



6 Schlussfolgerungen

Steuerungsausschuss

Irene Aegerter, SATW; Marco Berg, Stiftung Klimarappen; Paul Burger, Universität Basel; Heinz Gutscher, Universität Zürich; Stefan Hirschberg, PSI; Eduard Kiener, SATW; Gebhard Kirchgässner, Universität St. Gallen; Christoph Ritz, Proclim; Andreas Zuberbühler, SATW

In diesem Schlusskapitel wird zunächst aufgezeigt, welche Anforderungen an Nachhaltigkeit das künftige Stromversorgungssystem erfüllen sollte. Danach werden die neuen Rahmenbedingungen diskutiert, die durch den Bundesratsentscheid vom 25. Mai 2011 geschaffen wurden. Und schliesslich zeigen die Akademien Schweiz auf, welche Aspekte beim Aufbau einer langfristig nachhaltigen Stromversorgung beachtet werden sollten.

6.1 Aspekte der Nachhaltigkeit

Der Aufbau eines nachhaltigen Elektrizitätssystems setzt eine langfristig orientierte Denkweise voraus. Nachhaltigkeit ist heute ein international anerkanntes Leitbild. Angesichts der begrenzten und fragilen ökologischen Ressourcen erfordert das Konzept der Nachhaltigkeit, dass insbesondere auch im Energiebereich integrative und vorsorgende Strategien entwickelt werden. Die heutigen Entscheide sollten also so gefällt werden, dass erstens auch die nachkommenden Generationen noch die Möglichkeit haben, ein menschenwürdiges Leben zu führen, und dass zweitens die Risiken, die sich aus der Nutzung der natürlichen Ressourcen ergeben, minimiert werden. Dabei gilt es zu bedenken, dass unser Wissen unsicher ist und dass die Dynamik der betroffenen Mensch-Umwelt-Systeme unterschiedliche Entwicklungspfade ermöglicht.

Es gibt in unserer Gesellschaft unterschiedliche Auffassungen, wie eine nachhaltige Stromversor-

gung aussehen könnte. Selbst wenn Einigkeit bestehen würde, welche Kriterien eine nachhaltige Stromversorgung erfüllen müsste, gäbe es Differenzen, da verschiedene Gruppen die Kriterien unterschiedlich gewichten. Dennoch gehen die Akademien Schweiz davon aus, dass ein nachhaltiges Stromversorgungssystem grundsätzlich folgenden Kriterien genügen sollte:

- **Menschliches Wohlergehen:** Das Elektrizitätssystem soll einen Beitrag zur individuellen Lebensqualität leisten. Dies setzt voraus, dass allen Menschen Zugang zur Stromversorgung gewährleistet wird, dass gesundheitliche Schäden vermieden werden und dass die Elektrizität für die Realisierung von wichtigen materiellen und immateriellen Gütern genutzt werden kann. Dies gilt sowohl für die heutige Generation als auch für die nachkommenden Generationen. Wenn Risiken eingegangen werden, sollte auf

eine gerechte Verteilung über die Generationen hinweg geachtet werden. Die heutige Generation sollte also keine Entscheide fällen, von denen sie alleine profitiert, während die kommenden Generationen die Risiken dieser Entscheidung tragen müssen. Da gesellschaftliche Partizipation ein wichtiger Pfeiler des menschlichen Wohlergehens ist, kann ein Stromversorgungssystem nur dann nachhaltig sein, wenn es auch gesellschaftliche Akzeptanz genießt.

- **Versorgungssicherheit:** Eine sichere Stromversorgung für Wirtschaft und Gesellschaft bleibt auch in den kommenden Jahrzehnten ein zentrales Anliegen der schweizerischen Energiepolitik. Versorgungssicherheit ist deshalb eine zwingend zu verlangende Eigenschaft eines nachhaltigen Elektrizitätssystems. Damit diese gewährleistet ist, müssen insbesondere die Energieträger, die dazugehörigen Produktionsanlagen und die dafür notwendigen Materialien in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen. Zudem muss das Netz auch dann stabil bleiben, wenn das grösste Kraftwerk oder die stärkste Leitung ausfallen oder wenn grosse Mengen an unregelmässig erzeugtem Strom eingespeisen werden.
- **Minimierung ökologischer Risiken:** Ein nachhaltiges Energiesystem berücksichtigt ökologische Risiken. Eine vorrangige Stellung kommt dabei dem Klimaschutz zu: Wenn der Klimawandel auf ein tragbares Mass begrenzt werden soll, dürfen weltweit gesehen bis Ende dieses Jahrhunderts die CO₂-Emissionen nur noch 1 Tonne pro Jahr und Kopf betragen. Für die Schweiz bedeutet dies, dass bis 2050 die jährlichen CO₂-Emissionen aus der Energienutzung (inkl. Flugverkehr) von heute rund 6 auf 2 Tonnen pro Kopf zurückgehen müssten. Zu beachten ist ferner, dass Ressourcen wie Rohstoffe, Land oder Wasser begrenzt sind und dass deren Nutzung mit Emissionen verbunden ist.
- **Ökonomische Effizienz:** Elektrizität ist sowohl Produktionsfaktor als auch Konsumgut. Wirt-

schaft und Konsumenten haben ein Interesse an kostengünstigem Strom. Aus Sicht der Nachhaltigkeit kann es allerdings nicht darum gehen, den Strom einfach möglichst billig anzubieten. Vielmehr soll der Strompreis die tatsächlichen Kosten unter Einschluss der Risiken widerspiegeln. Ökonomische Effizienz setzt einerseits Kostenwahrheit voraus; die externen Kosten der Stromerzeugung und -verteilung sollten deshalb internalisiert werden. Andererseits setzt ökonomische Effizienz auch voraus, dass die Rahmenbedingungen im Strommarkt nicht verzerrt sind und dass die Marktregulierung wettbewerbsneutral ausgestaltet wird.

- **Vermeidung von systemgefährdenden Risiken:** Jedes Elektrizitätssystem hat seine spezifischen Risiken. Es liegt in der Verantwortung jeder Generation, autonom über den Umgang mit diesen Risiken zu entscheiden. Es sollen jedoch keine Risiken eingegangen werden, die einen Zusammenbruch des gesellschaftlichen Systems bewirken können.

Nachhaltige Entwicklung im Allgemeinen respektive die Entwicklung eines nachhaltigen Elektrizitätssystems im Besonderen verlangt, dass längere Zeiträume berücksichtigt werden. Gerade bei Infrastrukturentscheidungen ist eine Perspektive von 40 bis 50 Jahren unabdingbar. Die mit dem Klimawandel verbundenen Herausforderungen reichen allerdings weit über diesen Zeithorizont hinaus. Ein derart langer Zeithorizont hat zur Folge, dass Entscheide unter grossen Unsicherheiten gefällt werden müssen. Neben den oben aufgeführten inhaltlichen Eckpunkten muss ein nachhaltiges Elektrizitätssystem daher noch zwei weitere Forderungen berücksichtigen, welche diese Unsicherheiten reflektieren:

- **Flexibilität:** Die Entwicklungspfade, die heute beschritten werden, sollen die Entwicklung von zukünftigen besseren Pfaden (zum Beispiel in Bezug auf Technologien) nicht ausschliessen. Da wir diese besseren Pfade im Augenblick

nicht kennen, muss das System so ausgelegt werden, dass es flexibel an Veränderungen angepasst werden kann.

- **Diversität:** Da ein System grundsätzlich leichter veränderbar ist, wenn es auf vielen Pfeilern aufbaut, ist bei der Entwicklung eines neuen Stromversorgungssystems auf Diversität (bezüglich der Technologien, der Reduktion des Verbrauchs, etc.) zu achten.

Schliesslich sei an dieser Stelle auch daran erinnert, dass die schweizerische Volkswirtschaft im internationalen Vergleich pro Einheit Bruttoinlandprodukt zwar einen geringen Energieverbrauch und eine tiefe Umwelt- und Klimabelastung aufweist. Doch wenn man den mit der Einfuhr von Grundstoffen, Materialien und Fertigprodukten verbundenen sogenannten grauen Energieverbrauch sowie die grauen CO₂-Emissionen einbezieht, ist die Schweiz eine 9000 Watt- bzw. eine 10 Tonnen CO₂-Gesellschaft.

