

Autor: Max Blatter. Veröffentlichungsrechte: Max Blatter c/o Energie-Atlas GmbH. Digitale Registrierung (DOI): 10.2434/2005-0
Der Artikel ist in der Zeitschrift "Bulletin SEV/VSE", Heft 4-2005, veröffentlicht worden. In gekürzter Form ist er ausserdem in
"tec21" Nr. 5-2005 erschienen sowie auf französisch in „tracés“ Nr. 11-2005.

Brauchen wir neue Instrumente zur Planung der künftigen Energieversorgung?

Energieversorgungsmatrix und Energiegeografie

Seit einigen Jahren werden in der Schweizerischen Energiepolitik wieder vermehrt kontroverse Diskussionen geführt. Die Umsetzung des Klimaschutzes und – etwas leiser – die Kernenergienutzung sind nach wie vor Streitpunkte. Sicher ist: Mit der aufkommenden Vielfalt erneuerbarer Energien wird die Energieversorgung komplexer. Für politische Diskussionen und unternehmerische Zielsetzungen braucht es überblickbar aufbereitete, objektive Grundlagen. – Zwei Werkzeuge werden hier präsentiert, die zur Schaffung solcher Grundlagen geeignet erscheinen. Insbesondere das Betreiben einer eigentlichen Energiegeografie trägt nach Meinung des Verfassers wesentlich dazu bei, die verschiedenen energietechnologischen und energiepolitischen Anstrengungen systematisch einzuordnen und in ihrer Bedeutung und Priorität fundiert einzuschätzen. Wenn dadurch kostspielige Umwege oder gar Fehlinvestitionen vermieden werden können, zahlt sich die Etablierung der vorgeschlagenen Instrumente längstens aus.

1. Teil: Einführung der Energieversorgungsmatrix

Energieversorgung als Produkt von Energiegewinnung und Energieverteilung

Die Unternehmen, die unter dem Begriff „Energieversorger“ zusammengefasst werden, sind eigentlich auf zwei ganz verschiedenen Gebieten tätig. Das eine ist die Energiegewinnung: Betrieb von Kraftwerken, Förderung von Erdöl- und Erdgasprodukten oder Uran, Herstellung von Holzpellets – um die breite Palette mit einigen Beispielen zu umreissen. Das zweite ist die Energieverteilung: Die Weiterleitung der Energie respektive der Transport der Energieträger an den Ort ihrer Nutzung.

Gelegentlich werden diese zwei Stufen mehrfach kaskadenartig hintereinander geschaltet: Förderung von Uran = Primärenergie-Gewinnung, Transport zum Kraftwerk = Primärenergie-Verteilung, Betrieb des Kraftwerks = Endenergie-Gewinnung, Weiterleitung der Elektrizität = Endenergie-Verteilung. Das Grundprinzip wird dadurch nicht tangiert.

Erneuerbare Energie ermöglicht mehr Verknüpfungspunkte

Die Energieversorgung als Ganzes besteht darin, die verfügbaren Energieressourcen in handelbare Energieträger umzuwandeln. Man kann das auch sehen als Verknüpfungspunkte zwischen der Energiegewinnung einerseits und der Energieverteilung andererseits. – Die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energie hat unter anderem nun zur Folge, dass eine grosse Vielfalt solcher Verknüpfungsmöglichkeiten entsteht. Es drängt sich der Übersicht halber auf, diese in Matrixform darzustellen. Dabei werden die Energieressourcen (Energiegewinnung) in Zeilen angeordnet, die Energieträger (Energieverteilung) in Spalten. Die möglichen Verknüpfungen (Energieumwandlungs-Prozesse) stehen dann an den Schnittpunkten. Es entsteht so eine *Energieversorgungsmatrix*, wie sie in Tabelle 1 ausgeführt ist.

Welche Verknüpfungen sind möglich?

