

JENSEITS VON NUKLEAR

Analyse aktueller Studien zur Schweizer Stromzukunft und
Konsequenzen für die Schweizer Strom-Aussenpolitik

foraus-Diskussionspapier* – Nr. 16, Juli 2013

David Noth, Dr. sc. nat., arbeitet bei einer internationalen Rückversicherung. Kontakt: noth.david(at)gmail.com

Stephan Schnez, Dr. sc., arbeitet als Physiker im Forschungszentrum eines internationalen Elektrotechnikkonzerns. Kontakt: stschnez(at)gmx.de

Kathrin Volkart, MSc ETH, setzt sich beruflich mit Energiesystemen auseinander. Kontakt: kathrin.volkart(at)gmx.ch

* Das vorliegende Diskussionspapier des *foraus*-Programms Umwelt-, Verkehr- und Energieaussenpolitik gibt die persönliche Meinung der Autorinnen und Autoren wieder und entspricht nicht zwingend derjenigen des Vereins *foraus*.

EXECUTIVE SUMMARY

Die Schweizer Pläne, aus der Kernenergie auszusteigen und ambitionierte CO₂-Reduktionsziele umzusetzen, machen einen Umbau der heute vorhandenen Stromversorgung unumgänglich. Die Veränderungen von Stromverbrauch und Stromproduktion werfen zahlreiche ökonomische, juristische, institutionelle und technische Fragen auf. Dieses Diskussionspapier setzt sich mit den aktuellen technischen Veränderungen im Strombereich und den daraus folgenden aussenpolitischen Herausforderungen in einem europäischen Kontext auseinander. Die zentrale Frage lautet: Wie ist die Bereitstellung einer technisch effizienten und nachhaltigen Stromversorgung für die Schweiz in Zukunft zu erreichen?

Herausforderung
Atomausstieg und
CO₂-Reduktion

Fünf aktuelle Studien (erstellt vom Bundesamt für Energie, von der ETH Zürich, vom Energie Dialog Schweiz, von swisscleantech und vom Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen) untersuchen die künftige Entwicklung von Stromangebot und -nachfrage in der Schweiz. Beim Vergleich dieser Studien wird unter anderem folgendes deutlich: um die Nachfrage auf heutigem Niveau weiterhin decken zu können, reichen die derzeitigen Schweizer Kapazitäten aus Wasserkraft und neuen Erneuerbaren nicht aus. Daher sollen laut den Studien die Inlandskapazitäten stark ausgebaut werden, um eine grösstmögliche Stromautarkie zu gewährleisten (Inlandstrategie). Aufgrund der Analyse der Studien und des Schweizer Stromhandels erscheint eine solche jedoch wenig sinnvoll, denn:

Studien zur
Stromzukunft und
Inlandstrategie

Inlandstrategien sind ineffizient

Inlandstrategien sind zu eng gefasst. Für den Zubau neuer Kapazitäten kommen primär Photovoltaik- und Erdgaskraftwerke in Frage. Erstere bedingen in der relativ sonnenarmen Schweiz die Nutzung grosser Flächen und eine Strategie zum Umgang mit der unregelmässigen Stromeinspeisung, während letztere den Bestrebungen zur Reduktion der CO₂-Emissionen widersprechen. Eine Inlandstrategie ist daher technisch ineffizient und widerspricht den Bemühungen zum Klimaschutz.

Inlandstrategien
technisch ineffizient

Die Stromautarkie ist eine Illusion

Autarkieargumente sind nicht zeitgemäss. Bereits heute gibt es keine Stromautarkie, da die Schweiz über das Jahr betrachtet grosse Mengen an Strom importiert und exportiert. Nur die nahezu ausgeglichene Jahresbilanz suggeriert eine Unabhängigkeit, die in Wirklichkeit nicht existiert.

Stromautarkie
existiert nicht

Daher sollten folgende Massnahmen ergriffen werden, um eine effiziente und nachhaltige Schweizer Stromversorgung zu erreichen:

Europäischer Blickwinkel statt Autarkie

Der Wunsch nach einer möglichst weitgehenden Stromautarkie und einer daraus resultierenden Inlandstrategie ist aufzugeben. Im Gegensatz zu den analysierten Studien darf das Ausland nicht als passive Quelle und Senke von Strom betrachtet werden, sondern es ist ein aktiver Teil einer zukunftsorientierten Lösung. Die Schweizer Stromversorgung muss einen europäischen Blickwinkel einnehmen: Stromerzeugung und –speicherung finden am besten dort statt, wo optimale Voraussetzungen für die jeweilige Technologie herrschen. Die verschiedenen geographischen Vorteile für eine effiziente Stromerzeugung müssen genutzt werden, um eine verlässliche und europaweite Stromversorgung mit erneuerbaren Energien garantieren zu können.

Europäischen
Blickwinkel
einnehmen

Schweizer Vorreiterrolle

Die Schweiz sollte daher mit anderen europäischen Ländern, die ähnliche Ziele bezüglich der Stromversorgung haben oder heute schon ihren Bedarf zu grossen Teilen durch erneuerbare Energien decken (z.B. Deutschland, Belgien, Dänemark und Norwegen), eine Vorreiterrolle einnehmen. Dies bedeutet, dass diese Länder in Studien und Pilotprojekten eine gemeinsame Stromstrategie entwickeln, welche die geographischen Vorteile der einzelnen Länder für die Erzeugung und Speicherung von Strom einbeziehen. Die Rolle der Schweiz in einem grenzüberschreitenden Konzept ist die einer Stromdrehscheibe im Herzen Europas und einer „Batterie“ mit Pumpspeicherkraftwerken in den Alpen. Andere Länder können sich im Laufe der Zeit den Vorreitern anschliessen. Das Ziel für die Schweiz sollte also die Entwicklung und Forcierung einer Stromstrategie unter Einbezug von europäischen Partnern (kurz: eine europäische Stromstrategie) sein.

Schweiz als
Vorreiter mit
europäischen
Partnern

Stromabkommen mit der EU

Für die Entwicklung einer europäischen Stromstrategie ist der Abschluss eines Stromabkommens mit der EU von grossem Vorteil, da es allen Teilnehmern eine Gleichbehandlung zusichern wird. Gemeinsame Gremien können eine wichtige Plattform für den Austausch und die Koordination mit europäischen Partnern bieten. Für das in diesem Papier diskutierte Problem der Bereitstellung einer technisch effizienten und nachhaltigen Stromversorgung für die Schweiz kann ein liberalisierter europäischer Strommarkt unter den richtigen Rahmenbedingungen effiziente und nachhaltige Lösungen liefern. Allerdings gibt ein Stromabkommen keine direkte Antwort darauf, wie dies geschehen soll. Zudem sind die Verhandlungen mit der EU wegen ungeklärten institutionellen Fragen blockiert. Um mit anderen europäischen Staaten eine Vorreiterrolle in der Gestaltung der zukünftigen Stromversorgung einzunehmen, erscheint ein Stromabkommen mit der EU vorläufig nicht als zwingende Voraussetzung. Daher darf nicht länger auf dessen Abschluss gewartet werden, um den Umbau der Stromversorgung möglichst früh, koordiniert und effizient einzuleiten. Wegen der offensichtlichen Vorteile ist der Abschluss eines Stromabkommens dennoch weiterhin entschlossen zu verfolgen.

Stromabkommen
wichtig

INHALTSVERZEICHNIS

Executive Summary	2
1 Einleitung	5
2 Rahmenbedingungen	6
2.1 <i>Stromerzeugung und -verbrauch der Schweiz</i>	6
2.2 <i>Innenpolitischer Rahmen</i>	9
2.3 <i>Aussenpolitischer Rahmen</i>	10
3 Studien zur Entwicklung von Stromangebot und Stromnachfrage bis 2050.....	12
3.1 <i>Kurzvorstellung der Studien</i>	12
3.2 <i>Vergleich der Studien</i>	13
3.3 <i>Effizienz und Suffizienz</i>	15
3.4 <i>Produktion im Inland</i>	15
3.5 <i>Schlussfolgerungen für die Inlandproduktion</i>	17
4 Idee einer Stromstrategie unter Einbezug von europäischen Partnern.....	18
4.1 <i>Herausforderungen bei Stromimporten</i>	18
4.2 <i>Stromtausch als integraler Bestandteil der zukünftigen Stromversorgung</i>	18
4.3 <i>Forderungen an die Schweizer Aussenpolitik</i>	20
5 Fazit.....	22
6 Anhang.....	23
6.1 <i>Ausführungen zu Effizienz und Suffizienz</i>	23
6.2 <i>Nicht-Nukleare Technologien zur Stromerzeugung im Inland</i>	24
6.3 <i>Net Transfer Capacities</i>	26
7 Literaturverzeichnis.....	27

1 EINLEITUNG

Nach dem verheerenden Erdbeben vom März 2011 in Japan sowie der darauffolgenden Havarie von Kernreaktoren in der Präfektur Fukushima entbrannte weltweit eine Diskussion über die Nutzung der Kernenergie. Auch in der Schweiz wurde das Thema in den Medien, der Gesellschaft und der Politik engagiert diskutiert. In diesem Zusammenhang sowie im Kontext einer zukünftigen nachhaltigeren Stromversorgung¹ beschlossen der Bundesrat und die beiden Kammern des Parlaments die Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke nach dem Ende ihrer sicherheitstechnischen Laufzeit von voraussichtlich 50 Jahren. Zudem soll auf den Neubau von Reaktoren verzichtet werden. Bereits davor hatte sich die Schweiz zum Ziel gesetzt, CO₂-Emissionen zu reduzieren, um zu den weltweiten Anstrengungen für den Klimaschutz ihren Teil beizutragen. Das Parlament verabschiedete 2011 ein CO₂-Gesetz, das als zentrales Ziel die Reduktion der inländischen CO₂-Emissionen um 20% bis 2020 gegenüber denjenigen von 1990 beinhaltet.

Atomausstieg und
CO₂-
Reduktionsziele

Die Schweizer Stromversorgung wird deshalb zukünftig grossen Veränderungen unterworfen sein. Dieses Diskussionspapier schlägt ein Vorgehen in die Richtung einer nachhaltigen Schweizer Stromversorgung in einem europäischen Kontext vor. Dazu wird zunächst die gegenwärtige Situation in Kapitel 2 dargestellt. Diese ist einerseits durch die heutige Stromerzeugung und den heutigen Verbrauch charakterisiert. Andererseits bestimmen der innen- und aussenpolitische Rahmen, nämlich der beschlossene Atomausstieg, die Reduktionsziele für Treibhausgase sowie die Verhandlungen zum Stromabkommen mit der EU, die weiteren Entwicklungen.

Heutige Situation
und Herausforderungen

Verschiedene Studien diskutieren Szenarien für das Stromangebot und die –nachfrage bis zum Jahre 2050. Sie wurden durch das Bundesamt für Energie, den Wirtschaftsverband swisscleantech, den Energie Dialog Schweiz, die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und dem Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen erstellt. Die Studien werden in Kapitel 3 vorgestellt und in ihren zentralen Ergebnissen miteinander verglichen. Zudem wird aufgezeigt, welche Konsequenzen die Vorschläge der Studien bezüglich Flächenbedarfs und CO₂-Ausstosses hätten.

Studien zur
Schweizer
Stromzukunft

In Kapitel 4 wird auf Stromimporte eingegangen und eine nachhaltige Stromversorgung in einem europäischen Kontext skizziert. Basierend darauf und auf den Ergebnissen der vorherigen Kapitel werden dann Schlussfolgerungen für eine Schweizer Stromversorgung der Zukunft getroffen und aussenpolitische Forderungen formuliert.

Stromimporte als
Strategie

Das vorliegende Diskussionspapier schliesst mit einem Fazit in Kapitel 5, in dem die zentralen Ergebnisse und Folgerungen dargestellt werden.