6.2 Ökonomische Aspekte des Strommarkts

Strom wird im Rahmen der neuen Energiepolitik künftig eine wichtigere Rolle für die Energieversorgung der Schweiz spielen als heute. Eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg dieser Politik ist jedoch, dass die Nachfrage nach Strom zurückgehen bzw. deutlich weniger zunehmen wird, als dies bei einer Fortschreibung der bisherigen Entwicklung der Fall wäre. Dazu muss der Strompreis deutlich ansteigen. Angesichtes der international steigenden Nachfrage sowie der wachsenden Förderkosten ist davon auszugehen, dass die Preise der fossilen Energieträger in Zukunft real steigen werden. Dies dürfte sich auch auf den Strompreis in der Schweiz auswirken. Es ist jedoch fraglich, ob dieser Anstieg (zusammen mit anderen Massnahmen, vgl. Kapitel 2, Abschnitt 2.3) ausreichen wird, die energiepolitisch angestrebten Ziele zu erreichen. Ist dies nicht der Fall, sollte der Preis mit Hilfe von Steuern oder Abgaben zusätzlich erhöht werden.

Der (für die Zukunft erwartete) Preis beeinflusst aber nicht nur die Nachfrage, sondern spielt auch

für das Angebot eine wesentliche Rolle, insbesondere bei den neuen erneuerbaren Energien. Diese werden sich längerfristig nur dann auf breiter Front durchsetzen können, wenn sie wettbewerbsfähig sind, d.h., wenn ihre Stromgestehungskosten nicht höher sind als bei anderen Energieträgern. Dabei spielen die Preise nicht nur für den jeweiligen Absatz eine wichtige Rolle, sondern die erwartete Preisentwicklung beeinflusst auch die Investitionen in die Entwicklung dieser Technologien, was zu sinkenden Kosten und damit zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit führt. Werden für die Zukunft keine höheren Preise erwartet, gibt es kaum Anreize, in die Entwicklung neuer Technologien zu investieren, weshalb mögliche Kostensenkungen gar nicht realisiert werden.

Damit die Preise diese Rolle spielen können, müssen sie alle anfallenden Kosten reflektieren. Werden bei bestimmten Produktionsvorgängen Kosten auf Dritte bzw. auf die Allgemeinheit abgewälzt, wird der so produzierte Strom zu einem – gesellschaftlich betrachtet – zu niedrigen Preis angeboten. Dies hat eine wettbewerbsverzerrende Wirkung. Solche Verzerrungen entstehen beispielsweise, wenn bei der Stromproduktion mittels fossiler Brennstoffe die erwarteten negativen Folgen der Klimaveränderung aufgrund der CO₂-Emissionen nicht in Rechnung gestellt werden oder wenn die ungedeckten Kosten, die für die Produktion und Entsorgung von Materialien für die neuen erneuerbaren Energien anfallen, nicht eingeschlossen werden. Auch die Tatsache, dass Kernenergie und Wasserkraft indirekt subventioniert werden, weil keine adäquaten Versicherungen für die dabei auftretenden Risiken abgeschlossen werden müssen, stellt eine Wettbewerbsverzerrung dar.

Die Preise – und damit der Markt – spielen auch eine wesentliche Rolle für die Netze. Kurzfristig weist das Netz eine bestimmte Kapazität auf. Es geht darum, die Netze so auszulasten, dass die gewünschten Strommengen nach Möglichkeit transportiert werden können. Langfristig müssen die Erträge der Netzbetreiber (und damit die Preise für die Nutzer der Netze) so hoch sein, dass die Betreiber einen Anreiz erhalten, nicht nur in den Unterhalt, sondern auch in den Ausbau der Netze zu investieren.

6.3 Strategie des Bundesrats zum Ausstieg aus der Kernenergie

6.3.1 Die verschiedenen Varianten des Bundesrats

Knapp zwei Wochen nach dem Unfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima hat der Bundesrat das zuständige Departement beauftragt, die Energieperspektiven aus dem Jahr 2007 anhand dreier Stromangebotsvarianten zu aktualisieren. Die unter grossem Zeitdruck erstellten Szenarien (Rahmenentwicklungen, energiepolitischen Ziele und Instrumente, szenarienspezifische Entwicklungen der Energienachfrage und des Energieangebots) bildeten die Grundlage für den Bundesratsbeschluss vom 25. Mai 2011, die bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer sicherheitstechnischen Lebensdauer nicht zu ersetzen. Dieser Beschluss wurde in der Folge von den Eidgenössischen Räten bestätigt.

Gegenüber den Energieperspektiven von 2007 wurde in der aktualisierten Fassung der Betrachtungszeitraum von 2035 auf 2050 erweitert und die gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten wurden zwischenzeitlichen Erkenntnissen angepasst. Die Annahmen zu den technischen Potenzialen blieben weitgehend unverändert. Für die Nachfrageseite wurden zwei Szenarien gebildet, die beide von denselben aktualisierten Annahmen zur Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung ausgehen, sich aber in der Entwicklung der Energiepreise unterscheiden:

- Das Szenario «Weiter wie bisher» basiert auf dem bisherigen Referenzszenario, berücksichtigt die zu erwartenden Klimaänderungen und die seit 2007 eingeführten energiepolitischen Instrumente (CO₂-Abgabe auf Brennstoffen, Gebäudeprogramm und kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), wettbewerbliche Ausschreibungen zur Förderung der Stromeffizienz und Verbrauchsvorschriften für Fahrzeuge). Dies ergibt eine Nachfrage in den Jahren 2020, 2035 und 2050 von 66 TWh, 72 TWh bzw. 79 TWh.
- Das Szenario «Neue Energiepolitik» geht von quantitativen Zielen aus. Zielvorstellung bleibt

die 2000-Watt-Gesellschaft. Sie setzt einen energiepolitischen Paradigmenwechsel voraus. Es besteht eine Liste mit insgesamt 50 denkbaren Massnahmen. Zur Erreichung der Szenarioziele sind Instrumente mit hoher Eingriffstiefe nötig. Als zentrales Instrument wird im Bericht des BFE eine vollständig an Bevölkerung und Unternehmen rückerstattete Energielenkungsabgabe ab 2011 unterstellt, die durch Ordnungsrecht und Förderinstrumente flankiert werden soll. Als notwendige Voraussetzung wird weiter genannt, dass Ziele und Instrumente der Energiepolitik international harmonisiert werden. Die Stromnachfrage in den Jahren 2020, 2035 und 2050 beträgt gemäss diesem Szenario 62 TWh, 59 TWh bzw. 56 TWh.

Für das Angebot hat der Bundesrat drei Varianten vorgegeben:

- Variante 1: Weiterführung der bisherigen Stromproduktion mit allfälligem vorzeitigem Ersatz der ältesten drei Kernkraftwerke im Sinne höchstmöglicher Sicherheit.
- Variante 2: Kein Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebsdauer (voraussichtlich 50 Jahre).
- Variante 3: Ausserbetriebnahme der bestehenden Kernkraftwerke vor Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebsdauer (voraussichtlich nach 40 Jahren Laufzeit).

Von den aus diesen Varianten und den beiden Szenarien möglichen sechs Kombinationen wurden vier näher untersucht. Die Varianten wurden zudem in Untervarianten unterteilt, welche die verschiedenen Stromproduktionstechnologien von der Kernenergie über Gaskraftwerke, fossile Wärmekraftkopplung bis zu den erneuerbaren Energien in verschiedenen Zusammensetzungen umfassen. Insgesamt resultierten elf Kombinationen.

