



18. Mai 2015

13.074 n Energiestrategie 2050, erstes Massnahmenpaket

Annahmen und Methoden diverser Studien zu Energieperspektiven

Bericht zuhanden der UREK-S

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	3
2. Wichtige Annahmen, gesamtwirtschaftliche Rahmendaten und Überblick über die Hauptergebnisse der verschiedenen Studien	5
2.1. Grundlagen der Modelle der ES 2050.....	6
2.1.1. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000-2050 (Prognos 2012).....	6
2.1.2. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, volkswirtschaftliche Auswirkungen (Ecoplan 2012).....	11
2.2. Wege in die neue Stromzukunft (VSE 2012).....	12
2.3. Energiezukunft Schweiz (ETH 2011).....	14
2.4. Kosten der (Nicht-)Energiewende (Meier 2013).....	16
2.5. Energiestrategie 2050: eine ökonomische und institutionelle Analyse (IWSB, Borner et al. 2014).....	17
2.6. Energiewende in der Schweiz: Simulationsergebnisse zur Energiestrategie des Bundes, KOF ETH 2013 (Egger und Nigai 2013).....	18
2.7. Energy [r]evolution (Greenpeace 2013).....	19
2.8. Cleantech Energiestrategie 4.0 (Cleantech 2014).....	21
3. Literaturverzeichnis	22

1. Ausgangslage

Die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (UREK-S) beauftragte das Bundesamt für Energie (BFE) am 31. März 2015, eine Übersicht über verschiedene Studien zu Energieperspektiven bezüglich der wichtigsten Annahmen und Ergebnisse zu erstellen. Im vorliegenden Bericht werden somit verschiedene Studien kurz dargestellt, welche zwischen 2011 und 2014 im Rahmen der Energiestrategie 2050 (ES 2050) des Bundesrates vom BFE und anderen Institutionen nach der Nuklearkatastrophe von Fukushima publiziert wurden. Das Paul Scherrer Institut (PSI) hat im Dezember 2014 zudem einen detaillierten Vergleich von Elektrizitätsszenarien diverser Studien publiziert (PSI 2014)¹. Diese Analyse deckt nur den Elektrizitätsteil ab, der restliche Teil des Energiesystems (z.B. fossiler Endverbrauch) wird nicht betrachtet.

Die Grundlage für den Vergleich bilden die publizierten Berichte. Die betrachteten Studien sind in der Tabelle 1 aufgelistet. Diese Studien bilden nur einen Bruchteil der insgesamt publizierten Dokumente im Zusammenhang mit der ES 2050. Im vorliegenden Bericht werden nur Studien dargestellt, welche zumindest teilweise auf eigenen Analysen (Modellierungen) beruhen. Auf Meta-Studien, welche andere Arbeiten vergleichen und kommentieren, wird in diesem Bericht nicht eingegangen.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die meisten modellbasierten Studien – so wie auch die Energieperspektiven des Bundes – Annahmen zu Rahmenbedingungen aus offiziellen konsistenten Quellen nutzen. So stammen Annahmen zur Entwicklung von Bevölkerung, BIP und internationalen Energiepreisen (sofern diese nicht endogen berechnet werden) meist aus Szenarien des Bundesamtes für Statistik (BFS), des Staatssekretariates für Wirtschaft (SECO) sowie der Internationalen Energieagentur (IEA). Es sind Unterschiede in den Szenarien zur Entwicklung des Energiesystems sowie die jeweilige Modellierung, welche in gewissen Fällen zu unterschiedlichen Resultaten führen.

Weiter ist die Feststellung wichtig, dass die Energieperspektiven auf lange Frist ausgerichtet sind, mit Zwischenzielen bei der Förderung der Erneuerbaren bzw. der Energieeffizienz bis 2020, 2035 bzw. 2050. Konjunkturelle Schwankungen bei den Rahmenbedingungen, wie beispielsweise die Stärke des Schweizer Frankens, wirken sich hingegen kurzfristig aus. Sie beeinflussen die Zielerreichung, wie sie in der ES 2050 vorgesehen ist, nur marginal. Allenfalls wird die Zielerreichung um wenige Jahre nach hinten verschoben. Ausschläge wird es immer geben, auch solche, die sich positiv auf die Zielerreichung auswirken. Als solche können beispielsweise Technologiesprünge erwähnt werden, die es in den nächsten 20 bis 30 Jahren mit grosser Wahrscheinlichkeit geben wird, die aber in den Perspektiven auch nicht berücksichtigt sind.

¹ Abrufbar unter: http://www.psi.ch/eem/PublicationsTabelle/PSI-Bericht_14-05.pdf

Kurztitel	Autor, genauer Titel der Studie	Jahr
Prognos 2012	Prognos AG / BFE, Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel, September 2012	2012
Ecoplan 2012	Ecoplan, Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen, Schlussbericht, September 2012	2012
ETH 2011	G. Andersson, K. Boulouchos & L. Bretschger, Energiezukunft Schweiz, Energy Science Center, ETHZ, Zürich, November 2011	2011
VSE 2012	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE), Wege in die neue Stromzukunft, Aarau, 2012	2012
Greenpeace 2013	Greenpeace, Energy [r]evolution - eine nachhaltige Energieversorgung für die Schweiz, November 2013	2013
Cleantech 2014	Wirtschaftsverband swisscleantech, Cleantech Energiestrategie, Version 4.0, November 2014	2014
Meier 2013	B. Meier. Kosten der (Nicht-)Energiewende. Studie im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung SES, 17. Juni 2013, Winterthur.	2013
IWSB 2014	S. Borner, D. Hauri, B. Wyss, B. Schips & M. Saurer: Energiestrategie 2050: eine institutionelle und ökonomische Analyse.	2014
KOF-ETH 2013	P. Egger, S. Nigai, Energiewende in der Schweiz: Simulationsergebnisse zur Energiestrategie des Bundes, KOF Studien, 38, Zürich, Januar 2013	2013

