

# Nutzung der erneuerbaren Energien

F. K. Reinhart, Lausanne

Eine neue Zeitschrift „Nouvelle énergie pour la Suisse“, deren No. 1 Ende Oktober 2010 als Anhang der Sonntagsausgabe des „Le Matin“ publiziert wurde und von namhaften Politikern aus Basel-Stadt mitgetragen wird, zitiert auf der Titelseite „Le soleil est notre plus grande centrale électrique“ und „100% renouvelable – une solution suisse“. Eine auf Deutsch gedruckte Ausgabe wurde auch bei deutschsprachigen Tageszeitungen angefügt. Unter wissenschaftlicher Mitarbeit wird re-solution.ch zitiert, hinter der Alt-Nationalrat Rudolf Rechsteiner steckt. (Ganz oberflächlich betrachtet stimmt es, dass die Sonne mehr als genug Energie liefert. In nur 1 ½ Sekunden empfangen wir über die ganze Erde verteilt die gesamte in der Schweiz pro Jahr produzierte elektrische Energie etwa 66 000 GWh.) Es wird vorgeschlagen, dass unsere Energieprobleme lösbar seien mit einer neuen Strategie basierend auf Hydroelektrizität und Windanlagen in den Alpen, Jura und „off shore“ ergänzt durch Solaranlagen auf den Dächern unserer Häuser und der Energiegewinnung aus Holz und Abfall. Es wird behauptet, dass uns die Kernkraftwerke vom Ausland abhängig machen, dass sie gefährlich seien und erst noch Abfall produzieren, der Jahrtausende radioaktiv bleibt. Ueber neuartige Energieverwertung der Erdwärme oder Kohle erfahren wir nichts, offensichtlich weil in der Schweiz diese Quellen zurzeit keine grosse Bedeutung haben. Der geneigte Leser merkt aber gleich, dass es in der Schweiz keine „off shore“ Anlagen geben kann. Er wird daher feststellen, dass solche Anlagen, auch wenn sie von Schweizerfirmen geplant, gebaut, finanziert und betrieben würden, eine 100% Abhängigkeit vom Ausland bedeuten, da es zusätzliche Uebertragungsleitungen<sup>1,2</sup> braucht, die weder vorhanden sind noch der schweizerischen Jurisdiktion unterliegen. Die Vernetzung der elektischen Energieerzeugung mit den Verbrauchern ist ein höchst sensibles System, das der existierenden Infrastuktur (im weitesten Sinne) Rechnung tragen muss. Das Energieproblem hat einen systemischen Charakter und kann nur unter Einbezug aller politischen, juristischen und technischen Gesichtspunkte gelöst werden. Damit ist es klar, dass die Vorschläge der Basler Politiker zu kurz greifen und näher untersucht werden müssen. Im Folgenden wollen wir nur die technischen Probleme beleuchten, die mit der Umweltverträglichkeit direkt im Zusammenhang stehen. Dazu ein paar wenige geschichtliche Bemerkungen.

Das praktische Fehlen der thermischen Elektrizitätserzeugung ist eine direkte Konsequenz der schweizerischen Energiepolitik seit dem 1. Weltkrieg und während und unmittelbar nach dem 2. Weltkrieg. Damit unsere Wirtschaft und Bahnen unabhängig von der Kohleeinfuhr (also unabhängig vom Ausland) funktionieren können, war es klar unsere Wasserkraft als primären Energieträger zu postulieren und auszubauen. Elektrische Heizungen, elektrische oder mit Holzvergasern ausgerüstete Autos wurden eingesetzt<sup>3</sup>. Die Elektro- und Maschinenindustrie konnte dank dieser intelligenten Politik einen enormen Innovationsschub realisieren. In den 50er Jahren war die Elektrifizierung unserer Bahnen praktisch abgeschlossen, und wir konnten über ein weltweit einzigartiges, fortschrittliches, elektrisches Versorgungssystem verfügen. Doch man merkte gleich, dass es so nicht weitergehen kann. Gigantische Projekte, wie die Silserseen, das