¹ Dieses Diskussionspapier bezeichnet die Stromversorgung dann als nachhaltig, wenn der Strom aus praktisch unerschöpflichen (z.B. solare Strahlung, Wind, Wasser) oder sich schnell regenerierenden Quellen (z.B. Holz) stammt.

2 RAHMENBEDINGUNGEN

In diesem Kapitel wird der Rahmen abgesteckt, in dem sich jede Strategie zur Schweizer Stromzukunft bewegen muss. Zu den Rahmenbedingungen zählen neben Stromerzeugung und –verbrauch der Schweiz innenpolitische Entscheidungen wie Atomausstieg und CO₂-Gesetz sowie ausserpolitische Herausforderungen bezüglich eines Stromabkommens mit der Europäischen Union.

2.1 STROMERZEUGUNG UND -VERBRAUCH DER SCHWEIZ

Strom kann nicht so leicht wie andere Energieträger (z.B. Erdgas, Erdöl) gelagert und gespeichert werden. Dies bedingt, dass zu jeder Zeit mindestens so viel Strom produziert wie nachgefragt wird. Deshalb ist es für eine stabile Versorgung von grösster Bedeutung, dass die Erzeugung und der Verbrauch von Strom steuer- und planbar sind.

Speicherung von Strom

Es wird unterschieden zwischen Bandlast bzw. Bandproduktion und Spitzenlast bzw. Spitzenproduktion. Bandenergie entspricht dem „Sockel“ von Stromangebot und –nachfrage, also der im Tagesverlauf konstanten Energiemenge. Typische Bandenergieproduzenten sind heute Kern-, Kohlekraftwerke und Laufwasserkraftwerke. Bei Spitzenenergie spricht man von dem, was bei Stromangebot und –nachfrage über die Bandenergie hinausgeht. Spitzenproduktion erfolgt heute typischerweise durch Speicherkraftwerke und Gasturbinen.

Bandlast und Spitzenenergie

2.1.1 STROMERZEUGUNG DER SCHWEIZ 2010

Die Stromproduktion der Schweiz im Jahr 2010 betrug 66.3 TWh. Sie basierte auf zwei grossen Pfeilern: der Wasserkraft und der Kernenergie (Abbildung 1). Während die Kernenergie 25.2 TWh zur Schweizer Stromerzeugung 2010 beitrug, waren es für die Wasserkraft aus Speicherseen 21.4 TWh und aus Flüssen 16.1 TWh. Fossil befeuerte Kraftwerke, Kehrichtverbrennungsanlagen, neue erneuerbare Energien (Photovoltaik, Wind, Kleinwasserkraft, Biomasse, Geothermie) und weitere Stromerzeugung ergänzten das Angebot um weitere 3.6 TWh.

Stromerzeugung der Schweiz 2010

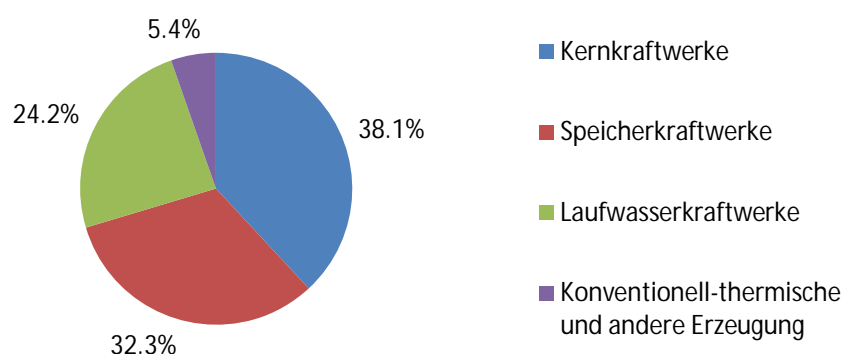


Abbildung 1: Prozentuale Anteile der verschiedenen Kraftwerke an der Stromerzeugung in der Schweiz 2010²

² Vgl. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010.

Diese Zahlen zeigen, dass die neuen erneuerbaren Energien in der Schweiz noch wenig ausgebaut sind: 2010 stammten 1.3 TWh aus neuen erneuerbaren Energien, was knapp 2% der schweizerischen Stromerzeugung entsprach.

2.1.2 STROMVERBRAUCH DER SCHWEIZ 2010

Wichtige Treiber für den Stromverbrauch sind die Bevölkerungsentwicklung, das Wirtschaftswachstum und die Witterung. Mit rund einem Drittel ging der grösste Anteil des Stromverbrauchs der Schweiz von rund 60 TWh im Jahr 2010 auf das Konto der Antriebe und Prozesse, z.B. Elektromotoren (Abbildung 2). Ebenfalls relevante Verbrauchsbeiträge kamen aus dem Prozesswärme-, Beleuchtungs-, Raumwärme und Haustechnikbedarf. Eine untergeordnete Rolle spielten die Mobilität, Kommunikation und Medien sowie Warmwasser.

Stromverbrauch
der Schweiz 2010

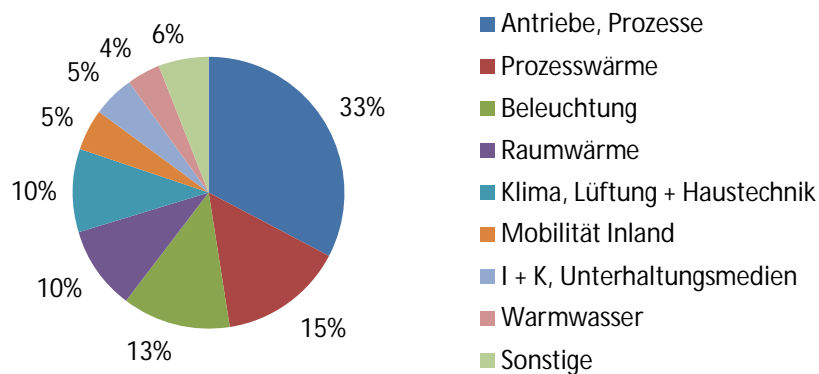


Abbildung 2: Prozentuale Anteile der verschiedenen Verwendungszwecke am Stromverbrauch 2010³. I+K: Information und Kommunikation.

Unterteilt man den Schweizer Stromverbrauch 2010 in verschiedene Verbraucherkategorien, dann dominieren drei Bereiche mit einem Anteil zwischen je einem Viertel und einem Drittel: Industrie/verarbeitende Betriebe, Haushalte und Dienstleistungen (Abbildung 3). Der Verkehr trug 2010 rund 8% zum Stromverbrauch bei⁴, während die Landwirtschaft und der Gartenbau 1.7% ausmachten.

Unterteilung nach
Verbraucherkate-
gorien

³ Vgl. Schweizerischer Energieverbrauch nach Verwendungszwecken.

⁴ Von den 4.9 TWh Strom, die 2010 im Sektor Verkehr verbraucht wurden, sind 3.2 TWh auf die Bahnen zurückzuführen, was rund 5% des Verbrauchs entspricht. Darunter fallen gemäss Definition neben den Eisenbahnen auch Bergbahnen, Skilifte, Trams und Trolleybusse. Die öffentliche Beleuchtung ist mit 0.5 TWh oder rund 1% des Verbrauchs aus dem Jahr 2010 ebenfalls im Sektor Verkehr erfasst.

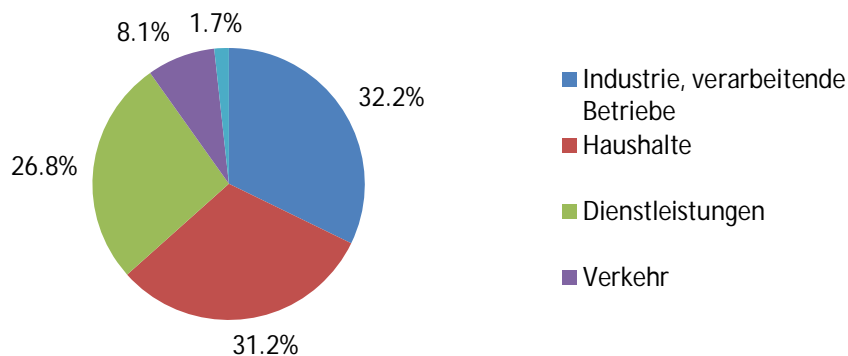


Abbildung 3: Prozentuale Anteile der verschiedenen Verbraucherkategorien am Stromverbrauch 2010⁵

2.1.3 STROMEINFUHR UND -AUSFUHR

Über das Jahr gesehen ist die Austauschbilanz der Schweiz mit jährlich geringen Nettoimporten bzw. -exporten immer mehr oder weniger ausgeglichen. Dies täuscht jedoch über die zeitlich stark variierenden Stromimporte und -exporte hinweg, denn die Schweiz steht im regen Stromaustausch mit dem benachbarten Ausland: Jährlich werden Strommengen in der Grössenordnung der Gesamterzeugung importiert und in der Grössenordnung des Gesamtverbrauchs exportiert. So entstanden im Jahr 2010 in einzelnen Monaten teilweise grosse Einfuhr- oder Ausfuhrüberschüsse (Abbildung 4).

Stromimport und -export

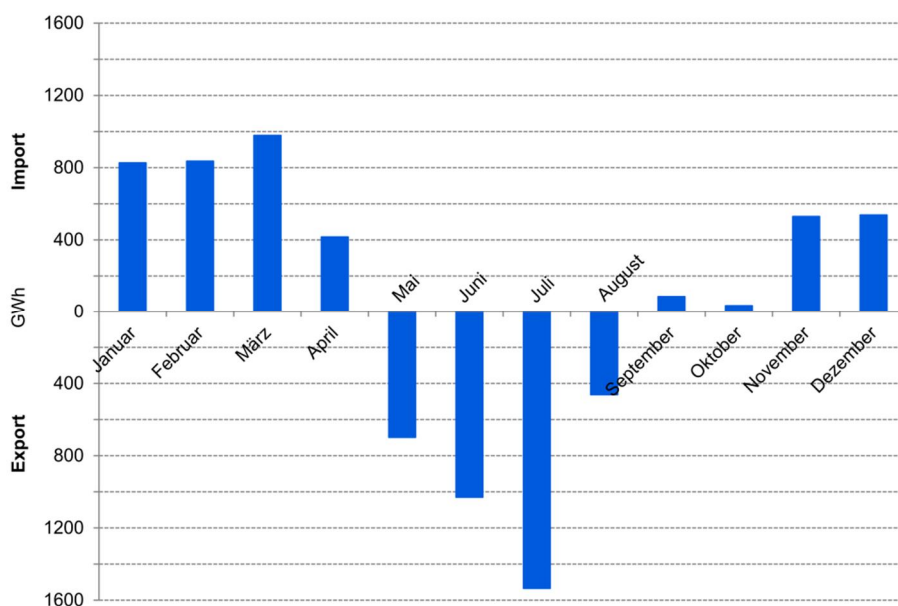


Abbildung 4: Einfuhr- und Ausfuhrüberschuss der Schweiz nach Monaten. Daten für 2010⁶.

⁵ Vgl. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010.

⁶ Vgl. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010.

Während im Sommer vermehrt Strom aus Wasserkraft produziert und exportiert werden kann, steigt im Winter der Stromimport, da einerseits die Produktion aus Wasserkraft geringer ausfällt und gleichzeitig die Nachfrage hoch ist. Ein ähnliches Bild zeigt sich im Tagesverlauf⁷. Die Schweiz ist somit schon heute nicht stromautark, was man aufgrund der ausgeglichenen Jahresbilanz annehmen könnte.

Export im Sommer, Import im Winter

2.2 INNENPOLITISCHER RAHMEN

2.2.1 AUSSTIEG AUS DER KERNENERGIE

Als Folge des verheerenden nuklearen Unfalls im japanischen Kernkraftwerk Fukushima im Frühjahr 2011 hat der Bundesrat beschlossen, die bestehenden Schweizer Kernkraftwerke am Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebsdauer von voraussichtlich 50 Jahren stillzulegen und nicht durch neue Kernkraftwerke zu ersetzen. Somit müsste das Kernkraftwerk Beznau I 2019, Beznau II und Mühleberg 2022, Gösgen 2029 und Leibstadt im Jahr 2034 vom Netz genommen werden. Die Bundesversammlung hat diesem Entschluss zugestimmt⁸.