Tabelle 1: Liste der in diesem Bericht betrachteten Studien

Wegen der unterschiedlichen Herangehensweisen und Abgrenzungen der untersuchten Studien ist eine einheitliche Darstellung zu Vergleichszwecken schwierig. Zudem ist auch die Spannweite der Studien bezüglich Umfang und Betrachtungstiefe gross. Die Tabelle 2 gliedert die Studien bezüglich den Merkmalen Modell, Zeithorizont, Energieträger, Massnahmen und Ergebnisse der Modellrechnungen. Die Studien werden im Folgenden kurz dargestellt. Auf einen detaillierten Vergleich wird hingegen verzichtet.

Studie	Modell-gestützt	Horiz-ont	Energie-träger	Massna-hmen	Ergebnisse der Modellrechnung				
					Nachfrage	Angebot	CO ₂	Kosten	VW-Auswirk.
Prognos 2012	Ja	2050	Alle	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
Ecoplan 2012	Ja	2050	Alle	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
VSE 2012	Ja	2050	Strom	Ja	Strom	Ja	Ja	Ja	Ja
ETH 2011	Teilweise	2050	Alle	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Greenpeace 2013	Teilweise	2050	Alle	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Cleantech 2014	Ja	2050	Alle	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Meier 2013	Ja	2050	Alle	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
IWSB 2014	Nein	2050	Strom	Nein	Nein	Teilweise	Nein	Ja	Nein
KOF-ETH 2013	Ja	2000 stat-isch	Alle	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabelle 2: Synopsis Studien

2. Wichtige Annahmen, gesamtwirtschaftliche Rahmen- daten und Überblick über die Hauptergebnisse der verschiedenen Studien

Bottom-up-Modelle – wie sie für die Energieperspektiven benutzt worden sind – zeigen in Szenariendarstellungen die Auswirkung von energiepolitischen Massnahmen oder Wege zur Erreichung energiepolitischer Ziele auf. Oft werden die Resultate der bottom-up-Modelle mit allgemeinen Gleichgewichtsmodellen auf volkswirtschaftliche Auswirkungen hin überprüft. Im Vordergrund steht die Frage, wie sich Bevölkerungswachstum, Wirtschaftsentwicklung (BIP) und Energiepreise (Rahmenentwicklungen) sowie technischer Fortschritt, Vorschriften, preisliche Instrumente und Förderinstrumente (Politikinstrumente) auf das Energiesystem auswirken. Hierzu werden verschiedene, in sich konsistente Szenarien betrachtet (Wenn-Dann-Analysen). Zudem werden mit allgemeinen Gleichgewichtsmodellen die volkswirtschaftlichen Auswirkungen berechnet (siehe z.B. Ecoplan 2012).

In den folgenden Abschnitten werden die „Wenn“-Vorgaben für die Szenarien der verschiedenen Studien dargestellt. Es wird auch auf die gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten eingegangen und es werden die wichtigsten aus diesen Rahmendaten abgeleiteten Grössen vorgestellt. Neben generellen Vorgaben (wie z.B. der Ausstieg aus der Kernenergie) ist das Energiesystem von internationalen Energiepreisen, von internationalen Politiken (beispielsweise können in der Schweiz nur sparsame Autos importiert werden, wenn diese im Ausland auch produziert werden), von der schweizerischen Wirtschaftsstruktur, der Bevölkerungsentwicklung usw. wesentlich beeinflusst. Diese Rahmendaten sind in vielen Modellen exogen vorgegeben. Diese Vorgaben sind notwendig, da in den Szenarien die von der Bevölkerung und der Wirtschaft benötigten Energiemengen berechnet werden sollen. Die im vorliegenden Bericht angegebenen Werte entsprechen den Zahlen, welche in den betrachteten Berichten publiziert sind. In vielen Fällen sind die Annahmen und detaillierten Zahlen jedoch nicht öffentlich verfügbar.

2.1. Grundlagen der Modelle der ES 2050

2.1.1. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000-2050 (Prognos 2012)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung	Alle	Mio.	7.9	8.4	8.9	9.0	BFS, Sz. A-00-2010
Wirtschaftswachstum BIP, real, von 2010	Alle	Mrd. CHF	547	618	700	801	SECO 2010
Schweizerische Branchenstruktur	Alle	Branchenentwicklungen der Schweizerischen Bundeskanzlei und des Bundesamts für Statistik unter Einbezug einer interdepartemental zusammengesetzten Begleitgruppe.					
Energiebezugsflächen	Alle	Mio. m ²	708.8	798.5	885.7	937.5	Wüest und Partner, Anpassung Prognos
Verkehrsmengen, Personenverkehr	WWB/POM	Mrd.Pers.km	114.2	131.1	146.0	151.3	ARE 2012, Verkehrsperspektiven
	NEP	Mrd.Pers.km	114.2	126.6	137.0	140.3	ARE 2012, Verkehrsperspektiven
Verkehrsmengen, Güterverkehr	WWB/POM	Mrd. t. km	26.9	34.2	40.3	42.3	ARE 2012, Verkehrsperspektiven
	NEP	Mrd. t. km	26.9	34.5	39.3	39.7	ARE 2012, Verkehrsperspektiven
Weltmarktenergiepreise, Erdöl, real 2010	WWB, POM	\$ / barrel	76	99.9	114.1	116.9	IEA WEO 2010, New policy, Prognos
	NEP	\$ / barrel	76	90.8	90.9	83.5	IEA WEO 2010, 450 ppm, Prognos
CO ₂ -Preise aus ETS, real 2010	WWB, POM	\$ / Tonne	15	38	50	56	IEA WEO 2010, New policy, Prognos
	NEP	\$ / Tonne	15	45	120	137	IEA WEO 2010, 450 ppm, Prognos
Wechselkurs (€/CHF)	Alle	-	1.38	1.38	1.38	1.38	
Wechselkurs (\$/CHF)	Alle	-	1.04	1.04	1.04	1.04	
Volkswirtschaftlicher Zinssatz	Alle			2.5%			