Urserental oder die ganze Göscheneralp in riesige Stauseen zu verwandeln, wurden in den 50er Jahren verworfen, das letztere aber redimensioniert. Der Landschaftsschutz wurde also aktiviert, lange bevor man über Umweltschutz sprach. Auch gigantische Flusskraftwerke, wie Rheinau, wo das ehrwürdige Kloster im Wasser hätte versenkt werden sollte, wurden redimensioniert. Es war nicht die Atomkraft, die den Ausbau der Wasserkraft stoppte, sondern die Realisation, dass im Tourismusland Schweiz der Landschaftsschutz und damit auch die Erhaltung von Kulturgütern von enormer Wichtigkeit ist<sup>3</sup>. Die Kernrafteuphorie der 60 und 70er Jahre hat wesentlich dazu beigetragen unsere Landschaften zu erhalten. Leider wurden anfänglich die Entsorgungsprobleme nicht als prioritär betrachtet, weil die Abfallmengen noch gering waren. Ein Sicherheitsproblem unserer industriellen Kernkraftanlagen im Sinne von Tschernobil oder Three Mile Island gibt es und gab es hierzulande nie. Dies hat auch mit der Ausbildung der Verantwortlichen zu tun. Es darf nicht vergessen werden, dass die Förderung von Steinkohle und der Betrieb eines einzigen ausländischen Kohlekraftwerks<sup>4</sup> etwa 100 mal mehr unkontrollierte Radioaktivität freisetzt als alle unsere Kernkraftwerke zusammen. Ueberdies verursacht der Abbau von Kohle einen Verlust von Menschenleben, der denjenigen im Zusammenhang der industriellen Kernenergienutzung bei weitem übersteigt. In diesem Sinne ist die Kernenergie sogar trotz der Fukushima Katastrophe immer noch weniger risikoreich als der Energieträger Kohle, der zusätzlich noch die ganze CO<sub>2</sub> Problematik beinhaltet.

Die Förderung der Elektrizitätswirtschaft hat uns erlaubt ein stabiles, zuverlässiges und eng vernetztes Netzwerk zwischen Erzeuger und Verbraucher aufzubauen und zu unterhalten. In den vergangenen Dezenien wurde auch die Integration des schweizerischen Netzes mit dem europäischen erfolgreich vorangetrieben. Diese Integration ist von grossem Vorteil, wenn alle Beteiligten das Stabilitätsziel hochhalten. Es muss hier unterstrichen werden, dass die Stabilität des Netzes einen äusserst wichtigen Standortvorteil für Produktion, Innovation und Komfort bedeutet. Dieser Aspekt wurde nie besonders hervorgehoben, weil er für uns selbstverständlich ist. Wenn die Netzstabilität nicht gewährleistet ist, arbeiten unsere Maschinen, Radio, Fernseher, Computer und Apparate nicht zuverlässig. Damit wird die Attraktivität unseres Industriestandorts gefährdet.

Ein Netz kann als stabil betrachtet werden, wenn die Spannungsvariation im unteren Prozentbereich bleiben und die Frequenzschwankungen kleiner sind als ein tausentstel der Netzfrequenz von 50 Hz. Dies bedeutet aber insbesondere, dass unser Netz sauber sein muss, d.h. möglichst wenig transiente Spannungs- und Stromkomponenten, und keine Oberwellen also keine Frequenzanteile von 100, 150, 200, 250 Hz usf.<sup>5</sup>. Ueberdies muss der Blindstromanteil<sup>6</sup> insgesamt niedrig gehalten werden damit das Netz keine lokalen Ueberspannungen erleidet. Dies ist insbesondere wichtig für Netzlängen über einigen hundert Kilometern. Wir werden unten aufzeigen, dass ein von Wind- und Sonnenenergie dominiertes Netz diese Kriterien nur mit grossen Schwierigkeiten erfüllen kann. Abhilfe gibt es, wie z.B. die Gleichstromverbindung von Erzeuger zu Verbraucher. Leider sind sie nicht vorhanden, sie müssen also zuerst geplant, bewilligt und gebaut werden, was einen Zeitrahmen von mindestens 15 Jahren und ungeheure Investitionen erfordert<sup>1</sup>.

Damit das Netz stabil gehalten werden kann, braucht es zusätzlich noch ein intelligentes Netzmanagement, das „Smart Grid“<sup>7</sup>, welches erst im Entstehen begriffen ist.