Tabelle 6.1 zeigt die Zusammensetzung des Stromangebots (mittlere Bruttoerzeugung) in den ein-

Tabelle 6.1: Vom Bundesrat untersuchte Kombinationen der Nachfrageentwicklung und des Stromangebots für das Jahr 2050 (grau unterlegt). Die Zahlen sind in TWh angegeben. Die Wasserkraft ist nicht aufgeführt. Sie trägt in Variante 1 46TWh, in den Varianten 2 und 3 48TWh zur Stromproduktion bei. Zum Vergleich: In 2010 setzte sich die inländische Bruttoerzeugung von insgesamt 66TWh aus 25TWh Kernkraft, 2TWh fossile WKK, 38TWh Wasserkraft und 1,4TWh neuen erneuerbaren Energien zusammen. Der Verbrauch der Speicherpumpen betrug 2,5TWh. Hinzu kamen Importe von 17TWh aus Bezugsrechten an französischen Kernkraftwerken.

	Angebotsvariante 1		Angebotsvariante 2			Angebotsvariante 3		
	Nuklear	Fossil zentral + Nuklear	Fossil zentral + Erneuerbar	Fossil dezentral + Erneuerbar	Erneuerbar	Fossil zentral + Erneuerbar	Fossil dezentral + Erneuerbar	Erneuerbar
Nachfrage «Weiter wie bisher»	4 KKW: 47,22	5 GuD: 7,77 3 KKW 35,41	9 GuD: 34,65 EE: 22,6	WKK 11,5 EE: 22,6 Import: 17,2	WKK 3,8 EE: 22,6 Import: 25,9			
Nachfrage «Neue Energiepolitik»			5 GuD: 15,4 WKK 3,8 EE: 22,6	WKK 11,5 EE: 22,6	WKK 3,8 EE: 22,6 Import: 5,6	7 GuD: 11,55 WKK 3,8 EE: 22,6	WKK 11,5 EE: 22,6	WKK 3,8 EE: 22,6 Import: 5,6

zelen Kombinationen im Jahr 2050. Weil versucht wurde, die erforderlichen Leistungen so zu bestimmen, dass auch im Winterhalbjahr keine Importe getätigt werden müssen, übersteigt das Angebot die erwartete Nachfrage in der Regel deutlich. In manchen Varianten wird gleichwohl ein Bedarf für Importe ausgewiesen, weil die erforderlichen Kapazitäten an erneuerbarer Stromproduktion nicht rasch genug erstellt werden können. Der grösste Importbedarf ergibt sich meist um das Jahr 2035. In allen Szenarien und Varianten wird davon ausgegangen, dass die Speicherpumpen alleine brutto 7,6 TWh Energie pro Jahr verbrauchen werden (bereits ab 2020).

In seinem Strategieentscheid vom 25. Mai 2011 hat sich der Bundesrat für das Szenario «Neue Energiepolitik» und gegen den Bau neuer Kernkraftwerke ausgesprochen. Er befürwortet einen Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen sowie nötigenfalls der fossilen Stromproduktion (primär

WKK-Anlagen, sekundär GuD-Kraftwerke) und der Importe. Die Stromnetze sollen rasch ausgebaut und die Energieforschung verstärkt werden. Offen ist noch, mit welchen Instrumenten diese Strategie umgesetzt werden soll. Vertiefte Abklärungen bezüglich Wirtschaftlichkeit und Auswirkungen auf Versorgungssicherheit und Umwelt werden derzeit im Hinblick auf die für Herbst 2012 angekündigte Botschaft des Bundesrates an die eidgenössischen Räte vorgenommen.

6.3.2 Einschätzung der Bundesratsvarianten

Wie lassen sich die Szenarien und Angebotsvarianten des Bundesrats vor dem Hintergrund der Ausführungen in den Kapiteln 1 bis 5 und der in Abschnitt 6.1 vorgestellten Nachhaltigkeitsziele einschätzen? Die Annahmen zu den Rahmenbedingungen, insbesondere zur Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Strompreisentwicklung stimmen mit

den Ausführungen in Kapitel 2 überein; auch bei den Annahmen zu den technischen und wirtschaftlichen Potenzialen bestehen keine wesentlichen Differenzen zwischen dem Bericht des Bundesrates und den Einschätzungen der Akademien Schweiz. Hingegen ist der Stromverbrauch im Szenario «Weiter wie bisher» deutlich höher, als es die Akademien Schweiz für eine unbeeinflusste Entwicklung geschätzt haben. Das heisst: Das Szenario «Weiter wie bisher» ist konservativer als die Schätzungen der Akademien Schweiz, da der Bundesrat offenbar annimmt, die technischen und gesellschaftlichen Effizienzpotenziale würden in geringerem Ausmass ausgeschöpft, als von den Akademien Schweiz geschätzt wird. Das Szenario «Neue Energiepolitik» hingegen stimmt sehr gut mit den Schätzungen der Akademien Schweiz überein. Beide setzen voraus, dass die energiepolitischen Instrumente deutlich verstärkt werden.

Da für diesen Bericht die Orientierung an Nachhaltigkeit wesentlich ist, stellt sich die Frage, wie die Nachfrageszenarien und Angebotsvarianten des Bundesrates hinsichtlich der in Abschnitt 6.1 formulierten Nachhaltigkeitsziele zu beurteilen sind.

- **Menschliches Wohlergehen:** Das Szenario «Neue Energiepolitik» muss gegenüber dem Szenario «Weiter wie bisher» keinen Verlust an Wohlergehen bedeuten, wenn Wohlergehen qualitativ und nicht nur quantitativ als Menge des materiellen Konsums konzipiert wird. Bei den Angebotsvarianten müssen die Auswirkungen auf die Gesundheit und das Landschaftsbild sowie die indirekten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekte berücksichtigt werden. Bei einer Stromproduktion, die sich mehrheitlich auf erneuerbare Energien abstützt, ist mit tendenziell höheren Strompreisen und Strompreisspitzen zu rechnen. Zudem steigt bei gegebener Netzstruktur aufgrund von Schwankungen in der Produktion das Risiko von (kurzen) Stromunterbrüchen. Der fossilen Stromproduktion wiederum fehlt die breite Akzeptanz, was zu sozialen und

politischen Konflikten führt. Allerdings bergen auch die energiepolitischen Instrumente, die für den Verbrauchspfad im Szenario «Neue Energiepolitik» notwendig sein werden, ein erhebliches gesellschaftliches Konfliktpotenzial.

- **Versorgungssicherheit:** Der Bericht des Bundesrats enthält keine konkreten Aussagen, ob die Versorgungssicherheit in den verschiedenen Szenarien gewährleistet werden kann. Bei allen Angebotsvarianten wird das Ziel einer national ausgeglichenen Energiebilanz angestrebt. Dieses Ziel ist aber nicht bei allen Varianten erreichbar. So sind bei manchen Varianten im Winter Stromimporte notwendig. Inwieweit die verschiedenen Varianten den Stromaustausch mit dem Ausland ermöglichen oder gar voraussetzen und inwieweit sie den bisher lukrativen Stromhandel behindern oder im Gegenteil sogar unterstützen, ist aus dem Bericht des Bundesrats nicht ersichtlich. Unklar ist auch, zu welchem Preis der in einigen Angebotsvarianten vorgesehene Importbedarf auf dem europäischen Markt gedeckt werden kann.
- **Minimierung ökologischer Risiken:** Der Bericht des Bundesrats weist für die 11 betrachteten Kombinationen die jeweiligen inländischen CO₂-Emissionen der Stromproduktion aus. Am besten schneiden hier – unabhängig von der Entwicklung der Nachfrage – die Varianten «Nuklear» und «Erneuerbar» mit lediglich 1 Mio. Tonnen in 2050 ab. Wird ein Teil des Stroms dezentral in WKK-Anlagen erzeugt, erhöhen sich die CO₂-Emissionen auf 3 bis 4 Mio. Tonnen. Mit GuD-Kraftwerken würden die CO₂-Emissionen im Szenario «Neue Energiepolitik» auf 5 bis 6 Mio. Tonnen steigen, im Szenario «Weiter wie bisher» auf 12 Mio. Tonnen. Die mit Importen (Strom, Güter, Dienstleistungen) verbundenen grauen CO₂-Emissionen wurden nicht berücksichtigt. Das Szenario «Neue Energiepolitik» schneidet bezüglich den CO₂-Emissionen generell besser

ab als das Szenario «Weiter wie bisher», weil es einerseits durch die Reduktion der Nachfrage den ökologischen Aufwand bei der Produktion senkt und andererseits den Umstieg auf Elektromobilität forciert und damit zu einem Rückgang der CO₂-Emissionen des Verkehrssektors führt. Bezüglich anderer Risiken wie zum Beispiel Versorgungsengpässen bei seltenen Rohstoffen oder Eingriffen in Naturräume ist eine solche generelle Aussage nicht möglich.