Tabelle 3: Rahmendaten in Prognos 2012

Für die Berechnung der Energieperspektiven 2050 (EP 2050) werden für jeden einzelnen Sektor (Haushalte, Industrie, Dienstleistung und Verkehr) sowie in einem Elektrizitätsangebotsmodell die möglichen Entwicklungen der Energienachfrage sowie des Energieangebots untersucht. Zur Deckung der Stromnachfrage werden vier verschiedene Angebotsvarianten analysiert. Die EP 2050 umfassen alle Energieträger. Sie untersuchen sowohl Szenarien mit vorgegebenen Massnahmen (massnahmenorientiert), nämlich die Szenarien „Weiter wie bisher“ (WWB) und „Politische Massnahmen“ (POM), als auch das zielorientierte Szenario „Neue Energiepolitik“ (NEP), welches zum Ziel hat, bis zum Jahr 2050 ein Energiesystem mit einem energetisch bedingten CO₂-Ausstoss von 1.5 t pro Kopf zu erreichen.²

Grundlage für die Modellierung ist die exogen vorgegebene, langfristige strukturelle Entwicklung der Gesellschaft und Wirtschaft (Bevölkerung, BIP, Branchenstruktur inklusive Beschäftigte sowie internationale Rahmenbedingungen wie Weltmarktpreise für Energieträger) bis 2050, welche für alle Szenarien gleich ist. Das BFE verwendet, soweit vorhanden, offizielle, von anderen Bundesstellen ausgearbeitete Datengrundlagen. Damit sind die Datenquellen transparent. Zudem hilft dieses Vorgehen mit, die Vergleichbarkeit von Studien der Bundesverwaltung zu verbessern.

² Für eine detaillierte Beschreibung der Szenarien siehe Prognos, 2012. Dieses Zielszenario NEP bedingt eine international abgestimmte Energiepolitik (z.B. können die best-practice-Technologien im Verkehr nur in verstärktem Masse verwendet werden, wenn die Autoindustrie entsprechende Fahrzeuge bereitstellt).

Diese Vorgaben bestimmen wesentlich die daraus für die Modelle abgeleiteten Grössen. Gestützt auf diese Annahmen wird ein dynamisches Gerüst von sogenannten MengenkompONENTEN abgeleitet. Diese MengenkompONENTEN beschreiben die für die Energienachfrage relevanten wirtschaftlichen Aktivitäten (z.B. beheizte Wohnfläche, Verkehrsleitungen oder Fahrzeugbestände, Produktionsmengen und Arbeitsplätze). Dieses strukturelle Gerüst bleibt in den verschiedenen Szenarien unverändert, mit Ausnahme der Verkehrsleistungen, die im Szenario NEP entsprechend der Zielsetzung und dem im Szenario angenommenen politischen Umfeld leicht angepasst werden.

Die schweizerischen Energiepreise werden wesentlich von den Weltmarktenergiepreisen bestimmt. Weitere Faktoren sind Wechselkursveränderungen, allfällige Verarbeitungskosten, Steuern und die CO₂-Abgabe. Für den inländischen Strompreis kommen zusätzlich die Gestehungskosten im Kraftwerkspark inkl. Brennstoffkosten und Netznutzungskostenentwicklung zur Anwendung.

Der Energieverbrauch setzt sich aus einer Vielzahl von Verwendungszwecken zusammen. Das Energiesystem wird auf physikalischer Grundlage mit der so genannten Bottom-up-Modellierung abgebildet. Das Stromangebot wird mit einem detaillierten Kraftwerkspark analysiert. Beim Stromangebot werden verschiedene Annahmen getroffen. Beim grenzüberschreitenden Handel ist die Betrachtungsebene die nationale Bilanz. Die Schliessung der Stromlücke wird rein physikalisch modelliert. Ob dieser Bedarf dann in- oder ausländisch gedeckt wird, ist eine Frage der politischen und gesellschaftlichen Debatte, nicht der Modellierung. Daher werden Eckvarianten verschiedener Technologien (GuD, EE und Importe, usw.) gerechnet. Es wird kein spezifisches Strommarktdesign unterstellt, nach dem sich zusätzliche Einsatzregeln für die vorkommenden Stromerzeugungstechnologien ergeben würden. Für die Berechnung der Stromgestehungskosten im volkswirtschaftlichen Sinne wird von einem gesamtwirtschaftlichen Ansatz ausgegangen und mit einem gesamtwirtschaftlichen Zinssatz von 2.5 Prozent gerechnet, wobei der Abschreibungszeitraum gleich der technischen Lebensdauer der Anlage ist.