## Zusammenstellung der erneuerbaren Energien

Untenstehend haben wir die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen zusammengestellt. Wenn wir von einer Systembetrachtung ausgehen, sollten wir eigentlich in diesem Zusammenhange thermische Energie zum Heizen von Häusern einbeziehen, obwohl wir hier vornehmlich elektrische Energieerzeugung diskutieren wollen. Im Gegensatz zur gängigen Meinung ist auch die klassische Kernenergie erneuerbar<sup>8</sup> und liefert im Verbundbetrieb einen beachtlichen Anteil der Wärme zum Heizen von Häusern und zur privaten und industriellen Warmwasserbereitung. Konventionelle Schätzungen zeigen überdies, dass jeden Tag mindestens 10 kg spaltbares Material die Schweiz per Rhein, Rhone, Tessin, und Inn ungenutzt verlässt. Damit soll nur gezeigt werden, dass allen erneuerbaren Energien die relativ geringe Energiedichte gemeinsam ist. Die technische Schwierigkeit der praktischen Nutzung liegt in der unumgänglichen Erhöhung der Energiedichte. Einer der Hauptgründe der geglückten Nutzung der Wasserkraft liegt in der relativ hohen Dichte des Wassers, welche beinahe tausendmal grösser ist als diejenige der Luft. Weil alte Wasserkraft bereits einen sehr hohen Wirkungsgrad von über 80% aufweist, wird ein Ersatz durch neue Anlagen den Energiegewinn nicht dramatisch erhöhen wohl aber die Steuerfähigkeit und Wartung. Wichtige prozentuale Verbesserungen sind jedoch bei hydrologischen Kleinkraftwerken erreicht worden. Viele neue Kleinkraftwerke werden unsere Gesamtenergieproduktion nur wenig erhöhen. Die erneuerbaren Energien sind:

Hydroelektrizität (Speicherwerke, Laufkraftwerke, Kleinkraftwerke)

Wind

Solar (thermisch, Solarzellen)

Geothermie (thermisch, thermische Kraftwerke)

zusätzlich Holz, Biogas, Abfallverwertung

Electrosuisse gibt folgende Zahlen der elektrischen Energieerzeugung für 2009<sup>9</sup>:

	GWh
Laufkraft	16110
Speicherwerke	21026
Kernkraft	26119
Konv. thermisch	<u>3239</u>
Total	66494

Pumpspeicherverbrauch 2523

Das Potential der Geothermie<sup>10</sup> ist auch in der Schweiz sehr hoch und eignet sich bestens zur Heizung von Häusern und zur industriellen Wärmenutzung. Elektrische Nutzung sollte aber besser gefördert werden. Zusammen mit der Holzwirtschaft, Biogas und

Abfallverwertung kann Erdwärme einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von fossilen Brennstoffen leisten. Dies liegt aber ausserhalb unserer Betrachtungen über erneuerbare Energien und wird daher hier nicht weiter verfolgt.

## Windkraft

Für den Ersatz der schweizerischen Kernkraftwerke mit einer installierten Leistung von ungefähr 3.5 GW braucht es nominal nur 700 moderne Windturbinen bei einer konstanten Nennleistung von 5 MW. Die Turbinenleistung sollte aber den vorherrschenden Windverhältnissen und den möglichen Masthöhen angepasst werden. Bei geringerer Turbinenleistung wird eine umgekehrt proportionale Zahl zur Leistung benötigt. Wenn auch diese Zahl nicht sehr gross ist, dürfte das Aufstellen der Turbinen dennoch ein Landschaftsschutzproblem darstellen. Im Kanton Neuenburg hat sich bereits ein organisierter Widerstand gegen lokale Projekte formiert. Das Hauptproblem liegt aber in der starken Energieabhängigkeit des Windenergieflusses:

Windgeschwindigkeit	Windenergiefluss
km/h	W/m <sup>2</sup>
9	9
18	75
36	600
72	4800