Atomausstieg als Konsequenz von Fukushima

Selbst wenn dieser Entschluss wieder rückgängig gemacht werden sollte, ist es aufgrund der langen Genehmigungsverfahren und Bauzeiten fraglich, ob vor 2040 mit Strom aus neuen Kernkraftwerken zu rechnen wäre⁹.

Es ist auch denkbar, dass die sicherheitstechnische Betriebsdauer neu ausgelegt wird. Die Beschränkung auf 50 Jahre könnte hinterfragt und die Betriebsdauer auf über 50 Jahre verlängert werden. Allerdings kann auch eine Verkürzung nicht ausgeschlossen werden, wenn beispielsweise neue wissenschaftliche Erkenntnisse oder Mängel die Sicherheit einer oder aller Anlagen in Zweifel ziehen¹⁰.

Sicherheitstechnische Betriebsdauer

2.2.2 REDUKTIONSZIELE FÜR TREIBHAUSGASE

Zeitraum 2008 - 2012

Das 1999 beschlossene Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (kurz CO₂-Gesetz) sieht eine Reduktion der Schweizer CO₂-Emissionen aus der energetischen Nutzung fossiler Energieträger bis 2010 um 10% im Vergleich zum Stand von 1990 vor. Entscheidend für die Zielerreichung ist der Durchschnitt der Jahre 2008-2012¹¹. Für andere Treibhausgase wurden keine Reduktionsziele formuliert. Jedoch hat sich die Schweiz mit der Ratifizierung des *Kyoto-Protokolls* im Jahr 2003 verpflichtet, die Emissionen für die Treibhausgase CO₂, Methan, Lachgas und synthetische

CO₂-Gesetz bis 2012

⁷ Die dortigen Schwankungen sind jedoch im Gegensatz zu den saisonalen Variationen auch finanziell motiviert. So lassen sich mit (preisgünstigen) nächtlichen Importen die Speicherseen füllen, um anschliessen mit (teurer zu verkaufender) Spitzenproduktion untertags Geld zu verdienen.

⁸ Vgl. Bundesrat beschliesst Ausstieg aus der Kernenergie.

⁹ Zudem stellt sich die Frage, ob künftig noch in gleichem Masse Bandenergie nachgefragt wird wie heute, sprich ob die hohen Ausgaben für ein neues Kernkraftwerk nicht besser in ein flexibles Kraftwerk fliessen würden.

¹⁰ Vgl. Zu viele Fahrpläne für einen Atomausstieg.

¹¹ Im Jahr 1990 beliefen sich die CO₂-Emissionen der Schweiz auf 40.8 Millionen Tonnen. Im Durchschnitt der Jahre 2008-2012 sollen die jährlichen CO₂-Emissionen bei 36.7 Millionen Tonnen liegen, dies entspräche einer Reduktion um 10%. Für die Jahre 2008-2011 liegt der Durchschnitt bei 39.4 Millionen Tonnen (vgl. Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll). Die Differenz muss durch ausländische Emissionszertifikate ausgeglichen werden.

Gase (HFKW, PFKW und SF₆) ebenfalls im Zeitraum 2008 bis 2012 um 8% unter das Niveau von 1990 zu senken.

Die Schweiz wird die Reduktionsziele des CO₂-Gesetzes und der Kyoto-Verpflichtung aller Voraussicht nach erreichen. Der grösste Teil der Reduktion wird aber mittels ausländischer Emissionszertifikate erreicht, die mit Geldern aus der Stiftung Klimarappen¹² gekauft werden, nämlich ca. 3 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr über die Zielperiode 2008 bis 2012. Dies entspricht 7% der gesetzlich vorgesehenen Reduktion von 10% der CO₂-Emissionen des Jahres 1990. Reduktionen im Inland haben nicht im angestrebten Masse stattgefunden. Besonders fällt die starke Abweichung beim Verkehr auf. Hier hätte eigentlich eine Reduktion von 8% im Vergleich zum Jahr 1990 erreicht werden sollen. Tatsächlich liegen die Emissionen aber um ca. 13% darüber.

Erreichen der Reduktionsziele

Zeitraum 2013 - 2020

Für den Zeitraum von 2013 bis 2020 wurde vom Parlament im Dezember 2011 ein neues CO₂-Gesetz verabschiedet¹³. Dieses legt klimapolitische Ziele und Massnahmen bis 2020 fest. Gemäss dem neuen Gesetz muss die Schweiz ihre inländischen¹⁴ Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20% im Vergleich zum Stand von 1990 reduzieren¹⁵. Zudem sind Betreiber fossil-thermischer Kraftwerke dazu verpflichtet, die CO₂-Emissionen vollumfänglich zu kompensieren, höchstens 50% davon dürfen durch den Zukauf von ausländischen Emissionszertifikaten gedeckt werden.

CO₂-Gesetz bis 2020

2.3 AUSSENPOLITISCHER RAHMEN

Die Europäische Union (EU) hat nach zahlreichen Liberalisierungsschritten wie Recht auf Durchleitung, Regulierung des Netzzugangs, Trennung von Netzbetreiber und Stromhersteller und freie Lieferantenwahl für die Endverbraucher den Strommarkt im Juli 2007 vollständig geöffnet^{16 17}. Im Zuge des dritten Liberalisierungspakets wurden der Verband europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) und eine EU-Behörde für die Zusammenarbeit der Energieregulierungsbehörden (ACER) gegründet. Die Schweiz ist über Swissgrid Mitglied bei ENTSO-E und die Eidgenössische Elektrizitätskommission hat seit Januar 2012 Beobachterstatus im Rat der europäischen Energieregulierungsbehörden (CEER). Der CEER ist eine privatrechtliche Organisation, die eng mit ACER auf EU-Ebene zusammenarbeitet.

Strommarktliberalisierung in der EU

Zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung wurden von der EU die 20-20-20 Ziele formuliert. In der gesamten EU sollen bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 20% gesenkt und die Energieeffizienz um 20% gesteigert werden. Zudem soll der Anteil der erneuerbaren Energie am Gesamtenergieverbrauch 20% betragen. Zur Erreichung

20-20-20 Ziele und RES-Richtlinie

¹² Die Stiftung Klimarappen sichert dem Bund eine Reduktionsleistung von 3,4 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr über die Zielperiode 2008 bis 2012 zu. Dies massgeblich durch den Kauf von Emissionszertifikaten. Ein kleinerer Teil dieser Reduktionsleistung wird durch Massnahmen im Inland erreicht (vgl. Zusatzvertrag mit der Stiftung Klimarappen).

¹³ Vgl. CO₂-Gesetz 2011.

¹⁴ Der Begriff "inländisch" wird sehr weit ausgelegt. Vgl. Gutachten zur Auslegung der Emissionsverminderungen "im Inland".

¹⁵ Anders als im ersten CO₂-Gesetz, in dem explizit die durchschnittlichen Emissionen der fünf Jahre zwischen 2008 und 2012 als Kriterium für die Zielerreichung genannt wurden, wird nun keine solche Periode mehr festgelegt. Insofern geht aus dem Gesetzestext nicht eindeutig hervor, wie später über die Erreichung des 20%-Reduktionszieles entschieden wird.

¹⁶ Der Schweizer Strommarkt befindet sich ebenfalls in der Liberalisierungsphase. Der erste Schritt mit der Öffnung des Marktes für Grosskunden (ab 100 MWh pro Jahr) sowie die Förderung erneuerbarer Energien wurde per Januar 2009 vollzogen. Die Marktöffnung für alle Endkunden ist für 2015 geplant.

¹⁷ Vgl. EDA/DEA Strom/Energie.

der Ziele, wurde von der EU die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RES¹⁸-Richtlinie) erlassen. Diese sieht für jedes EU-Mitgliedsland einen konkreten und individuellen Zielwert für den Anteil erneuerbarer Energie am Gesamtenergieverbrauch vor.

Die aktuelle Situation des Schweizer Strommarktes widerspricht in verschiedenen Punkten EU-Recht, so z.B. die Priorisierung der langfristigen Bezugsverträge mit Frankreich an der Grenze oder die noch nicht vollzogene Marktöffnung für Privatkunden in der Schweiz. Zudem ist der Stromsektor in der Schweiz mehrheitlich kantonale geregelt, was eine einheitliche Positionsbildung erschwert. Andererseits ist die Schweiz aufgrund ihrer Lage und ihrer Geographie für die EU sehr relevant: Hier sind u.a. die Transitleitung von und zu den Nachbarländern zu nennen, die Abhängigkeit Italiens von Schweizer Transitstrom sowie die Pumpspeicher.

Schweizer
Strommarkt und
EU Recht

Ende 2007 wurden zwischen der Schweiz und der EU Verhandlungen zur Regelung des Netzzugangs für den grenzüberschreitenden Stromverkehr und zur Harmonisierung der Sicherheitsstandards für die Stromnetze aufgenommen. Im Jahr 2010 wurde das Schweizer Verhandlungsmandat erweitert, um ein umfassenderes Stromabkommen zu erzielen, welches das dritte Liberalisierungspaket der EU miteinbezieht. Zudem besteht nun die Möglichkeit, die RES-Richtlinie in den Verhandlungen zu berücksichtigen. Langfristig wird seitens der Schweiz ein umfassendes Energieabkommen angestrebt.

Verhandlungen
Stromabkommen
mit der EU

Im Januar 2012 stellte Didier Burkhalter das justierte Vorgehen des Bundesrates bezüglich der Regelung institutioneller Fragen der Rechtsübernahme und Gerichtsbarkeit zwischen der Schweiz und der EU vor¹⁹, da auch von der EU-Seite her diesbezüglich zusehends Druck aufgebaut wurde. Das Stromabkommen wurde in den Verhandlungen mit der EU vorgezogen, um als Modellabkommen für die Regelung der institutionellen Mechanismen dienen zu können. Das in gegenseitigem Interesse liegende und kurz vor dem Abschluss stehende Stromabkommen wurde somit an die komplizierten Verhandlungen zu einem umfangreichen neuen Rechtsrahmen für die Beziehung der Schweiz mit der EU geknüpft.

Koppelung
Stromabkommen
an institutionelle
Fragen

Der EU-Bericht zur Schweiz vom Dezember 2012 stellt fest, dass es keine bilateralen Verträge der bisherigen Art mehr geben wird. Zudem hat auch die EU-Kommission in einem Schreiben an den Bundesrat deutlich gemacht, dass es ein Stromabkommen ohne den vorherigen Abschluss eines institutionellen Rahmenvertrags nicht geben wird²⁰. Daher ist zur Zeit offen, ob und wann es ein Stromabkommen mit der EU geben und welche Punkte und Regelungen dieses enthalten wird.

Keine bilateralen
Verträge ohne
Rahmenabkommen

¹⁸ RES = Renewable Energy Sources.

¹⁹ Vgl. Gutachten über mögliche Formender Umsetzung und Anwendung der bilateralen Abkommen.

²⁰ Vgl. Freundlich und unmissverständlich.

3 STUDIEN ZUR ENTWICKLUNG VON STROMANGEBOT UND STROMNACHFRAGE BIS 2050

Als Ausgangspunkt für die Analyse dient der Vergleich von fünf Studien unterschiedlicher Institutionen zum Energiewandel in der Schweiz. Diese wurden vom Bundesamt für Energie, vom Energie Trialog Schweiz, von der Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, vom Wirtschaftsverband swisscleantech und vom Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen erstellt. Nach einer Kurzvorstellung dieser Studien werden die zentralen Ergebnisse in Tabelle 1 wiedergegeben und diskutiert.