Hauptergebnisse der Studie

Tabelle 4 stellt die resultierende Entwicklung der Endenergienachfrage der verschiedenen modellierten Szenarien dar. Die bereits heute beschlossenen Massnahmen, welche im Szenario „Weiter wie bisher“ modelliert sind, bewirken vorerst eine Stabilisierung des Endenergieverbrauchs und langfristig eine Senkung. Im Szenario „Politische Massnahmen Bundesrat“ (POM) sinkt der Endenergieverbrauch bis 2050 im Vergleich zum Jahr 2010 um 32,7%.

	Endenergienachfrage in PJ					Endenergienachfrage pro Kopf in GJ					Endenergienachfrage pro BIP in MJ pro Franken				
	2000	2010	2020	2035	2050	2000	2010	2020	2035	2050	2000	2010	2020	2035	2050
WWB	777	841	788	706	658	108	107	93	79	73	1.7	1.5	1.3	1.0	0.8
POM	777	841	767	639	565	108	107	91	72	63	1.7	1.5	1.2	0.9	0.7
NEP	777	841	734	549	451	108	107	87	62	50	1.7	1.5	1.2	0.8	0.6

Tabelle 4: Endenergienachfrage, absolut in PJ, pro Kopf und pro BIP-Einheit nach Szenarien, Prognos 2012

Die CO₂-Emissionen der Endenergienachfrage pro Kopf gehen bis 2050 im Szenario POM auf knapp ein Drittel des Wertes des Jahres 2000 zurück. Bereits im Szenario WWB halbieren sie sich. Diese Entwicklung ergibt sich aus der Substitution von Heizöl zu Erdgas und zu den erneuerbaren Energieträgern bei der Wärmenachfrage und der Substitution von Benzin zu Diesel sowie der

Elektrifizierung des Privatverkehrs. Zudem dämpfen die Emissionsstandards für Personenfahrzeuge den Verbrauch fossiler Treibstoffe.

Die gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen setzen sich aus den nachfragebedingten und den angebotsseitigen Emissionen zusammen. Die gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen (Nachfrage, Umwandlung und stat. Differenz) nach CO₂-Gesetz sind in Tabelle 5 dargestellt.

CO ₂ -Emissionen Angebotsvariante	2000	2010	2020			2035			2050		
			WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP
Var. C (gesamt)	40.8	41.5	36.4	34.3	30.8	36.1	29.7	21.5	31.4	23.2	12.4
Var. C&E (gesamt)	40.8	41.5	36.1	34.0	30.5	33.7	27.3	19.3	26.6	19.6	10.0
Var. E (gesamt)	40.8	41.5		34.0	30.5		23.6	16.4		17.3	9.2
Var. C (pro Kopf)	5.7	5.3	4.3	4.1	3.7	4.1	3.3	2.4	3.5	2.6	1.4
Var. C&E (pro Kopf)	5.7	5.3	4.3	4.0	3.6	3.8	3.1	2.2	2.9	2.2	1.1
Var. E (pro Kopf)	5.7	5.3		4.0	3.6		2.7	1.8		1.9	1.0

Tabelle 5: Gesamte energiebedingte CO₂-Emissionen nach CO₂-Gesetz sowie gesamte energiebedingte CO₂-Emissionen pro Kopf

Die Elektrizitätsnachfrage im Szenario WWB nimmt von 2000 bis 2050 stetig zu. Im Szenario NEP steigt die Elektrizitätsnachfrage bis 2016 an und sinkt dann bis 2035, bzw. 2050 geringfügig ab. Im Szenario POM vermögen die vorgeschlagenen Instrumente und Massnahmen die Elektrizitätsnachfrage pro Kopf bis 2035 zu senken. Ab 2035 steigt die Nachfrage wieder leicht an. Auf der einen Seite gilt wie bei der Energienachfrage zu beachten, dass die Instrumente und Massnahmen mit bis 2050 unveränderten Beträgen (also nominal konstant) ausgestattet sind und dass in den ersten Jahren die kostengünstigsten Effizienzmassnahmen ergriffen werden. Auf der anderen Seite wirkt auch die verstärkte Elektrifizierung des privaten Verkehrs ab 2035 auf die Elektrizitätsnachfrage pro Kopf. Für das Szenario WWB gilt Analoges wie für das Szenario POM. Da jedoch in diesem Szenario weit weniger Instrumente und Massnahmen zur Anwendung kommen liegt die Elektrizitätsnachfrage pro Kopf im Szenario WWB über derjenigen des Szenarios POM. Für die Erreichung der Zielvorgaben des Szenarios NEP müssen alle Effizienzmassnahmen umgesetzt werden. Dies hat zur Folge, dass der Elektrizitätsverbrauch pro Kopf bis 2050 sinkt. Allerdings schwächt sich der Rückgang ab 2035 ab, da im Vergleich zum Szenario POM der private Personenverkehr verstärkt elektrifiziert wird.