Man erkennt in Tabelle 1 gut, dass nicht aus jeder Energieressource jeder Energieträger gewonnen werden kann. Es gibt aber sowohl bei den Energieressourcen wie bei den Energieträgern „Allrounder“, die besonders viele Verknüpfungsmöglichkeiten bieten. – Seitens der Energieressourcen ist beispielsweise die Biomasse zu nennen: Aus ihr lassen sich feste, flüssige und gasförmige Brenn- und Treibstoffe gewinnen, man kann Biomasse-Kraftwerke betreiben, Biomassefeuerungen können Energie in Fernwärmenetze einspeisen, und Biomasse kann auch dezentral am Ort ihrer Gewinnung genutzt werden. – Seitens der

Energieverteilung sind es die Elektrizitätsnetze, die aus praktisch allen Energieressourcen sinnvoll gespeist werden können.

**Tabelle 1 Energieversorgungsmatrix
als Verbindung zwischen Energiegewinnung und Energieverteilung**

		Energieverteilung (Energieträger)					
		Feste Energieträger	Flüssige Energieträger	Gasnetze	Elektrizitätsnetze	Fernwärmenetze	Direkte Nutzung vor Ort
Energiegewinnung (Energieressourcen)	Sonne		Solare Synthese flüssiger Energieträger?	Solar erzeugter Wasserstoff	Photovoltaik Solarthermische Kraftwerke	Einspeisung aus Sonnenkollektoren	Solararchitektur Sonnenkollektoren Solar betriebene Kleingeräte
	Wind				Windturbinen		
	Meer (Wellen, Gezeiten, Strömungen)				Wellen-, Gezeiten- und Strömungskraftwerke	Nutzung mit Wärmepumpen	
	Wasserkraft				Fluss- und Speicherkraftwerke		
	Biomasse inkl. biogene Abfälle	Pellets und andere Festbrennstoffe	Biodiesel, Äthanol	Biogas	Biomassekraftwerke	Biomasseheizwerke kombinierbar (Wärme-Kraft-Kopplung)	Eigenbedarf von land- und forstwirtschaftlichen Betrieben, Nahrungsmittel-, Holzindustrie u.ä.
	Geothermie				Geothermische Kraftwerke	Geothermische Heizwerke kombinierbar (Wärme-Kraft-Kopplung)	Erdsonden
	„Nicht erneuerbare“ Ressourcen	Uran, Kohle	Erdölprodukte	Erdgas	Kern-, Kohle-, Erdöl-, Erdgaskraftwerke	Kern-, Kohle-, Erdöl-, Erdgasheizwerke kombinierbar (Wärme-Kraft-Kopplung)	

Forschungsaktivitäten in die Matrix einordnen

Weder bei den Energieressourcen noch bei den Energieträgern lässt sich aus der Matrix – zum Beispiel über die Anzahl der Verknüpfungsmöglichkeiten – irgend eine Rangfolge ableiten. Es wird in der Energieversorgung künftig wichtig sein, die ganze verfügbare Palette auszuschöpfen; dies an den jeweils geeigneten Orten (was zum Gesichtspunkt der Energiegeografie überleitet, der anschliessend erörtert wird).

Man wird in jedem Fall gut daran tun, die Energieversorgungsmatrix als Hintergrund energietechnologischer Forschungsaktivitäten im Auge zu behalten. So kann vermieden werden, dass sich die technologischen Anstrengungen auf wenige Verknüpfungspunkte beschränken, während andere (vielleicht sogar bedeutendere) vernachlässigt werden. Auch lassen sich die Forschungsergebnisse auf diese Weise systematisch einordnen und möglicherweise in ihrer Bedeutung besser einschätzen. Dazu wäre auch eine Quantifizierung der (aktuellen und künftig möglichen) Energieumsätze vorzunehmen, die über die einzelnen Verknüpfungspunkte laufen. Dies ist hier noch nicht ausgeführt.

2. Teil: Ansatz zu einer Energiegeografie

Geografie der Energieressourcen

Energieressourcen kommen nicht überall mit gleicher Häufigkeit und Dichte vor. Dies gilt auch für erneuerbare Energie. Tatsächlich sind aus diesem Grund schon etliche Kartierungen vorgenommen worden. So ist die geografische Verteilung der Solarstrahlung weltweit gut bekannt, sei es auf Grund von meteorologischen Messdaten, sei es durch Auswertung von Satellitenbildern. Europäische Kartierungen gibt es ausserdem für die Windenergie und die Geothermie, beide allerdings mit relativ grober Auflösung und im Fall der Windenergie noch recht lückenhaft.