3.1 KURZVORSTELLUNG DER STUDIEN

Bundesamt für Energie (BFE)

Das BFE erstellte im Mai 2011 die „Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates“; im Folgenden „Energieperspektiven 2050“ genannt²¹. Auch wenn in den Energieperspektiven 2050 verschiedene Stromangebotsvarianten diskutiert werden, so werden hier nur die beiden Varianten zentrale oder dezentrale fossile Kraftwerke²² bei gleichzeitigem Atomausstieg (nach Ablauf der Betriebszeit) sowie das Konzept einer „neuen Energiepolitik“ betrachtet. Der Grund für diese Beschränkung ist, dass dies die beiden Varianten sind, auf denen der Bundesrat seinen Entschluss vom 25. Mai 2011 zum Ausstieg aus der Atomenergie zu basieren scheint.

BFE Studie
"Energieperspektiven 2050"

Der Bundesrat hat am 1. Dezember 2011 die Energiestrategie 2050 weiter konkretisiert (Bundesrat, 2011), und die Ziele teilweise noch ambitionierter definiert. Diese werden hier nicht weiter diskutiert. Es soll jedoch angemerkt werden, dass der Bundesrat auch mit der Energiestrategie 2050 explizit an seinen klimapolitischen Zielen festhält: CO₂-Emissionen künftiger Gaskombikraftwerke (GuD) müssen daher vollständig kompensiert werden.

Energie Trialog Schweiz (ETS)

Mit dem ETS wurde 2007 durch den Initianten Kanton Aargau eine Diskussion zwischen Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft gestartet. Rund 220 Personen haben am Grundlagenbericht „Energie-Strategie 2050“ mitgewirkt, der 2009 publiziert wurde²³. Ziel dieses Diskussionsansatzes war es, dass eine künftige Energiepolitik von der Mehrheit der Bevölkerung getragen werden soll.

ETS Studie
"Energiestrategie 2050"

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)

Schon 2008 veröffentlichte das Energy Science Center der ETHZ eine Energiestrategie und führte darin den Begriff der „1 Tonne CO₂-Gesellschaft“ ein²⁴. Die Eindämmung des Klimawandels ist auch in der neueren Studie „Energiezukunft Schweiz“ zentral²⁵.

ETHZ Studie
"Energiezukunft Schweiz" und die
1 Tonne CO₂-Gesellschaft

²¹ Vgl. BFE Energiestrategie 2050.

²² Von zentralen Kraftwerken spricht man bei grossen Anlagen (mehrere 100 MW elektrischer Leistung), wie z.B. Kernkraftwerken oder Kohlekraftwerken. Dezentrale Anlagen sind betreffend ihrer elektrischen Leistung kleiner und meist mit Erdgas befeuert. Um die gleiche Leistung wie zentrale Kraftwerke bereit zu stellen, braucht es daher mehr Kraftwerke, die oft an verschiedenen Standorten erbaut sind.

²³ Vgl. ETS Energiestrategie 2050.

²⁴ Vgl. 1 Tonne CO₂-Gesellschaft.

²⁵ Vgl. ETH Energiezukunft Schweiz.

Die Zeitspanne zwischen 2010 und 2050 wird darin detaillierter beleuchtet, weshalb die Ergebnisse der aktuelleren Studie hier betrachtet werden.

Wirtschaftsverband swisscleantech

Der Verband swisscleantech repräsentiert die Schweizer Cleantech Unternehmen. In der Studie „Cleantech Energiestrategie“²⁶ werden Ziele und Massnahmen für die Jahre 2035 und 2050 formuliert. Diese betreffen nicht nur den Strommarkt sondern die gesamte Energielandschaft der Schweiz.

swisscleantech Studie "Cleantech Energiestrategie"

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)

Der VSE setzt sich für die Interessen Schweizer Elektrizitätsunternehmen ein. In der VSE Studie „Wege in die neue Stromzukunft“²⁷ werden drei Szenarien für die Nachfrage- und Versorgungsentwicklung bis 2050 entworfen, die alle vom Atomausstieg bis 2034 ausgehen aber in ihren klimapolitischen Zielsetzungen unterschiedlich ambitioniert sind.

VSE Studie "Wege in die neue Stromzukunft"

3.2 VERGLEICH DER STUDIEN

Die verschiedenen Studien aus Kapitel 3.1 werden in Tabelle 1 gegenübergestellt. Es werden in den Szenarien für die Jahre 2035 und 2050 die Nachfrage, das Angebot aus den verschiedenen Erzeugungstechnologien und die Importe miteinander verglichen.

TWh pro Jahr		2010	BFE ^a	ETS	ETHZ	swisscleantech	VSE ^d
			2035				
Verbrauch		60	70	72	75	69	80 / 80 / 70
Erzeugung	Fossile Brennstoffe	2	23 / 7	3	3	3	20 / 13 / 1
	Wasserkraft	37	48	28	35	35	35 / 36 / 38
	Neue Erneuerbare	2	9	12	18	21	<5 / <6 / 7
	Kernenergie	25	0	17 ^b	9 ^b	0	0 / 0 / 0
Importe		0	3 / 14	11 ^c	10 ^c	10	18 / 19 / 22
TWh pro Jahr		2010	2050				
Verbrauch		60	68	72	79	75	82 / 73 / 69
Erzeugung	Fossile Brennstoffe	2	19 / 11	3	3	0	15 / 8 / <1
	Wasserkraft	37	48	27	35	34	35 / 36 / 40
	Neue Erneuerbare	2	23	24	32	39	10 / 18 / 26
	Kernenergie	25	0	0	0	0	0 / 0 / 0
Importe		0	0	18 ^c	9 ^c	3	22 / 11 / -4

Tabelle 1: Vergleich der existierenden Studien zu Stromverbrauch und -erzeugung für die Jahre 2035 und 2050. Der Verbrauch schliesst Netzverluste und den Verbrauch der Speicherpumpen mit ein.
^a = Zahlen der BFE-Studie vor dem Schrägstrich geben die Werte für den Fall mit zentralen fossilen Kraftwerken, die nach dem Schrägstrich den für dezentrale fossile Kraftwerke an.
^b = Die Studien des ETS und der ETHZ wurden vor dem Beschluss des Atomausstiegs erstellt. ^c = Differenz: GuD, fossile WKK und/oder Importe. ^d = Szenarien 1, 2, und 3.

²⁶ Vgl. swisscleantech Energiestrategie.

²⁷ Vgl. VSE Studie zur Stromzukunft.

3.2.1 VERBRAUCHSSEITE

Zunächst fallen die voneinander abweichenden Vorhersagen für den Verbrauch auf. Dies fusst auf abweichenden Annahmen zu Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, sowie der unterschiedlichen Aufnahme von Effizienz und Suffizienz. Einzig die Zunahme des Verbrauchs im Vergleich zum Jahr 2010 haben alle Studien für beide Jahre 2035 und 2050 gemeinsam.

Abschätzung der Studien zum zukünftigen Verbrauch

Das BFE geht von einem (leicht) sinkenden Stromverbrauch von 2035 bis 2050 aus. Der an sich zu erwartende Anstieg durch Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, sowie neue Technologien wie z.B. Wärmepumpen und Elektromobilität, muss daher durch Massnahmen in Effizienz und Suffizienz überkompensiert werden.

Der VSE geht für die Szenarien 2 und 3 ebenfalls von einer sinkenden Nachfrage aus, und zwar von bis zu knapp 10% für das zweite Szenario. Dies soll durch "intensive staatliche Intervention und marktbasierende Instrumente" geschehen wie z.B. Gesetze, Subventionen, Lenkungsabgaben, und Steuern. Allerdings wird für das Jahr 2035 ein im Vergleich hoher Wert von 80 TWh angenommen, und somit befindet sich die Nachfrage im Jahr 2050 auch nur im Durchschnitt der anderen Studien.

Die übrigen Studien gehen von einer fast konstanten oder steigenden Nachfrage aus. Dementsprechend differieren auch die Verbrauchswerte in den Szenarien um bis zu 11 TWh/a oder 16% (zwischen BFE und ETHZ-Studie für das Jahr 2050).

3.2.2 ANGEBOTSSEITE

Das BFE strebt eine möglichst grosse Unabhängigkeit von Stromimporten aus dem Ausland an. Daher wird eine Strategie forciert, die diese Unabhängigkeit ausbaut. Das allerdings wird zu Lasten des CO₂-Ausstosses gehen, da neue fossile Kraftwerke (zentral oder dezentral) gebaut werden müssen. Weiterhin rechnet das BFE mit einem signifikanten Ausbau der Wasserkraft (+11TWh/a) gegenüber 2010. Dies steht im Widerspruch zu einer späteren BFE-Studie zum Ausbaupotenzial der Wasserkraft, die auf 3.2 TWh/a unter optimierten Nutzungsbedingungen kommt (BFE 2012 b). Das BFE rechnet dementsprechend heute mit einem geringeren Wert.

Unterschiede der Studien auf der Angebotsseite

Die Studie des VSE deckt mit ihren drei Szenarien verschiedene politische Zielsetzungen ab. Die Ausgestaltung der Angebotsseite ist daher unterschiedlich. Es ist auffallend, dass der Zubau der neuen Erneuerbaren erst zwischen 2035 bis 2050 in einem signifikanten Massstab erfolgen soll, selbst für das dritte Szenario mit den ambitioniertesten CO₂-Reduktionszielen. Für das Jahr 2035 ist die Stromerzeugung aus neuen Erneuerbaren im Vergleich aller Studien die geringste. Daher sind auch die fossile Stromerzeugung bzw. die Stromimporte meist höher als bei den anderen Studien.

Die übrigen Studien sehen die Einhaltung der CO₂-Ziele – neben der Abschaltung der Kernkraftwerke – als Hauptziel an. Daher wird ein signifikant grösserer Ausbau der neuen Erneuerbaren angestrebt (swisscleantech und ETH), oder eine Importstrategie erscheint akzeptabel, eventuell begleitet durch einen Ausbau fossiler Kraftwerke (ETS und ETH). Swisscleantech hingegen erwartet einen massiven Ausbau der neuen Erneuerbaren im Inland (mehr als ein Faktor 10 bis 2035 ausgehend von dem Wert des Jahres 2010).

3.2.3 FAZIT AUS DEM STUDIENVERGLEICH

So unterschiedlich die Szenarien der verschiedenen Studien auch sind, so lässt sich doch eine gemeinsame Schlussfolgerung ziehen: Unter Annahme des jeweiligen Verbrauchsszenarios wird es nicht möglich sein, im Jahr 2035 über das Jahr gesehen den Strombedarf ausschliesslich aus Wasserkraft und neuen Erneuerbaren in der Schweiz zu decken. Noch uneinheitlicher sind die Werte diesbezüglich für das Jahr 2050: Nur swisscleantech und VSE (Szenario 3) erwarten eine nahezu vollständige Deckung des Verbrauchs durch eine erneuerbare inländische Erzeugung, während die anderen Studien hierbei eine Diskrepanz von bis zu 21 TWh/a (ETS) oder gar 37TWh/a (Szenario 1 des VSE) erwarten.

Schwierigkeit der Verbrauchsdeckung durch Erneuerbare

Um Stromerzeugung und –verbrauch auch künftig im Gleichgewicht zu halten, gibt es demnach drei Möglichkeiten (oder Kombinationen davon):

1. Effizienz- und Suffizienzmassnahmen,
2. Produktion im Inland,
3. Stromimporte aus dem Ausland.

Aus dem Studienvergleich geht hervor, dass der Bundesrat (basierend auf der BFE-Studie) und swisscleantech mehr Gewicht auf den Ausbau der Produktion im Inland legen, während ETS und ETHZ tendenziell auf Stromimporte aus dem Ausland setzen. Der VSE ist hierbei nicht zuzuordnen, da er verschiedene Szenarien vorstellt und ihre Konsequenzen abschätzt.

Ausbau im Inland oder Stromimporte

Die ersten beiden Möglichkeiten werden in den folgenden beiden Unterkapiteln näher behandelt; die Stromimporte aus dem Ausland werden im anschliessenden Kapitel ausführlich diskutiert.