	Elektrizitätsnachfrage in PJ					Elektrizitätsnachfrage pro Kopf in GJ					Elektrizitätsnachfrage pro BIP in MJ pro Franken				
	2000	2010	2020	2035	2050	2000	2010	2020	2035	2050	2000	2010	2020	2035	2050
WWB	185.1	211.5	221.3	232.0	248.5	25.7	26.8	26.2	26.1	27.5	0.4	0.39	0.36	0.33	0.31
POM	185.1	211.5	211.1	208.5	219.1	25.7	26.8	25.0	23.5	24.2	0.4	0.39	0.34	0.30	0.27
NEP	185.1	211.5	210.4	198.2	190.9	25.7	26.8	24.9	22.3	21.1	0.4	0.39	0.34	0.28	0.24

Tabelle 6: Elektrizitätsnachfrage, Szenarien WWB, POM und NEP, absolut in PJ, pro Kopf und pro BIP-Einheit nach Szenarien

Die Stromangebotsvarianten verwenden unterschiedliche Optionen zur Deckung des Bedarfs. In einer Variante C werden vor allem zentrale fossil-thermische Kraftwerke verwendet. In der Variante C&E werden prioritär erneuerbare Energien (und die bestehende Ausbaupkapazität der Wasserkraft) verwendet. Verbleibender Deckungsbedarf wird – gemäss Variantenvorgabe – mit zentralen fossil-thermischen Kraftwerken (Gaskombikraftwerke, Gas- und-Dampf-Kraftwerke) gefüllt. Die Variante E verwendet als Priorität erneuerbare Energien und füllt die verbleibende inländische Produktionslücke mit Importen auf. Für den Ausbau erneuerbarer Energieträger werden zwei Ausbauewege (moderater Ausbau in Variante C und starker Ausbau in den Varianten C&E und E) unterschieden.

In der ES 2050 wird in der Regel mit Differenzkosten gerechnet. Das heisst, es wird dargestellt, wieviel höher die Kosten im Vergleich zum Referenzszenario WWB ausfallen. Um die Kostenentwicklungen in Zukunft zu vergleichen, werden in der Regel abdiskontierte Kosten dargestellt. Im Vergleich zum Szenario WWB ergeben sich aufgrund der Investitionen in Energieeffizienz bzw. durch den Ausbau der erneuerbaren Energien Importeinsparungen, welche auch betrachtet werden.

Saldo Kosten in Mio. Fr.	2010	2020		2035		2050		2010-2050		2010-2050 abdiskontiert	
		POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP
Investitionen	50	1'239	2'064	2'932	5'520	3'011	6'678	84'684	162'038	47'352	89'050
Energieträger- importe	0	-587	-962	-1'543	-2'891	-1'899	-3'497	-46'310	-84'614	-25'534	-46'255
Einsparungen Kraftwerkpark im Vergleich zu "Weiter wie bisher" Variante C											
Var. C	0	-156	-209	-927	-697	-1'188	-1'747	-24'576	-26'195	-12'746	-13'333
Var. C&E	0	182	-4	-753	-767	-766	-1'283	-13'135	-16'978	-5'659	-7'553
Var. E	0	182	-4	-925	-1'232	-939	-1'574	-17'005	-253'28	-7'614	-11'764
Resultierende Gesamtkosten im Vergleich zu "Weiter wie bisher" Variante C											
Variante C	50	496	893	461	1'932	-76	1'434	13'798	51'228	9'072	29'462
Variante C&E	50	834	1'098	635	1'862	346	1'898	25'239	60'445	16'159	35'242
Variante E	50	834	1'098	463	1'397	173	1'607	21'369	52'095	14'204	31'031

Tabelle 7: Saldo Mehr- und Minderkosten der Stromangebotsvarianten der Szenarien POM und NEP, verglichen mit WWB

Für das Stromangebot sind in den Energieperspektiven die abdiskontierten Gesamtkosten des Kraftwerkspark enthalten. Beim Stromangebot der Schweiz besteht der grössere Teil der Kosten in Kosten des Bestandes. Diese Kosten fallen unabhängig von der ES 2050 an.

	Gesamtkosten abdiskontiert 2010-2050									
	WWB			POM				NEP		
	C	C&E	E	C	C&E	C&E Sens 1	E	C	C&E	E
Wasserkraft	96	98		96	98	98	98	96	98	98
KKW	21	21		21	21	21	21	21	21	21
Konventionell-thermische Kraftwerke										
Fossile WKK	39	24		26	14	13	0	25	13	0
Erneuerbare mit WKK	9	9		9	9	9	9	10	10	10
Erneuerbare	10	18		10	18	18	18	9	18	18
KVA	6	13		6	13	17	13	6	13	13
Import	4	4		4	4	4	4	4	4	4
Import	13	13		13	13	13	26	13	13	22
Netto- Gesamtkosten ohne Wärmegutschriften										
	197	201		185	191	193	190	185	190	186
<i>Davon: Zubau netto (ohne Wärmegutschriften)</i>										
	72	75		59	66	67	64	59	64	60
<i>Davon: Bestand netto (ohne Wärmegutschriften)</i>										
	126	126		126	126	126	126	126	126	126
Wärmegutschriften	11	13		11	13	14	13	11	14	14
Brutto-Gesamtkosten	208	215		196	205	208	203	196	205	200

Tabelle 8: Gesamtkosten abdiskontiert, Bestand und Zubau, real zu Preisen 2010, in Mrd. Franken

Die Resultate der Modellierung von Prognos 2012 bilden die Grundlage für andere Modellarbeiten im Rahmen der ES 2050. Sie liefern die Inputs (Energienachfrage, Stromnachfrage und Stromangebot), welche in den Modellierungen der volkswirtschaftlichen Auswirkungen (Ecoplan 2012) als exogene Größen benutzt werden. Somit ist gewährleistet, dass in diesen Untersuchungen für den Energiebereich dieselben Rahmenentwicklungen (Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Branchenentwicklung, Energiepreisentwicklungen) verwendet werden.

