch und zunehmend durch gut speicherbare erneuerbare Quellen wie Geothermie, Wasserkraft, Biomasse und solarthermische Kraftwerke übernommen. Auf dieser Basis wurde ein Szenario des Kraftwerksparks für jedes einzelne der untersuchten 50 Länder in der Region EUMENA bis zum Jahr 2050 erstellt. Die erneuerbaren Energiequellen kommen im Wesentlichen dort zum Einsatz, wo sie am ergiebigsten und am besten verfügbar sind, und werden von dort über das Stromnetz an die einzelnen Verbraucher verteilt. Zusätzliche Stromspeicher werden nicht benötigt.

Strom aus dem Süden

Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Ertrag eines großen Windparks nicht in das lokale Netz eingespeist werden kann, sondern über eine Hochspannungsleitung in die nächste Großstadt geschafft werden muss, eben dorthin, wo der entsprechende Bedarf auftritt. Dies ist im Grunde nichts Neues und wird bisher auch bei anderen Kraftwerkstypen wie Kohle- und Atomkraftwerken so gehandhabt. Will man Wasserkraft aus Norwegen, Windstrom aus der Nordsee oder Solarstrom aus der Sahara auch in Deutschland nutzen, dann werden die Entfernungen allerdings sehr groß, und das konventionelle Wechselstromnetz würde große Übertragungsverluste verursachen.

Deshalb werden zunehmend „Stromautobahnen“ auf der Basis der Hochspannungs-Gleichstromübertragungstechnik (HGÜ) entstehen, um Strom mit nur wenigen Prozenten Verlust

von den ergiebigsten Quellen zu den entfernten Verbrauchszentren zu bringen. In China wurde dieses Jahr mit dem Bau einer solchen HGÜ-Leitung von 2.070 Kilometern Länge mit einer Leistung von 6.400 Megawatt begonnen, die ein großes Wasserkraftwerk mit Shanghai verbindet. Dort wird der Strom ins konventionelle Wechselstromnetz eingespeist und über dieses an die Verbraucher verteilt. So könnte auch Solarstrom aus Algerien oder Marokko mit nur zehn Prozent Verlust im Ruhrgebiet ankommen. Damit würde für Europa eine Möglichkeit erschlossen, die ungeheuren Energieressourcen des südlichen Mittelmeerraums auch andersorts zu nutzen.

Das oben beschriebene Szenario sieht einen Anteil von Solarimporten von etwa 15 Prozent der Stromversorgung Europas bis zum Jahr 2050 vor (100 GW, 700 TWh/a). Dieser Strom wird zum größten Teil nicht aus den hierzulande wohlbekanntesten Photovoltaikzellen kommen, sondern aus gut regelbaren solarthermischen Dampf-



Die hier zusammengefassten Studien wurden im Internet veröffentlicht unter den Adressen:

- www.dlr.de/tt/med-csp
- www.dlr.de/tt/trans-csp
- www.dlr.de/tt/aqua-csp

Trans-Mediterrane „Stromautobahnen“ zur Verbindung von EU-MENA auf der Basis der Hochspannungs-Gleichstromübertragung als Ergänzung zum konventionellen Wechselstromnetz.

Quelle: Knies, Möller, Straub 2007

kraftwerken, die Dampf aus konzentrierenden Sonnenkollektoren (anstelle von fossil oder atomar beheizten Dampferzeugern) für den Betrieb der Turbinen verwenden und mit Hilfe großer Hochtemperatur-Wärmespeicher auch nachts Strom produzieren können.

Solarthermische Dampfkraftwerke sind in Kalifornien seit 1985 erfolgreich am Netz. Insgesamt wurden dort im letzten Jahrhundert 354 MW installiert, die größte derzeit mit Sonnenenergie betriebene Dampfturbine hat eine Leistung von 80 MW. Im Jahr 2007 ging in Nevada ein Kraftwerk dieses Typs mit 64 MW Leistung ans Netz, und viele weitere mit einer Gesamtkapazität von insgesamt über 7.000 MW sind weltweit im Bau und in der Planung. So entstehen derzeit zwei Kraftwerke mit je 50 MW Leistung in Andalusien, mit einer thermischen Speicherkapazität für bis zu sieben Stunden Volllastbetrieb bei Nacht.

Für die Region Mittlerer Ost-Nordafrika (MENA) ergibt sich daraus ein ebenso interessantes Szenario: Erstens könnten Solarstromexporte die absehbaren zukünftigen Rückgänge von Öl- und Gasexporten wenigstens zum Teil kompensieren, und zweitens eröffnen solare Dampfkraftwerke die Option der Kraft-Wärme-Kopplung zur Kälteerzeugung und Meerwasserentsalzung, beides Produkte, die neben Strom eine zunehmende Bedeutung in der Region gewinnen. Eine nachhaltige Quelle für Energie und Wasser könnte auch eine Schlüsselrolle bei einer friedlichen Lösung der zahlreichen Konflikte der Region einnehmen, ist doch der Streit um Energie und Wasser oft die Ursache der Auseinandersetzungen.

Und auch die Umwelt würde von solch einem Szenario profitieren: Die Kohlendioxidemissionen würden anstatt bis zum Jahr 2050 auf knapp 4.000 Millionen Tonnen pro Jahr anzusteigen, im Stromsektor der Region EUMENA bis 2030 trotz des starken Wachstums des Stromverbrauchs

auf einem konstanten Niveau von etwa 2.000 Millionen Tonnen pro Jahr gehalten und dann bis 2050 auf etwa 700 Millionen Tonnen pro Jahr reduziert. Damit sinkt der Ausstoß pro Einwohner auf etwa 0,6 Tonnen pro Kopf und Jahr, eine Zahl, die mit den allgemeinen langfristigen Klimaschutzzielen vereinbar wäre.

Der gesamte Flächenverbrauch des erforderlichen erneuerbaren Kraftwerkparks im Jahr 2050 entspräche etwa einem Prozent der verfügbaren Landfläche, das wäre etwa soviel wie der Transportsektor mit seinen Straßen und Plätzen heute in Europa einnimmt.

Autor:

Dr. Franz Trieb befasst sich im Institut für Technische Thermodynamik des DLR in Stuttgart mit Systemanalyse und Technikbewertung.