3.3 EFFIZIENZ UND SUFFIZIENZ

Eine Reduktion des Stromverbrauchs lässt sich durch zwei unterschiedliche Arten von Einsparungen erreichen, nämlich durch Effizienz und durch Suffizienz. Effizienz- und Suffizienzmassnahmen, die in eine Verbrauchsreduktion münden, werden von allen Studien betont. Sie stellen daher im Rahmen der verschiedenen Strategien insofern einen Sonderfall dar, als sie von allen Parteien Unterstützung erhalten. Generell geht aus den betrachteten Studien klar hervor, dass alleine aufgrund von Effizienz- und Suffizienzmassnahmen der Stromverbrauch und die erneuerbare Stromerzeugung nicht in ein Gleichgewicht zu bringen sind.

Effizienz und Suffizienz in jedem Fall nötig

Für weitere Ausführungen zu der Thematik wird auf Kapitel 6.1 im Anhang verwiesen.

3.4 PRODUKTION IM INLAND

Unter die nicht-nuklearen Erzeugungstechnologien im Inland fallen Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft, Biomasse, Geothermie und Gas- und Dampfkraftwerke (GuD). Im Folgenden werden die verschiedenen Erzeugungstechnologien vorgestellt und ihre charakteristischen Kenngrössen abgeschätzt. Technische Begriffe und Details zu den Abschätzungen werden im Anhang 6.2 näher erläutert. Die quantitativen Abschätzungen basieren auf heutigen technischen Möglichkeiten und Expertenschätzungen.

Nicht-nukleare Erzeugungstechnologien

Bei GuD sind die CO₂-Emissionen und bei Photovoltaik und Windenergie die benötigten Flächen (sowie die Kosten, die hier nicht weiter betrachtet werden) die kritischen Aspekte. Die Auswirkungen von Geothermie- und Biomassekraftwerken sind bezüglich dieser Kriterien vernachlässigbar. Dasselbe gilt für Wasserkraftwerke, die kein CO₂

Kritische Aspekte der Technologien

emittieren und deren Ausbau aufgrund des geringen Potenzials keine grossen Flächen beanspruchen wird.

In Tabelle 2 werden diese Kenngrössen (CO₂-Emissionen für GuD, Flächenbedarf für Windenergie und Photovoltaik) für die Angaben aus den vorgestellten Studien für das Jahr 2050 dargestellt. Die angegebenen Zahlen basieren auf Abschätzungen, die in Kapitel 6.2 erläutert werden.

2050	BFE	ETS	ETHZ	swisscleantech	VSE
erwartete fossile Erzeugung (TWh/a)	19/11	3	3	0	15/8/<1
Anzahl GuD	5/3	1	1	0	4/2/<1
CO ₂ -Emissionen (Mio. t)	6.8/4.0	1.1	1.1	0	5.4/2.9/<0.4
in % von CO ₂ -Emissionen 2009	15/9	2	2	0	12/7/<1
erwartete Erzeugung durch neue Erneuerbare (TWh/a)	23	24	32	39	10/18/26
Anzahl Windräder	6530	6820	9090	11080	2840/5110/7380
Flächenbedarf Windpark (km ²)	1580	1650	2200	2680	690/1240/1790
Flächenbedarf Photovoltaik (km ²)	150	150	200	250	60/120/170

Tabelle 2: CO₂-Emissionen für GuD (angenommene Auslastung 90%) und Flächenbedarf für die neuen Erneuerbaren gemäss der Erzeugung in den einzelnen Studien im Jahr 2050. Man beachte, dass für die neuen Erneuerbaren angenommen wurde, dass die Erzeugung entweder nur durch Windenergie oder nur durch Photovoltaik geschehe. Die CO₂-Emissionen der Schweiz im Jahr 2009 betragen 44 Mio. t.

Der Bau von GuD ist keine technische Herausforderung, und sie liessen sich gut in das bestehende Netz (z.B. als Ersatz für die Atomkraftwerke) integrieren. Die Frage ist daher vielmehr, ob die zusätzlichen CO₂-Emissionen akzeptiert werden. Anders sieht es für die neuen Erneuerbaren aus: Der Flächenbedarf für Windenergie schwankt je nach Studie zwischen dem des Kantons Glarus (685 km²) und dem des Tessins (2812 km²). Photovoltaik steht offensichtlich signifikant besser da (Tabelle 2).

CO₂-Emissionen und Flächenbedarf von Wind und Photovoltaik

Es ist in dem Zusammenhang instruktiv, sich den Zubau an Windenergie und Photovoltaik in Deutschland im Jahr 2011 anzuschauen²⁸: Es wurde ca. 700 neue Windenergieanlagen und ca. 75 km² Photovoltaik installiert²⁹. Diese Zahlen verdeutlichen, dass es kein prinzipielles technisches Problem ist, sogar die ambitionierten Ziele von swisscleantech innerhalb weniger Jahre zu erreichen.

Zubau in Deutschland im Jahr 2011

Die entscheidende Frage bezüglich des Ausbaus der neuen Erneuerbaren ist also nicht, ob er in dem erwarteten Masse möglich ist, sondern die Fragen lauten vielmehr:

1. Welcher der neuen Erneuerbaren (Wind, Photovoltaik, Biomasse, Geothermie) sollte der Vorzug gegeben werden?
2. Ist die Akzeptanz vorhanden, grosse Flächen mit neuen Erneuerbaren zu bebauen?

²⁸ Vgl. Erneuerbare Energien in Zahlen.

²⁹ Diese Flächenangabe ist eine Schätzung. Es wurden 7.5 GW_{peak} an Photovoltaik installiert. Nimmt man einen Flächenbedarf von 10 m²/kW_{peak} an, kommt man auf 75 km².

3. Ist es technisch möglich, die volatile Einspeisung durch die neuen Erneuerbaren zu kompensieren und eine sichere Stromversorgung zu garantieren?

Bezüglich der ersten Frage gilt, dass Biomasse und Wasserkraft, da sie weitgehend CO₂-neutral sind, im Rahmen ihrer Möglichkeit ausgebaut werden sollte. Die weitere Technologieentwicklung bei Geothermie ist momentan nicht abzusehen, so dass sie hier nicht weiter betrachtet wird.

Damit bleiben Windenergie und Photovoltaik übrig, die sich anbieten, einen grossen Anteil der Erzeugung durch neue Erneuerbare abzudecken. Beide haben das Potenzial, allerdings ist der Flächenbedarf der Windenergie ungefähr einen Faktor zehn grösser. Wenn in der Schweiz im grossen Massstab neue Erneuerbare hinzugebaut werden, so sollten dies daher keine Windkraftanlagen sein. Dies schliesst nicht aus, dass in einzelnen Bereichen und an manchen Standorten Windenergie die präferierte Technologie ist, aber der Photovoltaik ist gesamtschweizerisch der Vorzug zu geben.

Photovoltaik statt
Windenergie in
der Schweiz

Hinsichtlich der zweiten Frage ist zu erwarten, dass – sollten Freiflächen grossflächig mit Photovoltaikanlagen zugebaut werden – ein Akzeptanzproblem in der Bevölkerung entstünde. Wenn jedoch schon vorhandene Dachflächen für Photovoltaik mitgenutzt würden, so ist dieses nicht zu erwarten, sofern es sich um Industriebauten, Lagerhallen und ähnliches handelt. Die gesamte Dachfläche der Schweiz beträgt ca. 400 km². Liesse sich nur ein Teil davon für Photovoltaikanlagen nutzen, so könnte auf diese Art und Weise prinzipiell ein signifikanter Anteil an Fläche bereitgestellt werden.

Akzeptanzproblem
umgehen
durch Nutzung
bebauter Flächen

Die letzte der drei Fragen bzgl. der volatilen Stromeinspeisung ist am schwierigsten zu beantworten und ist aktuelles Forschungsthema an Forschungsinstituten und Universitäten. Qualitativ lassen sich die folgenden grundlegenden Aussagen treffen: Um Erzeugungsüberschüsse abzufangen, sind Speicher (nebst Stromexporten oder der Drosselung der Erzeugung) nötig. Es ist offen, ob die vorhandenen Pumpspeicherkraftwerke in der Schweiz dazu ausreichen. Im gegenteiligen Falle, nämlich wenn eine zu hohe Nachfrage herrscht, müssen andere Kraftwerke einspringen (Stromimporte werden im folgenden Kapitel behandelt). Dies könnten z.B. flexible Gaskraftwerke sein, die allerdings CO₂ emittieren. Alternativ kommen auch Speicherkraftwerke in Frage, die eine entsprechend hohe Leistung bereitstellen können müssen.

Herausforderung
durch volatile
Stromeinspeisung

3.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE INLANDPRODUKTION

Es erscheint also technisch möglich, die Schweiz zu grossen Teilen mit inländischem Strom aus neuen Erneuerbaren zu versorgen, wie es einige der hier vorgestellten Studien vorschlagen. Die neuen Erneuerbaren lassen sich aber voraussichtlich nicht ohne Speicher oder flexible Kraftwerke in einem grossen Massstab stabil in ein Stromnetz integrieren. Zudem emittieren Gaskraftwerke zusätzliches CO₂. Die volatile Stromeinspeisung und die CO₂-Emissionen setzen hier Grenzen, die es unwahrscheinlich machen, dass die Schweiz künftig unabhängig vom Ausland sein kann. Die Schweiz ist jedoch bis heute nicht stromautark gewesen (siehe 2.1.3) und wird es aus obengenannten Gründen auch in Zukunft nicht sein.

Grosser Beitrag der
neuen Erneuerbaren
in der Schweiz
möglich

Bis hierhin wurde die Schweiz als quasi isoliert gesehen; das Ausland wurde nur als passive Quelle oder Senke für Stromimporte bzw. –exporte betrachtet. Im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien ist die Stromautarkie auch unter technologischen Aspekten (z.B. höhere Photovoltaikerträge in südlicheren Regionen) nicht die effizienteste Lösung. Daraus folgt die Idee, ob eine effiziente Stromzukunft nicht in einem grösseren Kontext, der über den einzelnen Nationalstaat hinausgeht, angedacht werden muss. Das ist das Thema des nächsten Kapitels.

Schweiz als isoliert
betrachtet

4 IDEE EINER STROMSTRATEGIE UNTER EINBEZUG VON EUROPÄISCHEN PARTNERN

Aus dem Studienvergleich in Abschnitt 3.2 gehen als dritte Möglichkeit, Stromangebot und –nachfrage in ein Gleichgewicht zu bringen, verstärkte Stromimporte hervor. Die Schweiz steht schon heute in regem Stromaustausch mit dem benachbarten Ausland. Nettostromimporte gehören in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit zum Alltag (siehe 2.1.3). Daraus folgend stellt sich die Frage, ob eine Nullbilanz über das Jahr gesehen überhaupt erstrebenswert ist. Mit den erwähnten Bezugsrechten aus französischen Kernkraftwerken wird heute schon eine Importstrategie gefahren.

Stromimporte und
Nullbilanz

Wie im vorherigen Kapitel ausgeführt wurde, wären durch die Integration von Wind- und Photovoltaikkraftwerken in der Schweiz verstärkte Importe und Exporte zu erwarten. Zudem ist die Stromproduktion durch diese Kraftwerke in der Schweiz nicht gleich effizient wie an wind- und sonnenreicheren Standorten. Die daraus folgende Idee einer verstärkten Import- bzw. Austauschstrategie führt einerseits zu Herausforderungen, die im Abschnitt 4.1 behandelt werden. Andererseits führt eine solche Strategie auch zu neuen Möglichkeiten für die Schweiz und Europa, wie in Abschnitt 4.2 aufgezeigt wird.