Die Vielfalt der Verknüpfungsmöglichkeiten, wie sie in der Energieversorgungsmatrix zum Ausdruck kommt, verlangt aber nach einer Gesamtschau: Will man die Energieressourcen an den jeweils optimal geeigneten Orten nutzen, so müssen die geografischen Informationen über jede Ressource zu einer synoptischen Darstellung und Interpretation zusammengeführt werden. Man muss eigentliche *Energiegeografie* betreiben.

Situierung der Schweiz im mitteleuropäischen Umfeld

In Tabelle 2 sind zunächst einige Grobtendenzen dargestellt, die zur Einordnung der erneuerbaren Energieressourcen im mitteleuropäischen Kontext dienen.

Tabelle 2 Energiegeografische Grobtendenzen für die erneuerbaren Energieressourcen in Mitteleuropa

	Einfluss der geografischen Breite ¹⁾	Einfluss der geografischen Länge ¹⁾	Einfluss der Höhe über Meer	Variation innerhalb der Schweiz ²⁾
Sonne	Zunahme nach Süden hin (astronomische Sonnenscheindauer).	—	Zunahme in höheren Lagen (Nebelhäufigkeit).	≤ 1,5:1
Wind	Die Schweiz liegt in einem Windminimum zwischen den Maxima der Nordseeküste und des südfranzösischen Mittelmeerraums.	Tendenzielle Abnahme nach Osten hin.	Starke Zunahme in höheren Lagen.	~100:1 Sehr stark von lokalen Gegebenheiten abhängig!
Wasserkraft	—	—	Zunahme in höheren Lagen (Niederschlagshäufigkeit, Lageenergie; die Energie wird teilweise aber erst in den tiefer gelegenen Flüssen genutzt).	~ 10:1
Holzbrennstoffe	—	—	Abnahme in höheren Lagen (klimatische Bedingungen; Waldgrenze).	≈ 5:1
Anbaupotenzial RME-Biodiesel ³⁾	—	—	Abnahme in höheren Lagen (klimatische Eignung für Ackerbau).	≈ 100:1
Potenzial Biogas	—	—	—	≈ 30:1
Geothermie	—	—	Bei oberflächennaher Nutzung: Abnahme in höheren Lagen (Temperatur der Erdoberfläche).	≤ 3:1

¹⁾ „—“ steht für „keine eindeutige Abhängigkeit“

²⁾ ungefähre Variation des Energiepotenzials pro Fläche für die verschiedenen Kantone bzw. Regionen der Schweiz

³⁾ RME = Rapsöl-Methyl-Ester, ein aus Raps gewonnener Diesel-Ersatz. Er steht hier repräsentativ für die flüssigen Bio-Treibstoffe.