- **Ökonomische Effizienz:** Die ökonomischen Auswirkungen der Szenarien und Varianten wurden bislang nur grob abgeschätzt. Der zugrunde liegenden Studie zufolge belaufen sich die volkswirtschaftlichen Mehrkosten bei der Umsetzung der «Neuen Energiepolitik» und einem Verzicht auf neue Kernkraftwerke pro Jahr auf 0,4 bis 0,7 % des Bruttoinlandsprodukts verglichen mit dem Szenario «Weiter wie bisher» und dem Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke. Ein gut begründetes Urteil über die Kosten der verschiedenen Varianten ist derzeit aber noch nicht möglich. Mit welchen Instrumenten der Bundesrat das Szenario «Neue Energiepolitik» realisieren will, ist zurzeit ebenfalls noch unklar. Bei den Varianten, welche den Ausbau der Erneuerbaren forcieren, besteht die Gefahr, dass wettbewerbsverzerrende Subventionen ausgerichtet werden. Inwiefern für energieintensive Wirtschaftszweige Übergangslösungen gefunden werden müssen, ist offen.
- **Vermeidung von systemgefährdenden Risiken:** Bei der Risikobeurteilung einer Energietechnologie ist zu berücksichtigen, ob diese eine Systemgefährdung darstellen kann. Ein Systemrisiko stellt zum einen ein schwerer Nuklearunfall dar. Zum anderen ist auch ein mittlerer Temperaturanstieg von deutlich mehr als 2 °C ein Risiko für das «System Schweiz». Diese zwei Risiken sind allerdings so verschieden, dass sie kaum verglichen werden können oder gar gegeneinander aufgerechnet werden dürfen. Durch die Abschaltung der

Schweizer Kernkraftwerke kann ein schwerer Nuklearunfall in der Schweiz ausgeschlossen werden, womit regionale und möglicherweise grenzüberschreitende Auswirkungen vermieden werden können. Dem gegenüber hat die Schweiz auf das Ausmass des Klimawandels direkt einen nur marginalen Einfluss, während die Auswirkungen global sind. Sowohl die Variante «Nuklear» als auch sämtliche Varianten, die sich auf fossile Energien abstützen, haben mit den jetzigen Technologien ein Potenzial zur Systemgefährdung, wobei die Schweiz im Alleingang nur das mit der Variante «Nuklear» einhergehende Risiko entscheidend beeinflussen kann. Problematisch aus Sicht der Nachhaltigkeit ist bei allen Varianten, dass sie den künftigen Generationen erhebliche Risiken aufbürden: Es müssen nukleare Abfälle entsorgt werden. Der Klimawandel wird die späteren Generationen stärker treffen als die heutige. Ein grosses Schadenspotenzial haben auch verschiedene Formen der Wasserkraft. Allerdings sind die Auswirkungen im Falle eines Staudammbruchs räumlich und zeitlich beschränkt. Auch erneuerbare Energien verursachen Umweltrisiken wie Sonderabfälle, deren Tragweite heute noch nicht abgeschätzt werden können.

Die Einordnung der Bundesratsvarianten macht deutlich, dass jedes Szenario und jede Variante in Bezug auf die formulierten Nachhaltigkeitsziele spezifische Stärken und Schwächen aufweist. Diese können ohne Gewichtung der Ziele nicht ohne weiteres gegeneinander aufgerechnet werden. Es kann jedoch sein, dass die nachkommenden Generationen diese Ziele anders gewichten werden und dass sich dadurch auch die Bewertung verschieben wird. Der anstehende Umbau des schweizerischen Elektrizitätssystems muss diese Offenheit berücksichtigen: Unsere heutigen Entscheidungen sind Entscheidungen unter Unsicherheit. Auch bei einer konsequenten Orientierung an den Kriterien der Nachhaltigkeit gibt es keine risikofreien Entwicklungspfade.

6.4 Die Position der Akademien Schweiz

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz begrüßen, dass der Bund einen klaren Rahmen für die Energiepolitik der nächsten Jahre schaffen will. Sie unterstützen grundsätzlich die in der neuen Energiepolitik enthaltene Ausrichtung, Energie effizienter zu nutzen und die erneuerbare Stromproduktion auszubauen. Ein weiteres wichtiges Ziel ist die Integration der schweizerischen Stromversorgung in den europäischen Markt. Der Verzicht auf neue Kernkraftwerke wird kontrovers beurteilt.

Ist die Rede von der künftigen Elektrizitätsversorgung, dreht sich die Diskussion meist nur um die Stromerzeugung. Dies wird der Komplexität der Problematik jedoch in keiner Weise gerecht. Faktoren wie Nachfragestrukturen, Stromnetz und Aussenbeziehungen bestimmen die Stromzukunft genauso wie die vielfachen Abhängigkeiten und Rückkopplungen innerhalb des Stromsystems.

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz weisen auf die gewaltigen Herausforderungen hin, die mit der neuen Energiepolitik verbunden sind, und machen insbesondere auf die Umsetzungsproblematik aufmerksam. Sie plädieren für einen breiten gesellschaftlichen Diskurs, damit eine gemeinschaftlich getragene neue Energiepolitik erarbeitet werden kann. Im Folgenden werden – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – einige wesentliche Aspekte dazu beleuchtet.

Nachfrageentwicklung

Eine Nachfrageentwicklung, wie sie im Szenario «Neue Energiepolitik» postuliert wird, soll unabhängig vom beschlossenen Verzicht auf neue Kernkraftwerke angestrebt werden.

Bei tiefem Stromverbrauch ist die Stromversorgung bei gleicher Produktionsstruktur tendenziell sicherer, wirtschaftlicher und weniger umweltbelastend als bei hohem Verbrauch. Damit ein tiefer Verbrauch erreicht werden kann, braucht es neben griffigen Massnahmen zur effizienten Bereitstellung von Energie, die häufig mit Stromeinsatz verbun-

den ist, auch tiefgreifende Verhaltensänderungen. Dies muss aber nicht zu einem Verlust an Lebensqualität führen.

Elektrizität wird künftig eine noch wichtigere Rolle für die Energieversorgung spielen als heute. Damit die «Neue Energiepolitik» Erfolg haben kann, ist es notwendig, dass die Nachfrage nach Strom zurückgeht beziehungsweise deutlich weniger ansteigt, als es bei einer Fortschreibung der bisherigen Entwicklung geschehen würde. Dies gelingt nur, wenn der Preis deutlich ansteigt. Es ist davon auszugehen, dass die Preise der fossilen Energieträger in Zukunft real zunehmen werden. Dies dürfte sich auch auf den Strompreis in der Schweiz auswirken. Es ist jedoch fraglich, ob dieser Anstieg (zusammen mit anderen Massnahmen wie zum Beispiel Vorschriften) ausreichen wird, um die angestrebten Ziele zu erreichen. Sollte dies nicht der Fall sein, müsste der Preis mit Hilfe von Steuern oder Abgaben zusätzlich erhöht werden.

Der Bundesrat hat mit seiner Entscheidung vom 18. April 2012 ein erstes Paket an Effizienzmassnahmen bestimmt. Sie zielen aus Sicht der Akademien der Wissenschaften Schweiz in die richtige Richtung, insbesondere weil sie nicht nur die Stromnutzung betreffen, sondern auch Gebäude, Industrie, Dienstleistungen und Mobilität einschliessen. Allerdings werden damit die durch die «Neue Energiepolitik» angestrebten Stromeinsparungen bis 2050 erst zu 55 Prozent erreicht. Aus diesem Grund sind weitere Massnahmen notwendig. In diese Richtung zielt auch die angekündigte Prüfung einer Energieabgabe.