4.1 HERAUSFORDERUNGEN BEI STROMIMPORTEN

Eine Importstrategie umfasst die Stromproduktion im Ausland und den anschliessenden Import in die Schweiz. Eine grundlegende Fragestellung ist deshalb, wie der importierte Strom produziert wird. Stammt er aus nicht-erneuerbaren Quellen, wird sich die CO₂-Belastung und der nukleare Anteil des Schweizer Strommixes erhöhen, da die Nachbarländer Deutschland, Italien und Österreich aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger höhere CO₂-Emissionen haben und da die Produktion Frankreichs zu 75% aus Kernenergie besteht. CO₂-belastete Importe würden die CO₂-Bilanz der Schweiz gemäss des Kyoto-Protokolls zwar nicht direkt betreffen, jedoch den globalen Ausstoss des Treibhausgases erhöhen. Dieser Problematik würden europaweit anerkannte Herkunftsnachweise, die die Art und Weise der Stromerzeugung dokumentieren, beugen.

Definition Im-
portstrategie und
Herausforderungen

Wenn in Europa weitere Länder auf eine Austauschstrategie setzen, kann es aufgrund allfälliger Stromerzeugungsempässe zu starken Preiserhöhungen oder bei knappen (Grenz-) Kapazitäten gar zu Problemen in der Versorgungssicherheit kommen. Generell können nicht beliebige Mengen an Strom von, in und durch die Schweiz geleitet werden. Die Kapazitäten der Leitungen über die Grenzen der Schweiz sind begrenzt. Es wären jedoch grössere Im- und Exporte möglich³⁰. Zu beachten sind dabei aber die unter Umständen grossen Transitflüsse durch die Schweiz, z.B. von Frankreich über die Schweiz nach Italien.

4.2 STROMAUSTAUSCH ALS INTEGRALER BESTANDTEIL DER ZUKÜNFTIGEN STROMVERSORGUNG

Die Studien, die in Kapitel 3 vorgestellt worden sind, betrachten das umliegende Ausland in ihren Resultaten als passive Quelle für Stromimporte und passiven Abnehmer von Stromexporten. Möchte man jedoch einer Stromversorgung näher kommen, die die

Europäischer
Blickwinkel für ein
effizientes
Stromsystem

³⁰ Basis für diese Aussage bieten die vom ENTSO-E, dem europäischen Netzwerk der Übertragungsnetzbetreiber, abgeschätzten *net transfer capacities* (NTC; weitere Informationen dazu in Kapitel 6.3).

Vorteile verschiedener Technologien zur Stromerzeugung und –speicherung vereint, so muss ein europäischer Kontext betrachtet werden, in dem die Schweiz ein integraler Bestandteil ist.

Eine europäische Betrachtung ist notwendig, um das Stromsystem bestehend aus Erzeugung, Übertragung und Verbrauch künftig zu optimieren. Der Verbrauch, z.B. in Industrien und Privathaushalten, ist örtlich fixiert. Die Erzeugung hingegen sollte dort stattfinden, wo dies am effizientesten und verlässlichsten geschehen kann. Die Übertragung verbindet dann Erzeuger und Verbraucher und quert notwendigerweise Ländergrenzen.

Ein leistungsfähiges Stromnetz, das die verschiedenen Erzeuger und Verbraucher in Europa verbindet, ist für den skizzierten Umbau des Kraftwerkparcs unabdingbar. Grenzüberschreitende Kapazitäten erhalten eine bedeutende Rolle; entlegene Gebiete, in denen neu Strom erzeugt wird, müssen mit Leitungen erschlossen werden. Der Bau des Übertragungsnetzes muss auf die europäische Stromerzeugung und Stromverbrauchszentren abgestimmt werden³¹.

Leistungsfähiges
Stromnetz

Das Potenzial der Wasserkraft ist nicht nur in der Schweiz sondern auch in Zentraleuropa weitestgehend ausgereizt³². Dementsprechend werden die neuen Erneuerbaren überall massiv an Bedeutung gewinnen müssen. Technisch effizient und damit sinnvoll sind Erzeugungsstandorte, die optimale Voraussetzungen für die Anwendung einer bestimmten Technologie bieten: Windenergie küstennah oder offshore³³, Photovoltaik in südeuropäischen Ländern und Geothermie z.B. im Rheingraben. Aus einem solchen Ansatz folgt ein weiterer, sehr wesentlicher Vorteil: An optimalen Standorten ist die Stromeinspeisung höher und v.a. gleichmässiger. Das ist eine wichtige Voraussetzung für die Netzstabilität und damit für die Versorgungssicherheit.

Erneuerbare Energieerzeugung an
gut geeigneten
Standorten

Fossile Kraftwerke (z.B. GuD) können weiterhin notwendig sein, um Bandenergie zu liefern, fluktuierende Einspeisung aus regenerativen Quellen zu kompensieren und das Stromnetz zu stabilisieren. Sie haben daher ihre Daseinsberechtigung, sollten aber auf das Minimum beschränkt bleiben³⁴.

Fossile Kraftwerke

Was ist die Rolle der Schweiz in einem solchen Szenario? Dank ihrer Lage im Herzen Europas wird sie ihre Rolle als Stromdrehzscheibe ausbauen. Zudem kann sie mit ihren Speicherkraftwerken einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung des europäischen Stromnetzes durch den Ausgleich der fluktuierenden neuen Erneuerbaren leisten. Die Alpen mit den Speicherseen können die Schweiz zusammen mit Österreich und Norwegen im Norden Europas zu einer „Batterie Europas“ machen. Die Schweiz würde

Rolle der Schweiz

³¹ Das hier skizzierte Szenario ist äusserst ambitioniert. In diesem Zusammenhang soll die Desertec-Vision (www.dii-eumena.com, www.desertec.org) erwähnt werden – ein noch ambitionierteres Programm: Sie strebt den Bau von Solarkraftwerken und Windparks in Nordafrika an. Sie sollen nicht nur die dortigen Länder mit Strom versorgen, sondern auch bis 2050 15% des europäischen Strombedarfs decken. Interessanterweise wird diese Vision nicht von politischer Seite sondern von Unternehmen, u.a. auch Schweizer Unternehmen, vorangetrieben. Erste Demonstrationskraftwerke sind inzwischen in Planung.

³² Vgl. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung.

³³ *Offshore* bezeichnet die Produktion von Windenergie im Meer. Im Gegensatz dazu erfolgt die *onshore* Produktion von Windenergie am Land an Küsten oder im Landesinneren.

³⁴ Ob mit den immer besser prognostizierbaren und geographisch breit verteilten neuen Erneuerbaren künftig noch Bandenergie (in heutigem Umfang) nötig sein wird, ist Gegenstand aktueller Forschung.

dann mit diesen Ländern einen wichtigen Beitrag zur Stromversorgungssicherheit leisten.

4.3 FORDERUNGEN AN DIE SCHWEIZER AUSSENPOLITIK

Eine schweizerische Stromstrategie, die europäische Partner miteinbezieht, ist nicht nur eine technische Möglichkeit sondern im Sinne einer nachhaltigen und vorwärtsgewandten Stromversorgung von grossem Vorteil. Durch die verstärkte Einspeisung von unregelmässig anfallendem Solar- und Windstrom, die Stromproduktion in entlegenen Gebieten und den Umbau der Stromproduktion (Kernenergieausstieg) wird der Stromaustausch zunehmen. Dies erfordert eine europäische, im besten Falle eine gesamteuropäische Strategie für den Umgang mit diesen Herausforderungen.

Schweizerische
Stromstrategie

Dementsprechend stellt dieses Diskussionspapier die Forderung nach einer schweizerischen Stromstrategie unter Einbezug von europäischen Partnern (kurz: europäische Stromstrategie), die eine nachhaltige und effiziente Stromversorgung der Schweiz und anderer europäischer Länder zum Ziel hat. Die wichtigsten Schritte dazu sind für die Schweiz die folgenden:

Forderung,
Schritte und
Massnahmen

Abschied von der Stromautarkie

Von der Idee der Stromautarkie muss Abschied genommen werden. Schon heute steht die Schweiz in regem Austausch mit dem Ausland und ist damit keineswegs autark, wie die nahezu ausgeglichene Jahresbilanz suggeriert. Mit den Bezugsrechten aus den französischen Kernkraftwerken besteht quasi schon heute eine Importstrategie.

Austausch statt
Autarkie

Die Stromautarkie anzustreben, ginge voraussichtlich mit einer signifikanten Erhöhung der Schweizer CO₂-Emissionen durch den Bau von Gaskraftwerken und mit dem Bedarf nach grossen Flächen für Photovoltaik- und Windkraftwerke einher. Zudem stellen sich grosse technische Herausforderungen bezüglich der Speicherung von Strom, der flexiblen Kompensation bei Nachfrageüberhang und nicht zuletzt erreichbaren Wirkungsgrade in der relativ wind- und sonnenarmen Schweiz. Diesen Herausforderungen kann mit einer verstärkten Austauschstrategie begegnet werden.

Nachteile einer
Stromautarkie

Vorreiterrolle

Die Schweiz ist nicht das einzige europäische Land, das ambitionierte Ziel in seiner Strompolitik verfolgt. Zusammen mit anderen Staaten, die ähnliche Ziele haben, also z.B. Deutschland und Belgien, die ebenfalls aus der Atomkraft aussteigen werden, und Norwegen und Dänemark, die jetzt schon zu grossen Teilen ihren Strombedarf durch Erneuerbare decken, muss die Schweiz eine Vorreiterrolle in Europa einnehmen und enger die gemeinsame Stromversorgung abstimmen. Gemeinsame Projekte und Studien können klären, wie Standortvorteile gemeinsam genutzt werden können, z.B. die Windenergie in Norddeutschland und Dänemark in Kombination mit den Pumpspeicherkraftwerken in der Schweiz. Pilotprojekte zeigen die Vorteile, die eine gemeinsame Stromstrategie den Vorreiterstaaten ergeben, auf. Die geplanten Gleichstromverbindungen NorGer und Nord.Link zwischen Deutschland und Norwegen könnten z.B. als ein solches Pilotprojekt definiert werden, da sie die Speicherkraftwerke Norwegens für die mitteleuropäische Stromversorgung öffnen.

Schweiz als
Vorreiter

Dazu braucht es gemeinsame Gremien für die Koordination zwischen den Vorreiterstaaten. Zudem sollte in diesem Rahmen eine Harmonisierung der Fördermodelle für erneuerbare Energien angestrebt werden. Es müssen des Weiteren Möglichkeiten geschaffen werden, andere Staaten, in denen ein Atomausstieg sehr unwahrscheinlich ist

Gremien und
harmonisierte
Fördermodelle

(z.B. Frankreich), in die Stromstrategie der Vorreiter einzubinden. Dies ist allein schon aufgrund des existierenden europäischen Verbundsystems³⁵ technisch unumgänglich.

Stromabkommen mit der EU

Der Abschluss des Stromabkommens zwischen der Schweiz und der EU ist voranzutreiben, sodass der grenzüberschreitende Stromhandel eindeutig geregelt und harmonisiert ist. Auch für das Ziel einer europäischen Stromstrategie ist es von grossem Vorteil, wenn es zu einem Stromabkommen kommt, da es allen Teilnehmern eine Gleichbehandlung zusichern wird. Unter den richtigen Rahmenbedingungen wird ein gemeinsamer liberalisierter Strommarkt zudem effiziente und nachhaltige Stromproduktion begünstigen. Gemeinsame Gremien werden zudem dem Dialog und der Koordination mit den europäischen Partnern dienen. Folgende Aspekte sollten dabei u.a.³⁶ in das Stromabkommen integriert werden, um dem Ziel einer nachhaltigen und effizienten europäischen Stromversorgung näher zu kommen:

Vorteile eines
Stromabkommens

- **RES-Richtlinie**
Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RES-Richtlinie) der EU legen die verbindlichen Ziele bezüglich des Ausbaus der neuen erneuerbaren Energien in den Mitgliedsstaaten fest. Dies sollte auch für die Schweiz übernommen werden.
- **Herkunftsnachweise**
Um die Herkunft des Stroms und damit seine Nachhaltigkeit zu belegen, braucht es einen europaweiten Herkunftsnachweis für Strom³⁷.
- **Stromhandel**
Der vermehrte Stromaustausch bedingt eine Regelung des grenzüberschreitenden Stromhandels. Das Stromabkommen muss Regeln für den diskriminierungsfreien Stromhandel enthalten.