2.1.2. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, volkswirtschaftliche Auswirkungen (Ecoplan 2012)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2008	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung	Alle	Mio.	7.7	8.4	8.9	9.0	BFS, Sz. A-00-2010
Wirtschaftswachstum BIP, real, von 2010	Alle	Mrd. CHF	543	618	700	801	SECO 2010
Weltmarktenergiepreise, Rohöl, real 2010	WWB, POM	\$ / barrel	95	100	114	117	IEA WEO 2010, New policy, Prognos 2010
	NEP	\$ / barrel	95	91	91	83	IEA WEO 2010, 450 ppm, Prognos
CO2-Preise aus ETS, real 2010	WWB, POM	\$ / Tonne	20	38	50	56	IEA WEO 2010, New policy, Prognos
	NEP	\$ / Tonne	20	45	120	137	IEA WEO 2010, 450 ppm, Prognos
Wechselkurs (€/CHF)	Alle	-	1.59	1.43	1.35	1.23	
Wechselkurs (\$/CHF)	Alle	-	1.09	0.98	0.87	0.75	

Tabelle 9: Rahmendaten in Ecoplan 2012

Das verwendete berechenbare Gleichgewichtsmodell bildet die Auswirkungen der ES 2050 auf die gesamte Schweizer Wirtschaft ab. Diese Art von Modellierung erlaubt es, Rückkopplungseffekte und indirekte Effekte einer Erhöhung der Energiepreise abzuschätzen. Mit dem Modell wurde geprüft, wie hoch eine Abgabe auf fossile Energieträger und den Stromverbrauch sein müsste, um die Energie- und Elektrizitätsnachfrage in den Szenarien POM und NEP zu erreichen. Anstelle der einzelnen Massnahmen wird eine "hypothetische" Lenkungsabgabe berechnet, welche die gleiche Wirkung auf die Energienachfragepfade hat wie das erste Massnahmenpaket des Bundesrates (Szenario POM) sowie das alternative Szenario NEP. Damit sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen sowie Verteilwirkungen und Wohlfahrteffekte berechnet und ausgewiesen worden. Als Datengrundlage dient die Input-Output-Tabelle der Schweiz für 2008. Die hier vorliegenden Berechnungen bauen auf den mittels bottom-up-Modellen von Prognos (2012) berechneten Energienachfrage- und Angebotsentwicklungen der Referenzentwicklung gemäss Szenario WWB auf. Das zur Berechnung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen verwendete Gleichgewichtsmodell wird auf dieses Referenzszenario WWB kalibriert. Somit gleichen die zentralen Annahmen zu Rahmenentwicklungen denen der Energieperspektiven 2050 (Prognos, 2012).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Wohlfahrt ohne Berücksichtigung des Sekundärnutzens des Szenarios POM im Jahr 2050 rund 0,2 Prozent unter demjenigen des Szenarios WWB liegt. Das BIP des Szenarios POM ist im Jahr 2050 rund 0,6 Prozent tiefer als im Szenario WWB. Wird dieser Niveauunterschied in jährliche BIP-Wachstumsraten umgerechnet, so ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Wachstumseinbusse von ca. -0,02 Prozent. Auch resultieren leicht negative Beschäftigungseffekte. Das Szenario NEP verzeichnet ohne Berücksichtigung des Sekundärnutzens im Jahr 2050 eine um circa 0.9% niedrigere Wohlfahrt als im Szenario WWB. Die BIP-Einbussen liegen 2050 bei -2.7%. Wird dieser Niveauunterschied von -2.7 BIP% in jährliche BIP-Wachstumsraten umgerechnet, so entspricht dies einer Wachstumseinbusse von -0.08% pro Jahr.

2.2. Wege in die neue Stromzukunft (VSE 2012)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung	Alle	Mio.	7.95	k.A.	k.A.	9.0	BFS, Sz. A-00-2010
Wirtschaftswachstum BIP, real, von 2010							Eigene Annahmen
Weltmarktenergiepreise, Erdöl	Alle	\$ / barrel	k.A.	101.8	103.9	106.5	Pöyry 2012, brent crude benchmark
Swiss gas price	Alle	€/ MWh	k.A.	24.6	32.8	33.4	Pöyry 2012, undelivered annual TWA
German gas	Alle	€/ MWh	k.A.	24.6	32.8	33.4	Pöyry 2012, undelivered annual TWA
CO ₂ -Preise aus ETS, real 2010	Alle	\$ / Tonne	k.A.	27.7	59.8	59.8	Pöyry 2012

Tabelle 10: Rahmendaten in VSE, 2012

Die vom Verband schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) publizierte Studie stellt drei Szenarien für die Stromversorgung bis 2035 und 2050 vor, in denen keine Variante mit einem Bau von neuen Kernkraftwerken vorkommt. Der Fokus der Studie liegt beim Strombereich und deckt nicht das gesamte Energiesystem ab. Sie basiert auf Arbeiten der Branche und externen Studien. Die drei Szenarien verwenden unterschiedlichen Stromnachfrageentwicklungen.

In der VSE-Studie fassen die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung von Primärenergiepreisen auf Untersuchungen von Pöyry 2012. Diese Primärenergiepreise werden für alle Szenarien identisch angesetzt, da Szenarien der Schweizer Elektrizitätswirtschaft keinen Einfluss auf die Weltenergiemärkte haben. Gemäss VSE ist der Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Stromverbrauch in der ökonomischen Theorie nachgewiesen und lässt sich intuitiv nachvollziehen, verliert mit der Zeit aber an Ausprägung, da der Anteil der energieintensiven Unternehmungen zurückgeht und der tertiäre Sektor an Bedeutung gewinnt.