Erneuerbare Stromversorgung

Der Strombedarf soll soweit als möglich aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Dazu sind die in der Schweiz ökologisch und ökonomisch verantwortbaren Produktionspotenziale der erneuerbaren Energien umfassend zu nutzen. Da fluktuierende Energiequellen an Bedeutung gewinnen werden, müssen auch die Speicherkapazitäten ausgebaut und das Stromnetz angepasst werden.

Der Aufbau einer Stromversorgung, die sich grösstenteils auf erneuerbare Energien abstützt, ist ein anspruchsvolles Unterfangen. Dies gilt sowohl für den Ausbau der Wasserkraft wie auch für jenen der neuen erneuerbaren Energien, die erst am Anfang ihrer Entwicklung stehen. War bisher die Stromversorgung alleinige Aufgabe der Elektrizitätswirtschaft, werden mit dem Ausbau der dezentralen erneuerbaren Energien immer mehr auch Private zu Stromanbietern – mit entsprechenden Konsequenzen für das Stromsystem. Eine Vollversorgung der Schweiz aus erneuerbaren Quellen ist aufgrund der vorhandenen technischen Potenziale grundsätzlich möglich. Es genügt aber nicht, nur die Energiemengen bereitzustellen. Die stark fluktuierende Erzeugung muss auch ins Netz integriert werden können. Eine Herausforderung stellen die Widerstände in der Bevölkerung dar. Es ist zu befürchten, dass sie sich wesentlich verstärken werden, wenn im grossen Stil Windkraft- und Photovoltaikanlagen gebaut werden sollen. Wenn es nicht gelingt, eine von der Bevölkerungsmehrheit getragene Strategie zu erarbeiten, ist der angestrebte Umbau des Energiesystems zum Scheitern verurteilt.

Der (für die Zukunft erwartete) Strompreis ist auch für die Entwicklung des Angebots wesentlich. Die neuen erneuerbaren Energien werden sich längerfristig nur dann auf breiter Front durchsetzen, wenn sie wettbewerbsfähig sind. Es wäre volkswirtschaftlich nicht tragbar, die angestrebte Vollversorgung aus erneuerbaren Quellen durch Subventionen erzwingen zu wollen. Die Strompreise beeinflussen auch die Investitionen in die Entwicklung dieser Technologien. Werden für die Zukunft keine höheren Preise erwartet, gibt es kaum Investitionsanreize, sodass mögliche Kostensenkungen gar nicht realisiert werden.

Die zunehmende Einspeisung von Strom aus fluktuierenden Quellen hat starke Auswirkungen auf das Elektrizitätssystem. Bisher war das Stromangebot auf den Bedarf ausgerichtet: Laufkraftwerke und Kernkraftwerke deckten die Grundlast, die Speicherkraftwerke die Mittel- und Spitzenlast. Mit der steigenden fluktuierenden Einspeisung sinkt der Anteil der Grundlast. Bei einer voll erneuerbaren

Stromversorgung können die Grundlastkraftwerke nicht mehr permanent mit gleicher Leistung produzieren. Es braucht deshalb Kraftwerke, die flexibel eingesetzt werden können, neben Speicherkraftwerken sind dies vor allem Gaskombikraftwerke und Gasturbinen. Allerdings sinkt bei einem flexiblen Einsatz deren Jahresnutzungsdauer und damit ihre Wirtschaftlichkeit, da der Marktpreis weiterhin durch billigere Grenzproduzenten, vor allem Kern- und Kohlekraftwerke, bestimmt wird und nur während kurzen Perioden hohe Erlöse erzielt werden können. Wenn sich die Back-up-Anlagen wirtschaftlich nicht rechnen, besteht das Risiko, dass ungenügend in sie investiert wird.

Bei der Gesetzgebung und der Organisation des Strommarkts ist deshalb im Auge zu behalten, dass die Elektrizitätsversorgung künftig zu einem bedeutenden Teil auf fluktuierender Einspeisung beruhen wird.

Förderstrategien für erneuerbare Energien

Die kostendeckende Einspeisevergütung soll laufend an die aktuellen Gestehungskosten angepasst werden. Mittelfristig soll sie ergänzt werden, zum Beispiel mit einer Quotenregelung mit Zertifikatehandel oder mit einem Ausschreibemodell, die eine grössere Marktnähe und eine stärkere dynamische Anreizwirkung für Innovationen aufweisen.

Der Umbau des Energiesystems stellt hohe Anforderungen an das energiepolitische Instrumentarium. Neben Steuern, Lenkungsabgaben und Vorschriften kommen auch Förderinstrumente in Frage, mit denen erneuerbare Energien gezielt unterstützt werden. Heute ist in der Schweiz und in verschiedenen europäischen Ländern die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) etabliert; sie ist effektiv, um Technologien anzuschieben, aber wirtschaftlich nicht effizient. Die Akademien der Wissenschaften Schweiz unterstützen die Vorschläge des Bundesrates vom 18. April 2012 zur Anpassung der KEV und für weitere Massnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien.

Mittelfristig entscheidend ist, dass das gewählte Förderinstrument die technische und wirtschaftliche Entwicklung beschleunigt. Dies wird am ehesten mit einer Quotenregelung (inklusive Zertifikatehandel) erreicht. Auch ein Ausschreibemodell wäre denkbar. Zusätzlich sollten Energieproduktionsformen belohnt werden, die kontinuierlich oder flexibel abrufbaren Strom erzeugen. Neben der Anwendungsförderung muss weiterhin in Forschung und Entwicklung investiert werden.

Aspekte einer erneuerbaren Stromversorgung im Ausland

Stromimporte sollen möglichst aus erneuerbaren Quellen stammen. Damit Investitionen schweizerischer Elektrizitätsversorgungsunternehmen in ausländische Anlagen für die schweizerische Stromversorgung relevant werden können, braucht es entsprechende Durchleitungskapazitäten, einen integrierten europäischen Strommarkt sowie ein geeignetes Stromabkommen mit der EU.

Die Schweiz entwickelt sich immer mehr zum Stromimporteur und zwar nicht nur wie bereits seit längerem im Winter, sondern zunehmend auch über das ganze Jahr hinweg betrachtet. Dieser Importbedarf wird noch während längerer Zeit andauern, wie auch die bundesrätlichen Energieszenarien bestätigen. Der Verzicht Deutschlands, Österreichs und Italiens auf die Kernkraft und die wegen des Klimawandels angestrebte Reduktion der fossilen Stromerzeugung lassen die Vermutung zu, dass Strom in Europa künftig knapper wird. Dass die Schweiz ihre Stromlücke alleine mit Importen deckt, ist deshalb aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit nicht empfehlenswert.

Wenn Importe unabwendbar sind, dann sollen sie nicht aus Anlagen erfolgen, die in der Schweiz abgelehnt werden. Mit dem Ausstieg aus der Kernkraft ist der Import von Nuklearstrom ebenso unglücklich wie der Import fossil erzeugten Stroms.

Grundsätzlich soll daher erneuerbar erzeugte Elektrizität eingeführt werden.

Investitionen in solarthermische Anlagen in Südeuropa oder Windfarmen in Nordeuropa werden deshalb – falls verfügbar – für die schweizerischen Elektrizitätsunternehmen zu einer bedenkenwerten Option. Damit solche Investitionen tatsächlich einen Beitrag an die schweizerische Stromversorgung leisten können, müssen jedoch mehrere Bedingungen erfüllt sein: Es braucht Durchleitungskapazitäten, um den Strom in die Schweiz zu führen, das europäische System muss als integraler Strommarkt funktionieren, und der Zugriff auf die entsprechenden Produktionsanlagen muss durch ein bilaterales Stromabkommen gesichert werden. Dieses muss dem Umstand Rechnung tragen, dass die EU-Länder mit der Richtlinie über die Förderung von erneuerbaren Energien (RES) anspruchsvolle Ausbauvorgaben zu erfüllen haben. Da die EU von der Schweiz entsprechend grosse Anstrengungen verlangt, muss Strom aus schweizerischen Investitionen im EU-Raum im bilateralen Stromabkommen als schweizerische Produktion anerkannt werden.