Ein kleiner Orkan von 72 km/h hat einen Energiefluss, der über 500-mal grösser ist als der einer Brise von 9 km/h. Im Klartext heisst das: Konstanten Strom gibt es nur, wenn der Wind gleichmässig bläst, was in unseren Gegenden im Allgemeinen nicht zutrifft. Damit haben wir ein erstes, noch völlig ungelöstes Problem, wie diese Dynamik des Windenergieflusses zu verkraften ist. Denn Windgeschwindigkeiten können sich innert weniger Sekunden sehr stark verändern. Ueber den Meeren gibt es wenigstens zeitweise konstantere Verhältnisse. Das Binnenland Schweiz ist weit weg von den Küsten. Daher benötigen wir neue Uebertragungssysteme <sup>1</sup>, die frühestens in 15 Jahren bereit sein werden, also ein zweites Problem, welches nur im internationalen Rechtsraum gelöst werden kann. Da wir ein stabiles Netz voraussetzen, gilt ein unumstössliches physikalisches Gesetz: **die Grösse der Energieproduktion muss zu jedem Zeitpunkt mit der Grösse des Energieverbrauchs übereinstimmen**, welches uns zum dritten und Hauptproblem führt. Ueberschüssige Energie muss gespeichert werden, damit bei einer Flaute die gespeicherte Energie sofort ans Netz abgegeben werden kann. Dieses Problem kann gemildert werden, wenn wir Zugang zu vielen Windparks in verschiedenen Meereszonen hätten, wo gemäss Wahrscheinlichkeit andere Wetterbedingungen herrschen, und somit eine gewisse Mittelung der Produktion möglich wäre. Die benötigte Speicherkapazität kann nur auf Grund genauer statistischer Untersuchung der Windverhältnisse der Produktionsstandorte ermittelt werden. Im Falle weniger Standorte ist sie mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet. Daher wird es wesentlich mehr Windproduktionskapazität brauchen als es der durchschnittliche Energiebedarf verlangt. Ein von Windenergie dominiertes, stabiles Netz aufzubauen erfordert also Kenntnisse die

zuerst über viele Jahre erarbeitet werden müssen. Gute Wettervorhersagen sind nützlich aber nicht hinreichend. Der Ersatz von Kern- und Kohlekraft durch Windenergie kann deshalb nur schrittweise bewerkstelligt werden trotz der ausgereiften Technik der Windmaschinen. Die Tabelle der elektrischen Energieerzeugung zeigt überdies, dass die jetzige Speicherkapazität unserer Stauseen bei weitem nicht ausreichen kann, da sie für den Ausgleich der Variationen unserer Laufkraftwerke ausgelegt ist. Leider können unsere Stauseen nicht wesentlich ausgebaut werden, wenn wir den Landschaftsschutz weiterhin hochhalten wollen<sup>11</sup>. Inwiefern andere Speichermöglichkeiten genutzt werden können ist eine offene Frage, da es gegenwärtig nur Ansätze, aber keine wirklich brauchbaren Alternativen zur Speicherung grosser Energiemengen gibt.

Die äusserst starke Variabilität der Windenergie zwingt uns, die elektrische Energie in Form von Gleichstrom zu erzeugen. Wie bereits angedeutet, brauchen wir ein neues Gleichstromübertragungssystem zum Transport der Energie der weitentfernten Produktionsstandorte, damit die Uebertragungsverluste vermindert werden können. Die Versorgung des 50 Hz Netzes kann erst erfolgen, wenn der Gleichstrom zu 50 Hz in Wechselstrom umgeformt ist. Die Umformung der elektrischen Energie wird heute am kostengünstigsten durch moderne elektronische Schaltkomponenten bewerkstelligt. Dadurch werden aber schädliche Oberwellen erzeugt, die minimisiert werden müssen, damit das 50 Hz Netz stabil bleibt<sup>12</sup>. Der stochastische Windenergieanfall verlangt auch ein häufiges Ein- und Ausschalten. Als Folge treten ungewünschte transiente Spannungs- und Stromschwankungen im Netz auf. Es darf auch nicht vergessen werden, dass bei starken Stürmen die Windgeneratoren wegen Ueberlastungsgefahr abgestellt werden müssen.