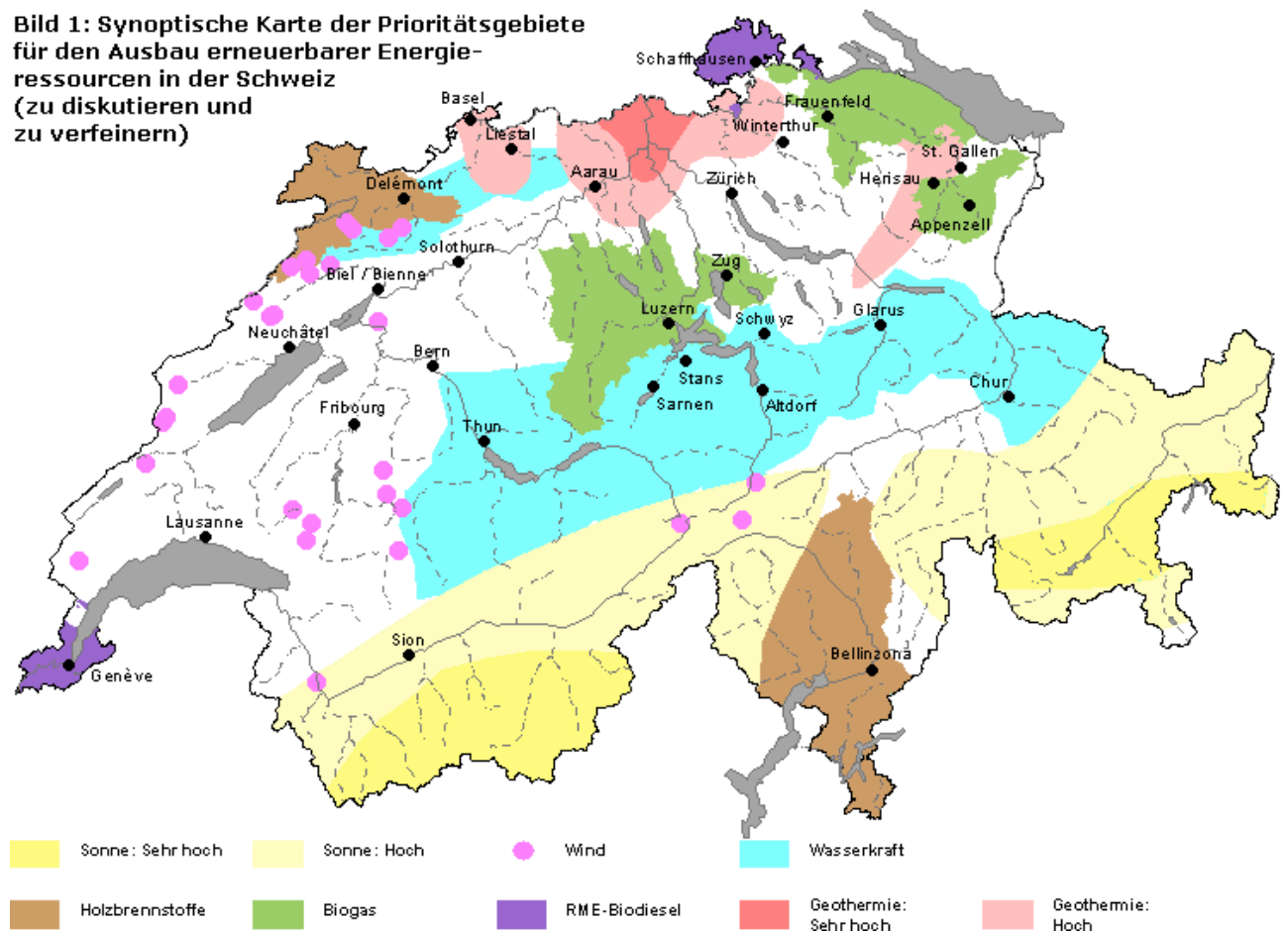
Schon diese grobe Einordnung lässt einige wichtige Schlüsse zu:

- ◆ Solaranlagen bringen in den höheren Lagen der Südschweiz bis gegen 50 % mehr Ertrag als in den Niederungen der Nordschweiz. Als Konsequenz dieser energiegeografischen Tatsache sollte sich beispielsweise der Bau grösserer Photovoltaikanlagen auf die optimalen Gebiete der Südschweiz konzentrieren. (Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen: Sonnenkollektoren sind dem gegenüber auch auf nordschweizerischen Häusern sinnvoll. Sie dienen der direkten Energienutzung vor Ort, bei der ein Vergleich mit den Verhältnissen andernorts nicht aussagekräftig ist.)
- ◆ Bezüglich Wind liegt die Schweiz energiegeografisch ungünstig. Wettgemacht wird dieses Handicap nur an besonders windexponierten, in der Regel hoch gelegenen Stellen. (Die Aussage muss durch die Entwicklung so genannter Leichtwind-Anlagen etwas relativiert werden. Diese kleinen Anlagen nutzen auch schwächere Winde. Sie könnten sich durchsetzen, wenn ihr Preis-Leistungs-Verhältnis günstiger würde als dasjenige grosser Windturbinen. Andernfalls werden sie ein Nischenprodukt bleiben.)