Fossile Stromerzeugung

Auf den Bau von fossilen Kraftwerken im Inland soll möglichst verzichtet werden. Werden sie aus Gründen der Netzstabilität trotzdem gebaut, sollen die CO₂-Emissionen vollständig kompensiert werden, damit die Erreichung der Schweizer Klimaziele nicht in Frage gestellt wird. Investitionen in ausländische fossile Kraftwerke sind nicht sinnvoll.

Die Energiestrategie 2050 des Bundes zeigt, dass sich in allen Szenarien eine Stromlücke öffnet, die sich selbst mit starken nachfragesenkenden Massnahmen und einer massiven Förderung der erneuerbaren Energien nicht vollständig decken lässt. Da auf den Bau von neuen Kernkraftwerken verzichtet werden soll, könnten sich die inländischen Stromproduzenten veranlasst sehen, als Ersatz für die Kernkraftwerke neue Gaskombikraftwerke oder fossile Wärmekraftkopplungsanlagen zu bauen.

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz halten ein solches Ausweichen für verfehlt; sie befürworten vielmehr den konsequenten Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion. Ihrer Ansicht nach kommen fossile Kraftwerke nur als Notlösung in Frage und sind aus Sicht des Klimaschutzes nur zulässig, wenn sie die Erreichung der Schweizer Klimaziele nicht gefährden. Dazu müssen die CO₂-Emissionen vollständig kompensieren werden, so wie dies das geltende CO₂-Gesetz und der Bundesrat verlangen. Die Akademien der Wissenschaften Schweiz müssen allerdings zur Kenntnis nehmen, dass der Bundesrat in seiner Information vom 18. April 2012 die fossile Stromerzeugung zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit als notwendig erachtet.

Investitionen in ausländische fossile Kraftwerke bedeuten eine Auslagerung der Klima- und Umweltverantwortung und sind daher aus ethischen Gründen abzulehnen.

Kernkraft

Damit die Schweizer Kernkraftwerke bis zu ihrer Abschaltung sicher weiterbetrieben werden können, sollen die Sicherheitsforschung fortgeführt und die daraus resultierenden Massnahmen umgesetzt werden. Dies gilt auch für die Forschung zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle und die Vorbereitungen zur Umsetzung der entsprechenden Lagerkonzepte. Die Forderung nach Diversität und Flexibilität impliziert ebenfalls, dass die nukleare Forschung weitergeführt wird, insbesondere hinsichtlich der Entwicklung neuer Reaktorkonzepte. Sie dient auch der Ausbildung des notwendigen Fachpersonals.

Für die dicht besiedelte Schweiz ist es zwingend notwendig, dass sich kein Reaktorunfall mit systemgefährdenden Auswirkungen ereignet. Investitionen in Forschung und Nachrüstungen sollen helfen, die Risiken der heutigen Kraftwerke auf tiefem Niveau zu halten. Anlagen der Generation III/III+ gelten zwar als viel sicherer, fallen aber aufgrund der politischen Grundsatzentscheide und

der vermuteten mangelnden Akzeptanz in der Bevölkerung als Option zumindest mittelfristig ausser Betracht.

Die von den Kernkraftwerken produzierten radioaktiven Abfälle müssen von der Umwelt für sehr lange Zeit ferngehalten werden. Mit der Tiefenlagerung ist grundsätzlich ein Konzept vorhanden, wie diese Abfälle entsorgt werden könnten. Dennoch besteht auch in diesem Bereich weiterer Forschungsbedarf.

Stromnetz

Beim Stromnetz besteht bereits heute ein grosser Ausbau- und Erneuerungsbedarf. Zusätzliche Anforderungen ergeben sich durch die neue Energiepolitik. Damit die Ausbauten zeitgerecht realisiert werden können, sollen die Bewilligungsverfahren gestrafft werden.

Ein leistungsfähiges Netz ist für die Versorgungssicherheit ebenso wichtig wie die Stromproduktion und hat daher eine erhebliche volkswirtschaftliche Bedeutung. Eine bewusste Inkaufnahme von Schwachstellen wäre unverantwortlich.

Beim Übertragungsnetz besteht aufgrund des fortgeschrittenen Alters der Anlagen ein grosser Investitionsbedarf für Erneuerungen. Zusätzlich ergibt sich ein Ausbaubedarf, damit neue Pumpspeicherkraftwerke integriert und Engpässe behoben werden können. Der Bundesrat hat die dringend zu realisierenden Leitungsbauprojekte im Sachplan Übertragungsleitungen festgelegt. Diese Projekte sollen nun zügig realisiert werden. Damit die notwendigen Ausbauten zeitgerecht getätigt werden können, soll das Bewilligungsverfahren gestrafft werden.

Die effiziente und sichere Integration der dezentralen und teilweise fluktuierenden Stromeinspeisung erfordert sowohl einen Ausbau des bestehenden Netzes als auch die Entwicklung eines intelligenten Netzes (Smart Grid) auf der Verteilebene. Zudem wird mit steigender Einspeisung in die unteren Netzebenen die Koordination zwischen Übertragungsnetz und Verteilnetzen wichtiger.

Stromspeicherung

Wenn die Stromerzeugung aus neuen erneuerbaren Quellen einen grösseren Anteil zur Energieversorgung leisten soll, müssen entsprechende zentrale und dezentrale Speichermöglichkeiten geschaffen werden.

Windkraft und Photovoltaik produzieren grösstenteils nicht so, wie es der Nachfrage entspricht. Da Einspeisung und Verbrauch jederzeit übereinstimmen müssen, lässt sich eine Stromversorgung, die sich überwiegend auf erneuerbare Quellen abstützt, nur realisieren, wenn auch entsprechend ausreichende Speicherkapazitäten zur Verfügung stehen. Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke spielen daher auch künftig eine wichtige Rolle für die Stromversorgung. Nach der Realisierung der im Bau oder in Projektierung befindlichen Anlagen wird eine Pumpspeicherung von etwa 5 GW zur Verfügung stehen. Dies genügt noch nicht, um bei einer voll erneuerbaren Stromversorgung die Leistungsüberschüsse aus der Windkraft und der Photovoltaik zu verwerten. Zudem muss künftig mehr Energie vom Sommer auf den Winter umgelagert werden. Deshalb muss nicht nur die Produktionskapazität, sondern auch die Speicherkapazität erhöht werden. Die Pumpspeicherung ist heute die kostengünstigste Möglichkeit zur Stromspeicherung. Allerdings ändert sich ihr Einsatz: Bisher diente sie in erster Linie dazu, billigen Strom aus Kohle- und Kernkraftwerken zu verwerten. Künftig geht es darum, zeitlich schlecht planbare Leistungsüberschüsse aus der Windkraft und der Photovoltaik abzubauen und höhere Regelleistungen einzuspeisen. Die wirtschaftlichen Bedingungen der Pumpspeicherung wandeln sich also.

Andere Speichertechnologien wie Druckluftspeicherkraftwerke, Erzeugung und Lagerung von Wasserstoff durch Elektrolyse oder Akkumulatoren sind heute nur in besonderen Fällen konkurrenzfähig. Thermische Energiespeicher (Wärmespeicher) werden in solarthermischen Kraftwerken standardmässig eingesetzt und erlauben eine Stromproduktion praktisch rund um die Uhr. Bei einer stark

dezentralisierten Stromerzeugung erscheint eine dezentrale Speicherung grundsätzlich sinnvoll, insbesondere wenn die Produzenten von Elektrizität aus erneuerbaren Quellen in den Strommarkt einbezogen werden sollen.

Effizienz und Suffizienz

Die Realisierung eines nachhaltigen Elektrizitätssystems setzt wesentlich verbesserte Effizienz und höhere Suffizienz voraus. Bund und Kantone sollen zusammen mit den beteiligten Akteuren die dazu geeigneten Rahmenbedingungen schaffen.