Daraus ersieht man deutlich, dass die Thesen der Basler Poliker betreffend Windenergie wegen der physikalischen Gesetzmässigkeiten völlig unhaltbar sind. Die Abhängigkeit vom Ausland kann damit nicht reduziert werden, auch wenn wir nur lokal produzierte Windenergie hätten. Nur ein intelligentes, europäisch vernetztes System, das über genügend Speicherkapazität und/oder rasch abrufbare Warteleistung verfügt, könnte eine zuverlässige Versorgung garantieren. Ein solches Netzsystem erfordert enorme Investitionen und bleibt Zukunftsmusik für die nächste Generation. Wenn wir die auslaufenden Energielieferungsverträge mit Frankreich und die energiepolitisch brisante Situation Deutschlands betrachten, wird es äusserst schwierig sein mittels Windenergie eine stabile elektrische Energieversorgung zu gewährleisten. Die jetzige deutsche Regierung und eine ansehnliche Zahl von Politikern im deutschen Bundestag haben das Stabilitätsproblem eines von Windenergie dominierten Netzes erkannt<sup>13</sup>.

## **Elektrische Sonnenergie**

Wie gezeigt, liefert uns die Sonne im Grunde mehr Energie als wir brauchen können, und dennoch bereitet der direkte Gebrauch der Sonnenenergie Schwierigkeiten. In unsern Breitengraden beträgt die maximale Einstrahlung höchstens  $900 \text{ W} / \text{m}^2$ . Die mittlere Sonnenscheindauer in der Schweiz dürfte kaum über 1700 h pro Jahr betragen. Wir nehmen an, dass auf allen Häusern, Industriegebäuden und entlang der Autobahnen etwa

100 Millionen m<sup>2</sup> (etwa eine 2.7-mal grössere Fläche als das Gebiet des Kantons Basel-Stadt umfasst) Solarzellen installiert werden können. Moderne, potentiell billige Dünnschichtzellen besitzen einen maximalen Wirkungsgrad von ca. 17 %<sup>14</sup>. Mit diesem enormen Aufwand lassen sich im besten Falle etwa 26'000 GWh pro Jahr erzeugen, was etwa unserer Kernenergieproduktion entspricht. Ein grosser Teil davon muss gespeichert werden, weil das mittlere Sonnenjahr beinahe 8'800 Stunden umfasst. Daher benötigen wir eine Speicherkapazität in der Grösse von 26'000(Produktion) x [7'100 h (kein Sonnenschein) / 8'800 h (Stunden im Jahr)] ≈ 21'000 GWh also ungefähr die jetzige verfügbare Speicherkapazität unserer Stauseen, die aber für den Ausgleich der Laufkraftwerke dimensioniert ist. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass soviel verfügbare Sonnenenergie kreiert werden kann bis zum Ablauf der Betriebsdauer unserer Kernkraftwerke. Die zeitlichen Variationen der Sonneneinstrahlung im Verlaufe des Tages und solche bedingt durch Wetterabläufe bedrohen ebenfalls die Stabilität des Netzes, wenn auch nicht in gleicher Masse wie die Windenergie. Leider ist die Solarzelleneffizienz abhängig von der Einstrahlungsdichte. Diese Tatsache ist verantwortlich dafür, dass die Energieausbeute mit abnehmender Einstrahlungsdichte noch geringer wird. Wegen des Hochnebels im Winter fällt daher diese elektrische Energieproduktion während Tagen zeitweise über Wochen auf unbedeutende Werte ab, da sich der grösste Teil der Solarzellen im Mittelland befinden würde. Diese Wetterlagen fallen im allgemeinen zusammen mit der verringerten Energieproduktion der Laufkraftwerke. Deshalb muss die Solarenergieproduktion ebenfalls durch zusätzliche Energiequellen ergänzt werden, damit diese Defizite bewältigt werden können. Ein weiteres akutes Problem besteht darin, dass die Solarenergie in Form von Gleichstrom anfällt, der mit Umwandlern auf 50 Hz transformiert werden muss. Dadurch entstehen störende Oberwellen, die äusserst gefährlich werden können. Die Unterdrückung dieser Störfrequenzen ist mit zusätzlichem Aufwand möglich. Dies verhindert aber die lokale Einspeisungsmöglichkeit der kleinen Solarproduzenten (< 10 kW), wie sie zurzeit propagiert wird mit dem Stichwort Einspeisevergütung. (Im jetzigen Zeitpunkt spielt das noch keine Rolle, weil die gegenwärtige Solarproduktion sehr klein ist.)