Im Szenario 1 werden höhere energie- und umweltpolitische Zielsetzungen gegenüber der Vergangenheit und moderat verstärkte Massnahmen erwartet. Das Szenario 2 basiert auf einem nachhaltigen Wandel hin zu mehr Energieeffizienz und erneuerbaren Energien. Es werden mehr Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gebaut als in Szenario 1. Dem Szenario 3 liegt das Leitbild einer langfristigen Vision der 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft zu Grunde. In diesem Szenario wird die Schweiz 2050 im Jahresmittel zu 100% mit Strom aus erneuerbaren Quellen versorgt. Die Entwicklung der Stromnachfrage wird im VSE-Bericht nicht vollständig modelliert. Aussagen betreffend den Stromverbrauch der Haushalte basieren auf der vom VSE in Auftrag gegebenen Studie „Effizienz und Elektrifizierung Haushalte“ (EBP 2012b). Für den Sektor Gewerbe, Dienstleistungen und Industrie wurde eine Top-down-Analyse basierend auf einer Auswertung verschiedener Studien durchgeführt. Die vom Beratungsunternehmen Ernst Basler+Partner AG durchgeführte Studie (EBP 2012a) zeigt die Abschätzungen von Stromsparpotenzialen auf. Die Annahmen hinsichtlich der Nachfrageentwicklung in den Nachbarländern der Schweiz sind für alle drei Szenarien gleich.

Der VSE basiert seine Daten teilweise auf dem Energietriolog von 2009. Die Nachfrage wird in der Pöyry-Studie, welche dann das Stromangebot modelliert, als exogene Grösse angegeben. Zur Deckung der Nachfrage werden Angebotsvarianten mit erneuerbaren Energien, GuD und Stromimporten untersucht. Die Modellierung wird auf Stundenbasis mit einem Strommarktmodell durchgeführt. Der VSE kommt auf elf Kernaussagen für die Stromzukunft nach dem Motto: „der

Markt bietet grundsätzlich die besseren Anreize für Preise als die ausschliessliche Regulierung und Lenkung“.

Hauptergebnisse der Studie

Stromverbrauch (Landesverbrauch)	Einheit	2011	2020	2035	2050
Szenario 1	TWh/a	64.9	69.7	76.2	81
Szenario 2	TWh/a	64.9	69.4	72.8	73
Szenario 3	TWh/a	64.9	68.7	68.2	60.5

Tabelle 11: Stromnachfrageentwicklung in den drei Szenarien des VSE

Im Szenario 1 steigt die Nachfrage kontinuierlich. Netto wächst der Stromverbrauch von 2011 bis 2050 um 25%. Der Anstieg der Nachfrage wird einerseits bestimmt vom Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum und andererseits von Substitutionseffekten des Wärmemarktes oder des Verkehrs (Anstieg der Elektromobilität). Dämpfende Wirkungen haben eine Erhöhung der Energie- und Stromeffizienz, beispielsweise im Wärmemarkt, in der Beleuchtung oder bei anderen Stromanwendungen. Im Grossgerätebereich und bei Antrieben und Motoren setzen sich Effizienzstandards durch. Im Szenario 2 erhöht sich der Stromverbrauch wegen der Steigerung der Energie- und Stromeffizienz von 2011 bis 2050 mit 13 % deutlich weniger als in Szenario 1. Bis 2035 ist der Anstieg kontinuierlich, ab diesem Zeitpunkt flacht das Wachstum ab. Im Szenario wird eine Zunahme der Effizienz vor allem in den Sektoren Haushalte und Dienstleistung erwartet. Im Szenario 3 gelten grundsätzlich dieselben Annahmen wie in den Szenarien 1 und 2, die Ziele werden jedoch erhöht und die Umsetzung beschleunigt. Das Szenario 3 orientiert sich an der Vision der 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft bzw. der 2000-Watt-Gesellschaft. Der Stromverbrauch sinkt um 8% bis 2050 aufgrund einschneidender energiepolitischer Massnahmen und grundlegender Verbrauchsänderungen.

Beim Stromangebot unterscheiden sich die drei Szenarien im Wachstum der erneuerbaren Technologien und im Gaskraftwerk-Zubau. In den Rechnungen wurde der Ausbau erneuerbarer Erzeugung Szenario-spezifisch vorgegeben, während der Bau und Einsatz von Gaskombikraftwerken und WKK sowie der Einsatz von Importen/Exporten im Modell nach Wirtschaftlichkeitskriterien zur Deckung der Szenario-spezifisch vorgegebenen Nachfrage errechnet wurden. Im Szenario 1 ersetzen Importe und inländische Gaskombikraftwerke die wegfallenden Kernkraftkapazitäten. Die erneuerbare Stromproduktion wird bis 2050 um 13 TWh ausgebaut. Die wesentliche Steigerung erfolgt nach 2035. Dies wird ergänzt durch Importe und ca. 7-8 inländische Kraftwerke à 400 MW, um die wegfallenden Kernkraftkapazitäten zu ersetzen. Im Szenario 2 steigt die Produktion aus erneuerbaren Energien um 23 TWh bis 2050. Im Szenario 3 steigt diese Produktion um 32 TWh. Im Szenario 3 ist kein Zubau von Gaskombikraftwerke in der Schweiz vorgesehen. Die Nachfrage wird mit bestehenden und neuen Anlagen sowie mit Importen erneuerbarer Energien gedeckt.

In der VSE-Studie werden Investitionsvolumen in Netze und in Produktionsanlagen vorgestellt. Aus den Angaben geht nicht hervor, ob es sich um abdiskontierte Kosten handelt. Gemäss der Studie von Pöyry 2012 wird für die Berechnung ein durchschnittlicher Abzinsfaktor verwendet.