Wenn das Elektrizitätssystem auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden soll, muss der Strom wesentlich effizienter genutzt werden als heute. Damit das Wirtschaftswachstum, die Bevölkerungszunahme sowie die Elektrifizierung im Wärme- und Transportsektor nicht zu einer Erhöhung des Verbrauchs führen, müssen Effizienz- und Suffizienzgewinne möglichst realisiert werden. Dabei spielen folgende Faktoren eine wichtige Rolle:

- **Strompreis:** Bleibt der Strompreis auf dem heutigen Niveau, werden Effizienz- und Suffizienzpotenziale kaum realisiert. Eine markante Preiserhöhung ist bereits zu erwarten, wenn Marktverzerrungen beseitigt werden. Wissen die Nutzer, dass die Preise längerfristig substantiell steigen werden, haben sie einen Anreiz, in Effizienzmassnahmen zu investieren. Allerdings kann ein hoher Strompreis auch zu einer Verlagerung auf fossile Energieträger führen.
- **Verbrauchsmuster:** Veränderte Verbrauchsmuster können einen wesentlichen Beitrag zur effizienteren Stromnutzung leisten. Neben höheren Strompreisen lassen sie sich auch durch neue Stromangebote, «smart metering», veränderte Alltagsroutinen und gesellschaftliche Werthaltungen erzielen.

- Soziale Lernprozesse: Effizienz und Suffizienz gehören noch nicht zu den sozialen Grundnormen. Die geforderten Effizienz- und Suffizienzziele lassen sich aber ohne neue Normbildungen nicht erreichen. Dies ist auf unterschiedlichen Ebenen möglich: Lebensqualität wird nicht mehr primär über den Konsum von Gütern definiert, suffiziente Verhaltensweisen erhalten eine höhere soziale Stellung und Energielabels regen zum sparsamen Energieverbrauch an.
- Politische Instrumente: Welche sozialen Lernprozesse stattfinden, lässt sich weder steuern noch vorhersagen. Es ist aber möglich, durch geeignete Rahmenbedingungen Lernprozesse zu fördern. Daneben können auch gezielte Massnahmen ergriffen werden: Gerätestandards werden kontinuierlich verschärft, bestimmte Stromanwendungen werden verboten oder der Stromverbrauch wird mit einer Lenkungsabgabe direkt beeinflusst.

Liberalisierung des Strommarkts

Die Marktöffnung für alle Kundenkategorien soll so rasch als möglich umgesetzt werden. Die schweizerische Netzgesellschaft Swissgrid soll eine unabhängige Unternehmensstruktur erhalten.

Seit 2009 ist in der Schweiz der freie Marktzugang für Grosskunden möglich. Nun muss der Markt auch noch für alle anderen Konsumenten geöffnet werden. Dabei geht es nicht nur um die freie Wahl des Lieferanten. Der Strommarkt kann nur dann unverzerrt funktionieren, wenn die Strompreise die wirklichen Kosten widerspiegeln. Bisher nicht berücksichtigte externe Kosten müssen daher in die Preisbildung einfließen. Damit wird auch die ökonomische Grundlage für die «Neue Energiepolitik» geschaffen.

Die Strommarktliberalisierung erfordert die Trennung von Produktion und Netz, da dieses ein natürliches Monopol darstellt, das reguliert werden

muss. Das Übertragungsnetz wird spätestens 2013 in das Eigentum der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid übergehen. Damit der Markt funktionieren kann, ist es wichtig, dass Swissgrid künftig unabhängig von den Stromproduzenten und regionalen Verteilern handeln kann.

Die Liberalisierung hat beachtliche Auswirkungen auf die Stromwirtschaft. Mit der Ausgliederung des Übertragungsnetzes ändert sich ihre Struktur. Die volle Marktöffnung führt für Versorger und Stromkonsumenten zu neuartigen Geschäftsbeziehungen, nicht zuletzt weil es künftig möglich sein soll, dass die Stromkunden auf Preissignale reagieren können. Schliesslich stellt sich mit Blick auf die Liberalisierung und die steigende dezentrale Stromeinspeisung auch die Frage, ob der sehr kleinteilige Aufbau der Elektrizitätswirtschaft mit vielen kleinen Elektrizitätsversorgungsunternehmen zukunftsfähig ist.

Die schweizerische Stromversorgung im europäischen Kontext

Das schweizerische Elektrizitätssystem soll im Interesse der sicheren und wirtschaftlichen Versorgung des Landes im europäischen System integriert bleiben. Dazu ist ein Stromabkommen mit der EU unverzichtbar.

Das schweizerische Elektrizitätssystem ist heute integraler Bestandteil des europäischen Strommarkts. Dieser wird sich aus technischen, wirtschaftlichen und politischen Gründen stark verändern. Dies hat auch Folgen für die Schweiz: Die Entwicklung in der EU beeinflusst nicht nur die schweizerische Gesetzgebung, sondern auch die Versorgungssicherheit, die Stromflüsse und damit die Anforderungen an das Übertragungsnetz. Für die Schweiz ist es wichtig, dass sie an ein künftiges europäisches Höchstspannungsnetz (Super Grid) angeschlossen wird. Die Abhängigkeit ist aber nicht einseitig: Auch der europäische Stromverbund ist auf ein leistungsfähiges schweizerisches Stromsystem angewiesen.

Die Schweiz und die EU haben deshalb beide ein Interesse an einer intensiven Zusammenarbeit. Da-

mit die schweizerischen Elektrizitätswerke und Behörden bei der Weiterentwicklung des europäischen Verbundsystems mitwirken können, braucht es das bereits erwähnte bilaterale Abkommen. Sollte dieses nicht zustande kommen, entstehen für die Schweiz beträchtliche Risiken. Die Verhandlungen zu einem solchen Stromabkommen sind zwar im Gange, gestalten sich aber schwierig. So hat die Schweiz die von der EU geforderte Marktliberalisierung bisher nicht realisiert. Dazu kommen zwei weitere strittige Punkte: der schweizerische Durchleitungsvorrang für Elektrizität aus französischen Kernkraftwerken und die Übernahme der EU-Richtlinie über die Förderung von erneuerbaren Energien (RES).

Neuausrichtung der Elektrizitätsversorgungsunternehmen

Die Elektrizitätsversorgungsunternehmen sollen neue Businessstrategien entwickeln, welche Rendite und verkaufte Menge voneinander entkoppeln. Dazu braucht es Geschäftsfelder und Dienstleistungen, die auf Effizienz ausgerichtet sind.

Wenn Wirtschaftsakteure Erfolg haben wollen, müssen sie sich an veränderte Rahmenbedingungen anpassen. Wird das bisherige Elektrizitätssystem so umgestaltet, dass die eingangs formulierten Ziele bis 2050 erreicht werden, stehen den Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) weitreichende Anpassungsaufgaben bevor. Obwohl letztlich jede Unternehmung diese Aufgabe für sich selbst wird lösen müssen, sollen dabei folgende Punkte beachtet werden:

- **Strukturen:** Ob die anstehenden Aufgaben mit der bestehenden Struktur der Elektrizitätswirtschaft gelöst werden können, ist fraglich, weil sowohl die Diversifizierung der Produktion als auch die Eingliederung in den europäischen Strommarkt zu veränderten Rahmenbedingungen führen werden.
- **Businessmodelle:** Alle EVU müssen sich auf zwei zentrale Herausforderungen einstellen:

Der Strommarkt wird weiter liberalisiert. Und wenn Effizienz und Suffizienz zu zentralen Zielen werden, werden die EVU ihre Gewinne künftig nicht mehr primär über die Menge an verkauftem Strom erwirtschaften, sondern mit neuen Angebots- und Kundenbeziehungsmodellen.

- **Investitionen:** Dass die EVU einen Grossteil der Investitionen für den Umbau des Stromsystems leisten müssen, steht ausser Frage. Wo, in welche Anlagen und mit welchen Strategien sie investieren, bleibt im Rahmen der staatlichen Vorgaben letztlich eine betriebswirtschaftliche Entscheidung.

Forschung, Entwicklung und Lehre

Die energiebezogene Forschung, Entwicklung und Lehre sollen verstärkt werden. Dabei ist insbesondere auch die sozioökonomische Forschung substanziell auszubauen.