Einfuhr von Solarenergie aus Spanien oder gar der Sahara ist und bleibt gegenwärtig reine Zukunftsmusik aus Gründen, die wir bereits unter Windkraft diskutiert haben. Das Tandem der elektrischen Solar- und Windenergie geht primär auf Grund unserer limitierten Speicherkapazität zu Grunde. Diese im Ausland zu suchen, würde nur unsere Auslandsabhängigkeit erhöhen. Zudem würde die Schweiz die jetzige Stellung als Drehscheibe der elektrischen Energie verlieren. Dies ist aber genau das Gegenteil was die Basler Politiker behaupten.

Die Koproduktion von Wärme und Elektrizität erscheint attraktiv als mögliche Lösung, da dadurch der Gesamtwirkungsgrad dramatisch erhöht werden kann. Man muss aber bedenken, dass warme Solarzellen generell einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad aufweisen.

Was die Basler Politiker vorschlagen im Zusammenhang mit elektrischer Solarenergie scheidet also aus ganz ähnlichen Gründen wie die der elektrischen Windenergie. Die zentralen Probleme sind und bleiben die Speicherung und Steuerung des Energieflusses

im Netz unter der Bedingung, dass das ganze Netz stabil bleibt. Es braucht noch viel Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, um die angesprochenen Probleme zufriedenstellend zu lösen. Es ist zu hoffen, dass die Entwicklung des sogenannten intelligenten Netzes oder „Smart Grid“ in der Praxis viel bringen kann. Ob dies der Fall sein wird liegt noch in den Sternen.

## **Bemerkungen zum Energiemix**

Das Ziel möglichst viel der Gesamtenergie in der Schweiz zu produzieren kann ohne die erneuerbaren Energien nicht erreicht werden. Die Förderung dieser Energien darf uns aber nicht dazu verleiten, Illusionen zu pflegen, die mit den Naturgesetzen und unserm etablierten System nicht vereinbar sind. In diesem Aufsatz geht es nur um unabhängige, technische und systemrelevante Informationen. Anhand realistischer Netzwerkbedingung haben wir gezeigt, dass die Stabilität und Zuverlässigkeit des Netzes zusätzliche Bedingungen erfordern, die zurzeit keine Lösung haben, wenn nur erneuerbare Energien im Sinne der Baslerpolitiker berücksichtigt werden. Die Idee, die Kernkraft oder neue thermische „CO<sub>2</sub> neutrale“ Varianten zu eliminieren, entspricht einem unrealistischen Wunschdenken. Die Behauptung der Basler Politiker, der Kanton Basel-Stadt sei bereits jetzt von Atom- und Kohlestrom unabhängig ist reine Demagogie. Sie unterdrücken bewusst die Tatsache, dass ihr Netz völlig im schweizerischen und damit auch im europäischen Netz eingebunden ist, welches jederzeit ermöglicht die fehlende grüne Energie durch „dreckigen Strom“ zu ersetzen.

Eine allfällige Energielücke führt naturgemäss zu Stabilitäts- und Zuverlässigkeitsverlust des Netzes. In den USA sind soche Zustände unter dem Namen „brown out“ oder gar „black out“ leider schon längstens bekannt. Zurzeit existieren keine CO<sub>2</sub> neutrale thermische Varianten. Gaskraftwerke auf der Basis Erdgas sind relativ sauber und billig zu realisieren, um eine Energielücke durch einen allfälligen, politisch gewollten Ersatz der Kernenergie zu ermöglichen. Sie verursachen aber eine verstärkte, direkte Auslandsabhängigkeit unserer Energieversorgung, da unsere Erdgasproduktion verschwindend klein ist. Aktive Erdgasprospektionen im waadtländischen Chablais werden in der nahen Zukunft zeigen, ob Gaskraftwerke in der nahen Zukunft sinnvoll sind. Die Gewinnung, Verteilung, und Verbrennung von Erdgas hat Gasverluste in die Atmosphäre zur Folge. Da Erdgas zur Hauptsache aus Methan, ein wesentlich stärker klimaaktives Gas als CO<sub>2</sub>, besteht, sind auch relative geringe Verluste beim enormen Erdgasverbrauch klimatisch sehr gefährlich. Damit wird die Erdgasverbrennung zwecks Erzeugung elektrischer Energie potentiell gefährlicher als die direkte Verbrennung von Kohle. Damit wird es sehr fraglich ob unsere gegenwärtigen Klimaziele eingehalten werden können. Unsere Wasserkraft bestehend aus Lauf- und Speicherkraftwerken reicht nicht aus und ist nur limitiert ausbaubar. Andere, leider technisch unreife Speicherlösungen (Batterien, Druckluft, Wasserstoff etc.) sind noch zu teuer und können in Grossanlagen noch nicht eingesetzt werden. Die elektrische Energieerzeugung mittels Geothermie hätte den grossen Vorteil, eine konstante und zuverlässige elektrische Energieversorgung zu gewährleisten. Abgesehen von seismologischen Aspekten hätte diese Variante wenig neue technische Hindernisse zu überwinden. Die Erfahrungen in