Gleichzeitig ist festzuhalten, dass der Abschluss des Stromabkommens keine direkten Antworten auf die Frage der Schweizer Stromzukunft gibt. Da die Verhandlungen zum Stromabkommen zwischen der Schweiz und der EU aufgrund institutioneller Fragen blockiert sind (siehe 2.3) und der Umbau der Stromversorgung möglichst früh, koordiniert und effizient eingeleitet werden sollte, darf nicht länger gewartet werden. Daher sollte die Schweiz unabhängig von den Verhandlungen zum Stromabkommen bereits heute mit anderen europäischen Staaten eine Vorreiterrolle in der Gestaltung der zukünftigen Stromversorgung einnehmen. Der Abschluss des Stromabkommens ist hierfür keine zwingende Voraussetzung.

Verzögerter
Abschluss

Ein erster Schritt für die Vorreiterstaaten ist es also, eine gemeinsame Stromstrategie über Ländergrenzen hinweg zu entwickeln und Pilotprojekte zu definieren. Die Schweiz kann damit ihre Rolle als Pionierin in der europäischen Stromlandschaft, die sie in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts bei der Etablierung des Sterns von Laufenburg³⁸ innehatte, weiterführen.

³⁵ Das europäische Verbundsystem ist ein europaweites Stromnetz aus Hoch- und Höchstspannungsleitungen.

³⁶ Andere Punkte sind z.B. Marktmodelle, Engpassmanagement und Börsen.

³⁷ Seit 2006 gibt es in der Schweiz eine Pflicht zur Stromkennzeichnung für alle Unternehmen, die Endkunden in der Schweiz mit Elektrizität versorgen.

³⁸ Im Jahr 1958 wurden in Laufenburg die Stromnetze Deutschlands, Frankreichs und der Schweiz auf der 380 Kilovolt Spannungsebene zusammengeschaltet. Das zentrale Schaltfeld ist bei den Fachleuten als „Stern von Laufenburg“ bekannt. Mit dem Zusammenschluss der Stromnetze wurde in Europa zum ersten Mal eine grenzübergreifende Leistungs- und Frequenzregelung eingeführt und damit die Basis für einen internationalen Verbundnetzbetrieb gelegt.

5 FAZIT

Die Schweiz hat sich mit dem CO₂-Gesetz und dem Atomausstieg für eine Wende in der Stromversorgung entschieden. Eine nachhaltige Stromautarkie, d.h. ein grosser Zubau von neuen Erneuerbaren in der Schweiz, erscheint technisch sehr anspruchsvoll: Zum einen sind die Bedingungen in der Schweiz für die neuen Erneuerbaren nicht optimal. Zum anderen werden voraussichtlich zusätzliche Gaskraftwerke benötigt, die die CO₂-Bilanz der Schweiz verschlechtern würden. Ein Umbau der Schweizer Stromversorgung mit dem Ziel der Stromautarkie ist daher nicht erstrebenswert. Zudem gibt es die Stromautarkie bereits heute nicht: über das Jahr betrachtet, importiert und exportiert die Schweiz grosse Mengen an Strom. Mit den Bezugsrechten aus den französischen Kernkraftwerken besteht schon heute eine Importstrategie.

Stromautarkie
weder existent
noch erstrebenswert

Dagegen ist die Stromerzeugung aus den neuen Erneuerbaren in anderen Ländern deutlich effizienter möglich. Eine zukunftsorientierte Schweizer Stromversorgung muss deshalb einen europäischen Blickwinkel einnehmen. Eine Stromstrategie unter Einbezug von europäischen Partnern steht allerdings im Kontrast zu zahlreichen Studien zur Stromzukunft der Schweiz, die unabhängig vom Ausland eine möglichst weitgehende Autarkie anstreben und das Ausland als passive Quelle und Senke von Strom beschreiben.

Europäischer
Blickwinkel

Die Schweiz sollte mit anderen europäischen Ländern, die ähnliche Ziele bzgl. der Stromversorgung haben oder heute schon ihren Bedarf zu grossen Teilen durch erneuerbare Energien decken (z.B. Deutschland, Belgien, Dänemark und Norwegen), eine Vorreiterrolle einnehmen. Dies bedeutet, dass die Schweiz zusammen mit den genannten Ländern in Studien und Pilotprojekten eine gemeinsame Stromstrategie entwickelt, welche die geographischen Vorteile der einzelnen Länder für die Erzeugung und Speicherung von Strom einbeziehen. Stromerzeugung und –speicherung müssen dort stattfinden, wo optimale Voraussetzungen herrschen. Die Schweizer Rolle in einem europäischen Konzept ist die einer Stromdrehscheibe im Herzen Europas und einer „Batterie“ mit den Pumpspeicherkraftwerken in den Alpen. Statt einer zweifelhaften Stromautarkie ermöglicht ein solches Konzept eine nachhaltige Austauschstrategie.

Schweiz als
Vorreiter mit
europäischen
Partnern

Der Abschluss eines Stromabkommens mit der EU ist wegen der zahlreichen Vorteile wie Liberalisierung und Harmonisierung der Strommärkte und Gleichbehandlung der Teilnehmer wünschenswert. Er erscheint aber für eine europäische Stromstrategie mit Partnerstaaten vorläufig nicht zwingend. Um mit anderen Vorreiterstaaten den Umbau der Stromerzeugung in Angriff zu nehmen, muss und darf nicht auf ein Abkommen gewartet werden. Dessen Abschluss ist dennoch weiterhin entschlossen zu verfolgen.

Stromabkommen
wichtig

6 ANHANG

6.1 AUSFÜHRUNGEN ZU EFFIZIENZ UND SUFFIZIENZ

6.1.1 EFFIZIENZ

Effizienz bezeichnet die Reduktion des Stromverbrauchs ohne Verzicht im Endkonsum an energetischen Dienstleistungen. Dies bedeutet, dass der gleiche Konsum oder die gleiche industrielle Fertigung mit einem geringeren Stromverbrauch erreicht wird.

Eine Studie der International Energy Agency verdeutlicht das gewaltige Potenzial der Effizienzsteigerungen³⁹: Weltweit sind 43 bis 46% des Stromverbrauchs auf elektrische Motoren zurückzuführen. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Effizienzmassnahmen den Stromverbrauch der Motoren um bis zu 25% senken könnten. Dies würde den weltweiten Stromverbrauch um über 10% reduzieren. Auf die Schweiz übertragen bedeutete das, dass ein Einsparpotenzial von maximal 6 TWh/a vorhanden wäre⁴⁰. Dies ist mehr als die Jahresproduktion der Kernkraftwerke Beznau I und II zusammen.

IEA Studie

Im Zusammenhang mit der Effizienz muss der sogenannte Rebound-Effekt betrachtet werden: Er bezeichnet die Möglichkeiten, dass die durch effizienteren Stromeinsatz gesparten Stromkosten zur Finanzierung eines anderweitigen Stromkonsums ausgegeben werden können oder dass dieselbe, nun effizientere Dienstleistung verstärkt nachgefragt wird. Damit würde unter dem Strich eine geringere oder sogar gar keine Verbrauchsreduktion erreicht werden im Vergleich zum Fall ohne Rebound-Effekt⁴¹. Eine genaue Analyse dieses Effekts bei der Wahl der Effizienzmassnahmen bleibt deshalb unumgänglich.

Rebound Effekt

6.1.2 SUFFIZIENZ

Im Gegensatz zur Effizienz ist die Suffizienz eine Reduktion des Stromverbrauchs durch Verzicht. Sie setzt also bei der Frage an, ob der Konsum eines bestimmten Gutes überhaupt notwendig ist. Der Unterschied zur Effizienz lässt sich am Beispiel einer Glühlampe illustrieren: Wenn eine stets brennende alte Glühlampe durch eine Sparlampe ersetzt wird, spricht man von einer Erhöhung der Effizienz. Wird die Lampe bewusst ausgeschaltet und damit auf ständige Beleuchtung verzichtet, spricht man von Suffizienz. Eine Abschätzung des Stromeinsparpotenzials durch Suffizienz ist sehr schwierig, da es direkt vom Verhalten der Verbraucher abhängt.

Definition Suffizienz

³⁹ Vgl. Efficiency Opportunities for Electric Motor-Driven Systems.

⁴⁰ Dies gilt natürlich nur, wenn man annimmt, dass in der Schweiz prozentual gleich viele und gleiche Motoren wie im weltweiten Schnitt vorhanden wären. Aufgrund des grossen Dienstleistungssektors der Schweiz dürfte das diesbezügliche Einsparpotential jedoch geringer sein.

⁴¹ Siehe z.B. UK Energy Research Centre, The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency, 2007.

6.2 NICHT-NUKLEARE TECHNOLOGIEN ZUR STROMERZEUGUNG IM INLAND

6.2.1 WINDENERGIE

Die Windenergie spielt in der Schweizer Stromversorgung mit einem Anteil an der Erzeugung von 0.6% (2010) eine untergeordnete Rolle⁴². Sie basiert auf der Bewegungsenergie der Luftmassen, die mittels Windrädern und Generatoren in Strom umgewandelt wird. Besonders geeignet ist die Technologie für Regionen, in denen ein gleichmässiger, kräftiger Wind weht, wie es z.B. in vielen Küstenregionen der Fall ist. Die Stromerzeugung durch Windenergie unterliegt aufgrund der Schwankungen der Windstärke grossen Fluktuationen. Diese lassen sich zwar immer besser prognostizieren, für eine zeitlich konstante Produktion müssen sie aber durch die Kombination mit anderen Stromerzeugungstechnologien oder Speichern ausgeglichen werden.

Prinzipien der Windenergie

Gute küstennahe Standorte haben Kapazitätsfaktoren⁴³ von um die 40%, während dieser auf 20% im Binnenland fallen kann. Zum Beispiel generiert ein Windrad mit 2 MW Nennleistung an einem Standort mit einem Kapazitätsfaktor von 20% pro Jahr eine Strommenge von $2 \text{ MW} \times 0.20 \times 8760 \text{ h} = 3.5 \text{ GWh}$.

Für die Abschätzungen bzgl. der Windenergie in der Schweiz in Kapitel 3.4 wird eine durchschnittlich installierte Leistung von 2 MW pro Windrad und ein Kapazitätsfaktor von 20% angenommen. Da Windräder in einem Windpark aufgrund des erzeugten Windschattens nicht beliebig dicht gebaut werden können, muss gemäss Faustregel ein Mindestabstand des fünf- bis siebenfachen Rotordurchmessers der Windräder eingehalten werden. Dies führt zu dem grossen Flächenbedarf, den ein Windpark einnimmt. Hier wird ein Faktor von sechs bei einem Rotordurchmesser von 82 m genommen.

Quantitative Abschätzungen

6.2.2 SOLARENERGIE

Die Photovoltaik nutzt die Energie des Sonnenlichts, um mittels Halbleiterbauelementen Strom zu erzeugen. Diese Technologie wird in der Schweiz aktuell mit rund 0.13% (2010) an der gesamten Erzeugung noch nicht in grossem Massstab verwendet (BFE, 2012 a). Sie ist effizient in Gebieten mit einer hohen Sonneneinstrahlung wie zum Beispiel Südeuropa und Wüstenregionen. Die Stromerzeugung ist nur tagsüber möglich, womit es unerlässlich ist, die Erzeugung aus Photovoltaik mit anderen, steuerbaren Stromerzeugungstechnologien oder Speichern zu ergänzen, um eine kontinuierliche Stromversorgung zu garantieren.

Prinzipien der Photovoltaik

Unter Globalstrahlung versteht man die Sonneneinstrahlungsleistung pro Fläche. Über ein Jahr aufsummiert ergibt sie Energiedichten von ca. 1000 bis 1200 kWh/m² in der Schweiz, welche einer durchschnittlichen Leistung von ca. 130 W/m² entspricht. An Alpensüdhängen kann die Globalstrahlung höhere Werte annehmen. In Spanien dagegen beträgt die Globalstrahlung im Mittel 230 W/m².