Die vorstehenden Überlegungen machen deutlich, dass der Umbau des Stromsystems mehrere Jahrzehnte erfordern wird. Dabei spielen die Fortschritte in Wissenschaft und Technik eine massgebende Rolle. Je effektiver Forschung und Entwicklung vorangetrieben werden, desto ökonomischer und ökologischer kann der Umbauprozess gestaltet werden. Dabei geht es zunächst einmal um naturwissenschaftlich-technische Aspekte, etwa um verbesserte Energietechnologien (Photovoltaik, Biomasse) oder um neu zu entwickelnde Technologien (Stromspeicherung, Smart Grid, Geothermie, Kernreaktoren der Generation IV). Der technische Fortschritt ist eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung, dass die Infrastruktur zur Bereitstellung und Nutzung der Elektrizität ökonomisch und ökologisch verbessert werden kann. Deshalb erfordert der Umbau des Elektrizitätssystems auf der anderen Seite auch einen massiven Ausbau der wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Forschung. Ökonomische Fragen betreffen etwa die volkswirtschaftlichen Auswirkungen, die

Internalisierung externer Kosten oder die optimale Gestaltung von Lenkungsmaßnahmen oder des Strommarkts. Ebenso relevant sind sozialwissenschaftliche Fragen etwa zum Konsumentenverhalten, zum Umgang mit Unsicherheiten und Risiken, zur Akzeptanz neuartiger Technologien, zur gesellschaftlichen Organisation (Selbstversorgung von Regionen, Innovationsfähigkeit von Strukturen) oder zu gesellschaftlichen Lernprozessen. Wichtig ist auch der Systemaspekt, der sich zum Beispiel in der Netzproblematik und in der internationalen Vernetzung äussert. Es gilt, die Komplexität des gesamten sozio-technischen Systems «Stromversorgung» mitsamt den Rückkopplungen zu verstehen. Konkreter Forschungsbedarf besteht insbesondere bei folgenden Punkten:

- Entwicklung eines Energiesystemmodells, das alle Produktionsarten, die Übertragung und Speicherung des Stroms, die Importe und Exporte sowie den Verbrauch umfasst und Kosten, Risiken, Akzeptanz, Ressourcenverbrauch, wirtschaftliche Auswirkungen und Umweltbelastung berücksichtigt;
- Entwicklung von Szenarien, wie konkrete Vorgaben (Verfügbarkeit von Strom und Wärme, Preise, Umwelanforderungen) gesellschaftlich, ökonomisch und politisch umgesetzt werden können unter Berücksichtigung der möglichen internationalen Entwicklung;
- Elektrizitätsspeicherung sowie thermische beziehungsweise thermochemische Energiespeicherung: Entwicklung, Lebenszyklusanalyse, Kosten und Risiken;
- Optimierung der Materialflüsse sowohl bei häufigen als auch bei seltenen Materialien.

Die Schweiz verfügt mit den beiden ETHs, den Universitäten und den Fachhochschulen, mit einer innovativen Wirtschaft, aber auch mit bewährten Förderinstitutionen (Schweizerischer Nationalfonds SNF, Kommission für Technologie und Innovation

KTI, Ressortforschung) über eine ausgezeichnete Basis, um die dringend nötigen Fortschritte zu erzielen. Eine kontinuierliche, verstärkte Förderung von Forschung und Entwicklung drängt sich nicht nur auf, weil so der Umbau des Stromsystems möglichst wirtschaftlich erfolgen kann, sondern weil sie auch zu einem Klima der Innovation beiträgt und so die schweizerische (Clean-Tech-)Industrie unterstützt. Die Akademien der Wissenschaften Schweiz begrüssen daher, dass der Bundesrat gemäss seinem Entscheid vom 18. April 2012 wieder vermehrt Mittel für Pilot- und Demonstrationsanlagen einsetzen will.

Der Um- und Ausbau des gesamten Energiesystems erfordert in der Forschung, der Entwicklung und der Umsetzung ausreichende Fachkräfte – ob Handwerker oder Forscherin. Lehre und Ausbildung sind entscheidende Faktoren für den Erfolg der Energiestrategie 2050 und sollten daher auf allen Ausbildungsstufen verstärkt werden.

6.5 Schlusswort

Der angestrebte Umbau des Elektrizitätssystems ist eine gigantische, in ihren systemischen Zusammenhängen noch weitgehend unerforschte Herausforderung. Der Aufbau einer voll erneuerbaren Stromversorgung benötigt grosse Investitionen. Er ist umso eher möglich und umso kostengünstiger, je tiefer der Verbrauch ist. Damit könnten auch die Auswirkungen auf Umwelt und Landschaft gemindert werden. Dabei muss nicht nur die Stromversorgung auf erneuerbare Quellen umgestellt werden; auch die fossilen Brenn- und Treibstoffe, welche heute den überwiegenden Teil des Energieverbrauchs decken, sind langfristig durch erneuerbare Energien zu ersetzen. Unabhängig vom politischen Willen ist die Umstellung auf erneuerbare Energiequellen eine Aufgabe, die mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird; sie ist umso schwieriger zu lösen, je länger mit der Umsetzung zugewartet wird.

Die Umgestaltung des Systems im Sinne der «Neuen Energiepolitik» darf als gesellschaftliches Experiment betrachtet werden. Der Umbau des Elektrizitätssystems erfordert nicht nur einen technologischen Wandel, sondern auch einen ge-

sellschaftlichen. Veränderungen auf Seiten der Gesellschaft beeinflussen den technologischen Wandel genauso wie Technologien gesellschaftliche Strukturen. Die Anpassung an eine gänzlich veränderte sozio-ökologische Umwelt wird alle Teile der Gesellschaft betreffen und ist deswegen eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Dabei versteht heute niemand, wie dieser Umbau vollzogen werden soll und was er alles beinhaltet. Es gilt allerdings, ihn so anzupacken und zu gestalten, dass die wesentlichen Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können.

Drei Dinge sind dabei zu vermeiden: reines Wunschdenken, blinder Aktionismus und eine Handlungsblockade. Reines Wunschdenken liegt vor, wenn zum Beispiel die Geothermie als fester Beitrag an die Stromversorgung eingeplant wird, obwohl diese Technologie noch viel Forschung und Entwicklung benötigt. Blinder Aktionismus ist gegeben, wenn die Ziele mit Schnellschüssen erreicht werden sollen, zum Beispiel durch Aufhebung des Deckels der im Rahmen der KEV für die Photovoltaik verfügbaren Mittel. Eine Handlungsblockade schliesslich besteht etwa dann, wenn für die Umsetzung der neuen Energiepolitik benötigte Instrumente und Mittel politisch verweigert werden.

Dieser Bericht hat massgebliche Handlungsfelder angesprochen und mögliche Handlungsoptionen skizziert. Deutlich geworden ist, dass es keinen bereits geebneten Weg gibt und dass alle Optionen neben Vorteilen immer auch Nachteile haben. Die grosse Aufgabe besteht darin, eine Balance zwischen den verschiedenen Vor- und Nachteilen zu finden. Das betrifft nicht nur die Technologien, sondern insbesondere auch die Menschen, die zu Recht eine ausgewogene Verteilung von Lasten und Nutzen erwarten. Hält man sich vor diesem Hintergrund die Grösse der Aufgabe vor Augen und berücksichtigt, dass in einem demokratischen Land ein gesellschaftlicher Umbau nur freiheitlich vollzogen werden kann, dann kommen wir nicht umhin, nach so etwas wie einem neuen Gesellschaftsvertrag als wichtigen Rahmen für die Realisierung dieses Umbaus zu verlangen. Die Schweiz kennt einige Beispiele wie etwa die Entwicklung der Altersvorsorge oder die Realisierung der Bahn

2000 und der Neat. Für derartige Projekte braucht es nicht nur einen starken politischen Willen. Es braucht auch entsprechende Rahmenbedingungen und den Willen vieler individueller (Haushalte, Unternehmen) und organisierter Akteure (EVU, NGO, Medien), ihren Beitrag zur Erreichung des gemeinsamen Ziels zu leisten.