Basel mit einer Versuchsbohrung haben leider gezeigt, dass gewisse Wärmeaustauschmechanismen zu einer ungewünschten Erdbebenaktivität führen. Diese Problematik muss gelöst werden, bevor Geothermie zur elektrischen Energieerzeugung im grossen Rahmen eingesetzt werden kann. Daher kommen wir zum Schluss: Kernkraft ist und bleibt gegenwärtig die einzige realistische Lösung für unsere elektrischen Energieprobleme, ob wir es wollen oder nicht. Auf Grund der jetzigen Kenntnisse sind Kernkraftwerke der 3. Generation noch sicherer als ihre Vorgänger, die sich bereits selber als sicher erwiesen haben<sup>15</sup>, vorausgesetzt dass die höchsten Sicherheitsstandards in der Planung, im Bau und im Betrieb eingehalten werden. Die Anti-Nuklearlobby verschweigt wissentlich, dass sich die Katastrophen von Tschernobyl und Three Mile Island als Folgen von bewussten Fehlmanipulation ereigneten, die mit genügender Ausbildung des Personals hätte verhindert werden können. Auch die neueste Katastrophe von Fukushima hätte sich vermeiden lassen, wenn Sicherheitsvorkehrungen gegen Erdbeben und Tsunami entsprechend dimensioniert worden wären. Grundlagen dazu wurden leider sträflich vernachlässigt. Eine weitere Sicherheitserhöhung ist denkbar durch eine Redimensionierung im Sinne der Verkleinerung der Leistung. Dies müsste aber durch eine grössere Zahl von Kernkraftwerken kompensiert werden. Die Verwertung der Abwärme durch Industrie und private Heizungen könnte so noch erhöht werden, und so den Verbrauch fossiler Energien reduzieren. Die Endlagerung muss aber endlich umgesetzt werden. Die Nagra hat dazu die nötigen Unterlagen erarbeitet, die uns ermöglichen, eine sichere Endlagerung zu garantieren, die mit dem radioaktiven Zerfall der Abfallprodukte im Einklang steht.

Weitere verstärkte Anstrengungen zu Produkten und Produktionslinien mit höherem energetischen Wirkungsgrad und gezielten Energiesparmassnahmen werden uns mit Sicherheit weiterbringen als der Ruf nach 100% erneuerbaren Energien. Ob Sparen eine reelle Lösung darstellt ist allerdings fraglich, weil der elektrische Energieverbrauch zweifellos steigen wird unter anderem auch durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen und Elektroautos. Es erscheint beinahe trivial für eine gezielte Forschung und Entwicklung zu werben, die uns ermöglicht, die angesprochenen systemischen Probleme zu lösen unter Respektierung des Landschaftsschutzes. Ordnungspolitisch saubere Lösungen zur Förderung der erneuerbaren Energien sind gefragt, nicht aber Subventionen. Nur so, lassen sich unsere elektrischen Energieprobleme weitgehend eliminieren. Dazu braucht es realistischer Weise Anstrengungen über mindestens zwei Generationen.