Ansatz zu einer schweizerischen Energiegeografie

In Bild 1 wird versucht, die geografische Verteilung der verschiedenen erneuerbaren Energieressourcen innerhalb der Schweiz etwas detaillierter darzustellen.

Bild 1: Synoptische Karte der Prioritätsgebiete für den Ausbau erneuerbarer Energieressourcen in der Schweiz (zu diskutieren und zu verfeinern)



Die synoptische Karte beruht auf den heute verfügbaren Daten, wie sie in Tabelle 3 genannt sind. Diese sind nicht bei jeder Art von Energieressource gleich detailliert. Auch ist die Methodik zum Teil gänzlich unterschiedlich. Die Darstellung wie auch die Datengrundlage bedarf also der Diskussion, und sie muss dem Bedarf entsprechend verfeinert und laufend aktualisiert werden.

Trotz den Vorbehalten gibt die Karte einen Eindruck, wie die Prioritäten beim Ausbau erneuerbarer Energieressourcen sinnvollerweise gesetzt werden können. Es sei erlaubt, für jede Energieressource eine subjektiv und schlagwortartig formulierte Interpretation zu geben. Diese soll vor allem auch Anregung für eigene Schlüsse sein.

- *„Erholung und Energie mit der Sonne“*
Die sonnenreichsten Gebiete, Walliser Alpen und Oberengadin, sind gleichzeitig wichtige Tourismusregionen. Weshalb nicht Tourismus und Sonnenenergie verknüpfen, indem beispielsweise Photovoltaikanlagen einen Teil des Energieverbrauchs von Bergbahnen, Skiliften und dergleichen decken? Sankt Moritz hat bereits eine Vorreiterrolle übernommen.
- *„Der Windfang der Schweiz“*
Wie erwähnt ist die Schweiz kein optimales Windenergieland. Akzeptable Windverhältnisse trifft man grossräumig vor allem auf den Höhenzügen des Faltenjuras an. Der landschaftsarchitektonisch gelungene Klein-Windpark auf dem Mont Crosin scheint auch als Sehenswürdigkeit geschätzt zu werden.
- *„Das Wasserschloss Europas“*
Weit blickender Ingenieurkunst hat die Schweiz die traditionelle Wasserkraftnutzung zu verdanken. Die Erhaltung und Erneuerung der bestehenden Anlagen hat Priorität. Ausbaumöglichkeiten, vorab mit Klein-Wasserkraftwerken, können am Jura-Nordfuss und in den Voralpen noch geprüft werden. (Die Frage der Speicherkapazitäten im Kontext des europäischen Verbundnetzes ist separat zu betrachten.)
- *„Pellets aus Schweizer Wäldern“*
Heizen mit modernen Holzbrennstoffen wie Pellets hat Zukunft. Ob in den walddreichsten Kantonen Jura und Tessin die Pelletsherstellung zu einem wichtigen Wirtschaftsfaktor wird?
- *„Vom Acker in den Tank“*
Genf und Schaffhausen sind die Kantone mit dem grössten Flächenanteil offenen Ackerlandes. Sie sind somit Kandidaten für die Herstellung von Biodiesel aus Rapsöl. Im Kanton Genf gibt es bereits eine Produktionsanlage.
- *„Speck und Biogas“*
Luzern, Zug, die beiden Appenzell sowie der Thurgau haben dank der intensiven Nutztierhaltung das grösste Produktionspotenzial für Biogas (im Verhältnis zur Kantonsfläche). Unter dem Namen „Swiss Farmer Power“ besteht ein preisgekröntes Nutzungskonzept für den Kanton Luzern (prix pegasus 2004).
- *„Energie aus der Tiefe“*
Zonen mit besonders hohem geothermischem Wärmefluss gibt es vom Bodensee bis zur Linthebene, grossräumig um die Aaremündung sowie am oberrheinischen Graben. Das geplante Geothermiekraftwerk Basel wird also an einem energiegeografisch sinnvollen Ort stehen.