Quantitative Abschätzungen

⁴² Vgl. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011.

⁴³ Der Kapazitätsfaktor gibt das Verhältnis zwischen der durchschnittlich generierten Leistung und der Nennleistung eines Windrades an und ist damit stark ortsabhängig.

Für die Abschätzungen in Kapitel 3.4 wird eine Globalstrahlung von 130 W/m^2 bei einem Wirkungsgrad von 14% angenommen. Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis aus ausgegebener elektrischer Leistung und eingestrahelter Globalstrahlung.

Solarthermische Kraftwerke nutzen die Wärme der Sonne, um in konzentrierter oder unkonzentrierter Form Dampf und anschliessend Strom zu erzeugen. Sie erreichen je nach Bauart höhere Wirkungsgrade als Photovoltaik-Anlagen, haben jedoch höhere Betriebs- und Wartungskosten und erfordern deshalb eine bestimmte Mindestgrösse. Sie sind nur in den Regionen der Erde einsetzbar, in denen es häufig direkte Sonneneinstrahlung gibt. Für die Schweiz kommen sie daher nicht in Frage.

Solarthermie
keine Option

6.2.3 WASSERKRAFTWERKE

Wasserkraftwerke haben aktuell den grössten Anteil an der Schweizer Stromproduktion. Allerdings ist ein weiterer Ausbau im grossen Massstab kaum möglich, da die wenigen noch vorhandenen Möglichkeiten aufgrund von Landschafts- und Gewässerschutzgründen politisch kaum durchsetzbar sind. Als Beispiel sei hier die Greina-Ebene genannt: Gegen ihre Nutzung als Stausee gab es landesweite Proteste, so dass diese Pläne 1986 schliesslich endgültig verworfen wurden.

Beschränkte
Ausbaumöglichkeiten

Das BFE geht unter optimierten Nutzungsbedingungen von einem zusätzlichen Potenzial von 3.2 TWh/a aus, welches sowohl den Zubau von Gross- und Kleinwasserkraft und die Aufrüstung bestehender Kraftwerke beinhaltet als auch die zu erwartende Minderproduktion aufgrund von Restwasserbestimmungen und Klimaerwärmung⁴⁴.

6.2.4 BIOMASSE

Unter den Begriff Biomasse fallen verschiedene Energieträger wie zum Beispiel Holz, Ernterückstände, Gülle, Gras und Altholz. Das nachhaltige Biomassepotenzial der Schweiz ist aktuell noch nicht ausgeschöpft; so wird beispielsweise jährlich weniger Holz genutzt als nachwächst. Die vermehrte energetische Verwertung von Biomasse kann vorhandene Abfälle nutzen und beeinflusst die CO_2 -Bilanz nur geringfügig⁴⁵. Biomassetrug im Jahr 2010 rund 0.3% zur Stromproduktion bei⁴⁶.

Definition Bio-
masse

Für die Stromerzeugung aus Biomasse bieten sich insbesondere Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) an, die sowohl Strom als auch Wärme erzeugen. Sie bieten aufgrund der schnellen Zu- und Abschaltzeiten eine hohe zeitliche Flexibilität in der Stromerzeugung und weisen dank der Kopplung einen hohen Wirkungsgrad auf. Die Ausführung in dezentralen Anlagen minimiert ausserdem die Transportwege für den Brennstoff. Das Stromerzeugungspotenzial wird auf 5 bis 8 TWh/a (mehrheitlich aus Holz) geschätzt, also auf rund 10% der aktuellen Stromnachfrage⁴⁷ (siehe auch Kapitel 3.1).

Nutzungsmöglichkeiten und
Potenzial

⁴⁴ Vgl. Wasserkraftpotenzial der Schweiz.

⁴⁵ Biomasseenergie ist CO_2 -neutral, da das CO_2 , das bei der Verwertung entsteht beim Wachstum der Pflanze aufgenommen wurde. Das gilt nur unter der Bedingung, dass nicht mehr Biomasse genutzt wird, als nachwächst.

⁴⁶ Vgl. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011.

⁴⁷ Vgl. ETH Energiezukunft Schweiz.

6.2.5 GEOTHERMIE

Die Nutzung der Geothermie, also der Wärme aus dem tiefen Erdinneren, ist durch den momentanen Stand der Technologie begrenzt. Erstens ist die Erschliessung des Wärmereservoirs in Tiefen von bis zu mehreren Kilometern technologisch schwierig. Zweitens sind die hohen Investitionskosten (u.a. für die Bohrungen) mit dem Risiko verbunden, in der Tiefe doch keine geeigneten Bedingungen vorzufinden. Daher gibt es in der Schweiz bisher keine kommerzielle Nutzung der Geothermie.

Technische
Grenzen

Geothermie bietet sich für die Erzeugung von Bandenergie⁴⁸ an. Ihr Potenzial wird auf 0 bis 8 TWh/a bis zum Jahr 2050 geschätzt⁴⁹ (siehe auch Kapitel 3.1). Dabei ist jedoch davon auszugehen, dass bei einem Technologieschub das Potenzial schnell vollständig ausgeschöpft würde.

Potenzial

6.2.6 GAS- UND DAMPKRAFTWERKE

Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) können mit Erdgas (oder auch Erdöl) befeuert werden. Typische Anlagen haben eine Leistung von um die 550 MW; zwei GuD können also ein modernes Kernkraftwerk ersetzen. Ihr grosser Vorteil sind ihre flexiblen Einsatzmöglichkeiten: Im Gegensatz zu Kernkraftwerken können sie auch zur Abdeckung von Lastschwankungen genutzt werden. Dieser Vorteil wird mit einem CO₂-Ausstoss von ca. 360 g/kWh_{el} erkauft. Gemäss dem neuen CO₂-Gesetz müssen die CO₂-Emissionen allfälliger GuD zu 100% kompensiert werden (siehe Kapitel 2.2.2).

Potenzial und
CO₂-Ausstoss

Die Anzahl der GuD in Kapitel 3.4 wurde unter der Annahme von Bandenergieerzeugung bestimmt, nämlich mit 7500 Volllaststunden (entsprechend einer Auslastung von 86%) bei einer elektrischen Leistung von 550 MW pro Block.

6.3 NET TRANSFER CAPACITIES

Die ENTSO-E weist jeweils für das Winter- und Sommerhalbjahr die sogenannten *net transfer capacities* aus. Diese Grenzkapazitäten werden für alle Grenzen angegeben, bei denen Stromleitungen zwischen den beiden Ländern bestehen. Diese Werte geben einen Anhaltspunkt zu den (saisonalen) Engpässen im länderübergreifenden, europäischen Stromnetz. Aufgrund von Transitlieferungen, Lieferverträgen und weiteren Gründen lassen sich die Werte jedoch nicht aufsummieren, um eine allfällige gesamthaft mögliche Import- bzw. Exportkapazität eines Landes zu ermitteln. Dennoch lassen sich qualitative Abschätzungen über die Grössenordnung der maximal möglichen Importe und Exporte eines Landes je Saison tätigen.

Saisonale
Kapazitäts-
Engpässe

⁴⁸ Mit „Bandenergie“ wird ein Grundbedarf an Strom bezeichnet, der jeden Tag unabhängig von der Uhrzeit nachgefragt wird. In der Schweiz wird die Bandenergie momentan durch Kernkraftwerke und Laufwasserkraftwerke geliefert.

⁴⁹ Vgl. ETS Energiestrategie 2050.

7 LITERATURVERZEICHNIS

Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010, BFE, 2011

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_1762876.pdf&endung=Schweizerische%20Elektrizit%E4tsstatistik%202010

(zit. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010)

Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2010 nach Verwendungszwecken, BFE, 2011

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_411314235.pdf&endung=Analyse%20des%20schweizerischen%20Energieverbrauchs%202000%20-%202010%20nach%20Verwendungszwecken

(zit. Schweizerischer Energieverbrauch nach Verwendungszwecken)

Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, BAFU, 2012

http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t.Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCFeHx5gmym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--

(zit. Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll)

Bundesrat beschliesst im Rahmen der neuen Energiestrategie schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie, 25.05.2011

<http://www.admin.ch/aktuell/00089/?lang=de&msg-id=39337>

(zit. Bundesrat beschliesst Ausstieg aus der Kernenergie)

Zu viele Fahrpläne für einen Atomausstieg, NZZ, 19.02.2013

<http://www.nzz.ch/meinung/kommentare/zu-viele-fahrplaenefuer-einen-atomausstieg-1.18009688>

(zit. Zu viele Fahrpläne für einen Atomausstieg)

Bundesrätin Leuthard unterzeichnet Zusatzvertrag mit der Stiftung Klimarappen, UVEK, 2012

<http://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=43038>

(zit. Zusatzvertrag mit der Stiftung Klimarappen)

Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011 über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz), SR 641.71, 23.12.2011

http://www.admin.ch/ch/d/sr/c641_71.html

(zit. CO₂-Gesetz 2011)

Gutachten zur Auslegung der Emissionsverminderungen "im Inland", Universität St.Gallen, 2011

http://www.vischer.com/uploads/attachment/file/10/PHE_MWA_Gutachten_Emissionsverminderungen_111130.pdf

(zit. Gutachten zur Auslegung der Emissionsverminderungen "im Inland")

Dossier des EDA/DEA zu Strom und Energie

<http://www.europa.admin.ch/themen/00499/00503/00563/index.html?lang=de&>

(zit. EDA/DEA Strom/Energie)

Gutachten über mögliche Formender Umsetzung und Anwendung der bilateralen Abkommen, Daniel Thürer, 07.07.2011

http://www.europa.admin.ch/themen/00499/00503/01777/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t.Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCDdoR_g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--

(zit. Gutachten über mögliche Formender Umsetzung und Anwendung der bilateralen Abkommen)

Freundlich und unmissverständlich, NZZ, 11.01.2013

<http://www.nzz.ch/aktuell/schweiz/--1.17933126>

(zit. Freundlich und unmissverständlich)

BFE Energiestrategie 2050

http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=de&dossier_id=05024

(zit. BFE Energiestrategie 2050)

ETS Energiestrategie 2050, ETS, 2010

http://www.energietriolog.ch/cm_data/Grundlagenbericht.pdf

(zit. ETS Energiestrategie 2050)

Energiestrategie für die ETH Zürich, ETH, 2008

<http://www.esc.ethz.ch/publications/energy/energy/Energiestrategie.pdf>

(zit. 1 Tonne CO₂-Gesellschaft)

Energiezukunft Schweiz, ETH, 2011

http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/111114_energiestudie_rok/energiestudie_def

(zit. ETH Energiezukunft Schweiz)

Cleantech Energiestrategie, swisscleantech, 2011

http://www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA_energiestrategie_version2D2_r.pdf

(zit. swisscleantech Energiestrategie)

Wege in die neue Stromzukunft, VSE, 2012

http://www.strom.ch/uploads/media/VSE_Wege-Stromzukunft_Kurzbericht_2012.pdf

(zit. VSE Studie zur Stromzukunft)

Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und internationale Entwicklung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2012

http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf

(zit. Erneuerbare Energien in Zahlen)

Energieperspektiven 2050 - Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen, BFE, 2011

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_843539266.pdf&endung=Energieperspektiven%202050%20-%20Absch%20tzung%20des%20Ausbaupotenzials%20der%20Wasserkraftnutzung%20unter%20neuen%20Rahmenbedingungen

(zit. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung)

Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems, International Energy Agency, 2011

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_ElectricSystems.pdf

(zit. Efficiency Opportunities for Electric Motor-Driven Systems)

Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011, BFE, 2012

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_1184773.pdf&endung=Schweizerische%20Elektrizit%E4tsstatistik%202011

(zit. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011)

Wasserkraftpotenzial der Schweiz, BFE, 2012

<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/27057.pdf>

(zit. Wasserkraftpotenzial der Schweiz)