Lausanne, den 2.6.2011

Anmerkung: 1 GWh = 1'000'000 kWh  
1 MW = 1'000 kW = 1'000'000 W

- 1 Am 10. November 2010 hat der EU Kommissar, G. Oettinger, auf das ungenügende und veraltete europäische Netz hingewiesen und verlangt einen riesigen Investitionsschub von über 1000 Milliarden €. (aus tagesschau.de)
- 2 Matthew L. Wald, "How to build the supergrid", Scientific American, **303**, 37-41, November 2010
- 3 persönliche Erfahrung



- 4 Claus Grupen, „Kohleverbrennung: Folgen für die Umwelt“, Universität Siegen, Deutschland
- 5 Das Ein- und Ausschalten von Netzteilen, Generatoren, Motoren, Heizungen, Apparaten etc. aber auch Blitzschlag sind primär verantwortlich für transiente Spannungs- und Stromvariationen. Oberwellen werden hauptsächlich durch periodische Schaltungsvorgänge aber auch durch nichtlineare Phänomene erzeugt.
- 6 Blindstrom ist ein reaktiver Stromanteil, der selber keine Leistung erbringt aber im Netz zu zusätzlichen Belastungen und Überspannungen führt. Er muss daher möglichst klein gehalten werden und am Ort des Entstehens kompensiert werden. Lange unabgegliche Leitungen, Motoren, Generatoren, Transformatoren, Kapazitäten und Induktivitäten verursachen den Blindstrom. Synchronmaschinen uam. dienen zur Kompensation des Blindstroms.
- 7 Der Begriff **intelligentes Stromnetz** (engl. **Smart Grid**) umfasst die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, elektrischer Verbraucher und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und Verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorgung. Damit wird eine Überwachung und Optimierung der miteinander verbundenen Bestandteile ermöglicht. Ziel ist die Sicherstellung der Energieversorgung auf Basis eines effizienten und zuverlässigen Systembetriebs. Aus Wikipedia.
- 8 Bernard L. Cohen, „Breeder reactors: A renewable energy source“, Am. J. Phys. 51, S. 75-76 (1983).
- 9 „Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie in der Schweiz“, Bull. Electrosuisse, S.30-31, 12. November 2010.
- 10 Siehe: <http://www.geothermie.ch>
- 11 Arbeitsgruppe der Kommission Energiewirtschaft des Verbands VSE bestehend aus Gilbert Friedli, Alpiq; Andreas Massüger, GW Zollikon / BOG; Michael Paulus, BKW; Jean-Pierre Pfander, SBB; Niklaus Zepf, Axpo; und Kurt Wiederkehr, VSE; „Stromversorgung der Zukunft sichern“, Bull. SEV/ ASE, S. 25-33, Oktober 2009.
- 12 T. Chaudhuri, „Une topologie multiniveaux novatrice au service de l'éolien“, Bull. Electrosuisse, S. 37-43, 1. Oktober 2010.
- 13 Deutschlands Umweltminister, Norbert Röttgen, warnt vor Netzkollaps in der Frankfurter Rundschau vom 15. Oktober 2010.
- 14 Flimson, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
- 15 W. Rüegg, „Wie gefährlich sind Kernkraftwerke?“, Bull. Electrosuisse, S. 32-36, 1. Oktober 2010

Author: Dr. F. K. Reinhart, Prof. hon. EPFL, dipl. el. Ing. ETH. Er möchte sich hier bei Herrn H. R. Müller, dipl. el. Ing. ETH, für seine Anregungen, Kritik und Mithilfe bei der Ausarbeitung dieses Manuskripts bestens bedanken. Herr Müller war von 1958-1990 als erfolgreicher Forscher im Bereich der digitalen INHOUSE Kommunikationssysteme am IBM Forschungslaboratorium, Rüschlikon tätig. Prof. Reinhart war Ordinarius für Optoelektronik an der EPFL von 1983 - 1999. Seine erfolgreiche Forschungstätigkeit umfasste Grundlagen der Festkörperphysik, Optik inkl. optische Kommunikationstechnik und Hochtemperatur Supraleitung. Er ist mit den Grundlagen der Solarzellentechnik bestens vertraut. Zuvor war er während über 20 Jahren als Forscher an den Bell Laboratorien, Murray Hill NJ, USA tätig, wo 1962 die erste industrielle Anwendung von Silizium-Solarzellen im Rahmen des TELSTAR Projekts (erster Telekommunikationssatellit) erfolgte.