Verknüpfung mit Humangeografie und Klimatologie

Die energiegeografischen Ausführungen betreffen bis hierher die Seite der Energiegewinnung. Bezieht man die Seite der Energieverteilung mit ein, so kommt man zum Fragenkreis: Nach welchem Energieträger besteht wo, wann und wofür Nachfrage? Es ergibt sich so eine Verknüpfung zur Humangeografie (Siedlungsdichten, Wirtschaftstätigkeit, raumplanerische Aspekte und anderes mehr), die hier nicht ausgeführt ist.

Des Weiteren ist die geografische Verteilung der erneuerbaren Energieressourcen nicht statisch. Fast alle sind von klimatischen Faktoren abhängig. Die Klimaänderung kann dazu führen, dass diese Faktoren sich mit einer nicht mehr vernachlässigbaren Geschwindigkeit verschieben. Eine Verknüpfung mit der Klimatologie ist angesagt (die übrigens auch wiederum auf die humangeografischen Grössen einen Einfluss hat).

Es besteht hier noch ein grosses Forschungsfeld, das es in interdisziplinärer (und internationaler) Zusammenarbeit zu beackern gilt.

Tabelle 3 Datengrundlagen zu Bild 1

	Für die synoptische Karte ausgewertete Grösse	Datenquelle	Datenaufbereitung durch Energie-Atlas GmbH
Sonne	Jahressumme der eingestrahnten Sonnenenergie (Globalstrahlung)	Meteonorm V. 5.0 (Fa. Meteotest, Bern)	(Kartografische Generalisierung)
Wind	„Prioritäre“ und „kantonale“ Standorte, wie sie in der genannten Datenquelle aufgeführt sind ¹⁾	Konzept Windenergie Schweiz (August 2004, Bundesämter BFE, BUWAL, ARE)	(Unveränderte Datenübernahme)
Wasserkraft	Prüfungswerte Ausbaugelände	Hydrologischer Atlas der Schweiz (Geografisches Institut der Universität Bern) Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz	Rechnerische Ermittlung des theoretischen Energiepotenzials auf der Basis der Bilanzgebiete des hydrologischen Atlases. Interpretation des Verhältnisses der aktuellen Nutzung zum theoretischen Potenzial für zusammengefasste Gebiete.
Holzbrennstoffe	Anteil Wald an der jeweiligen Kantonsfläche	Land- und Forstwirtschaftsstatistik (Bundesamt für Statistik)	(Kartografische Darstellung)
RME-Biodiesel	Anteil offenes Ackerland an der jeweiligen Kantonsfläche	Land- und Forstwirtschaftsstatistik (Stand 2002) (Bundesamt für Statistik)	(Kartografische Darstellung)
Biogas	Theoretisches Produktionspotenzial pro Fläche der jeweiligen Kantone	Land- und Forstwirtschaftsstatistik (Stand 2002) (Bundesamt für Statistik)	Rechnerische Ableitung des Produktionspotenzials aus Anzahl und Art der gehaltenen Nutztiere
Geothermie	Geothermischer Wärmefluss	Medici / Rybach: „Geothermische Karte der Schweiz“, 1995	(Leicht vereinfachte kartografische Umzeichnung)

¹⁾ Die Methodik zur Auswahl der möglichen Windenergie-Standorte enthält leider bereits eine politische Komponente (relativ willkürlicher Einbezug des Interessenkonfliktes „Windenergie versus Landschaftsschutz“ ins Berechnungsmodell). Die Daten sind in diesem Sinne nicht objektiv.

Schlusswort

Energiegeografie will Fakten präsentieren, nicht politische Meinungen oder Kompromisse. Sie soll als solide objektive Grundlage dienen für politische Diskussionen wie auch für unternehmerische Überlegungen.

Ein Weltkonzern aus dem Bereich der Energieversorgung warb einst mit den Worten: „Es gibt viel zu tun. Packen wir's an.“ – Dem ist nichts beizufügen.

Autor:

Max Blatter, dipl. Elektro-Ing. ETH und Energie-Ing. NDS FH,
geschäftsführender Gesellschafter der Energie-Atlas GmbH, Münchenstein