Investitionsvolumen in Netze und Produktionsanlagen (2011, real)	2011 bis 2035			2011 bis 2050		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Zubau Produktion fossil-thermisch	2.5	1.4	0.0	2.7	1.4	0.0
Zubau Produktion erneuerbar	12.9	17.5	19.6	22.4	36.8	48.8
Ausbau Hochspannungsnetzes	2.0	2.0	2.0	2.6	2.6	2.6
Ausbau und Verstärkung des Mittel- und Niederspannungsnetzes (nur Ausbauanteil)	0.3	1.1	0.6	2.4	5.5	9.6
Investition in neue Netze und Produktion	17.7	22.1	22.2	30.0	46.3	61.0
Erhalt und Erneuerung Bestand Netz und Produktion	29.2	24.8	24.6	58	41.8	27.1
Gesamtinvestition inkl. Erhalt und Erneuerung Bestand Netz und Produktion	64.6	68.9	69.0	118.1	134.4	149.1

Tabelle 12: Investitionsvolumen in Netze und Produktionsanlagen, VSE 2012

2.3. Energiezukunft Schweiz (ETH 2011)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung	Tief	Mio.	7.8	8	7.8	7.2	BFS, Sz. C-00-2010
	Mittel	Mio.	7.8	8.4	8.8	9.0	BFS, Sz. A-00-2010
	Hoch	Mio.	7.8	8.7	9.8	10.7	BFS, Sz. B-00-2010
Wirtschaftswachstum BIP, real, von 2010	Nicht quantifiziert, unterschiedlich für die Szenarien Hoch, Mittel und Tief						
Pro Kopf jährliche CO ₂ -Emissionen		Tonnen	5.1	3.9	2.7	1.56	

Tabelle 13: Rahmendaten in ETH 2011

Die Studie der ETH Zürich untersucht Optionen für die Gestaltung eines nachhaltigen Energiesystems für die Schweiz. Dabei gilt als Randbedingung der vom Bundesrat und Parlament angekündigte schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie. Es werden Szenarien mit Zeithorizont 2050 ausgearbeitet, mit Zwischenschritten für 2020 und 2035. Ein Zielpfad für die Energienachfrage der fossilen Energieträger, aufgeteilt in Wärme und Mobilität, wird aufgrund internationaler Klimaziele abgeleitet. Die dazu notwendigen Entwicklungen im Gebäude- und Technologiebereich werden qualitativ beschrieben. Es wird unterstellt, dass die globalen Klimaziele zumindest europaweit in koordinierter Art verfolgt werden. Die grundlegenden Annahmen werden nicht quantifiziert oder genauer beschrieben. Im Gebäudebereich wird von einer Steigerung der Erneuerungsrate auf 2% pro Jahr ausgegangen. Elektroheizungen werden vollständig ersetzt. Beim Individualverkehr wird sich bis 2050 die gesamte Verkehrsleistung mit vorübergehender Erhöhung trotz Bevölkerungswachstum auf dem Niveau von 2010 einpendeln. Die EU-Richtlinien zum spezifischen CO₂-Austoss der Motorfahrzeuge bis 2020 werden vorgegeben und danach sinnvoll extrapoliert. Ab ca. 2020 findet eine Teil-Elektrifizierung des Individualverkehrs statt. Beim Güterverkehr wird weiterhin von einem starken Wachstum ausgegangen.

Es werden Annahmen für das Pro-Kopf Einkommen und für die Stromintensität (als Verhältnis von Stromverbrauch zum BIP) aufgrund extrapolierter Trends getroffen. Daraus werden mittels Parameterkombination diverse Szenarien für die Stromnachfrage für die nächsten 40 Jahre berechnet. Dabei ergibt sich die Elektrizitätsnachfrage als Produkt von Bevölkerung, Pro-Kopf-

Einkommen und Stromintensität. Der Stromverbrauch der ETH-Studie basiert auf Annahmen, welche im Bericht nicht vollständig dokumentiert sind. Zur Deckung der Stromnachfrage werden verschiedene Annahmen zu Ausbaupotenzialen und Gestehungskosten verwendet. Für die Ausbaupotenziale wird für jede Technologie eine bestimmte Spannbreite angenommen, welche auch die Werte der Energieperspektiven beinhaltet.

Hauptergebnisse der Studie

Ergebnis	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050
Energiebedarf für Wärme	k.A.	TWh/a	89	77	51	25
Energiebedarf für Mobilität	k.A.	TWh/a	65	62	50	35
Stromverbrauch (Landesverbrauch)	Hoch	TWh/a	63	73	82	92
	Mittel	TWh/a	63	70	75	79
	Tief	TWh/a	63	67	66	66

Tabelle 14: Stromnachfrageentwicklung in ETH 2011

In der ETH-Studie sind die Stromgestehungskosten für die einzelnen Stromerzeugungstechnologien sowie für den Schweizer Strommix (ohne Netzkosten) dargestellt. Für die Gestehungskosten werden verschiedene Varianten (A bis E) unterschieden, siehe Tabelle 15. Es werden jedoch keine Investitionskosten und Gesamtkosten ausgewiesen.

Stromgestehungskosten CH- Strommix	Einheit	2010	2020	2035	2050
Variante A (Wasserkraft: 8 Rp/kWh, Kernkraft: 8 Rp/kWh, Thermisch :12Rp/kWh)	Rp/kWh	8.2	9	9.4	9.1
Variante B: gleich wie A aber mit Kosten für die Speicherung (Wind/PV)	Rp/kWh	8.2	9.1	9.7	9.7
Variante C1: Gleich wie B aber mit jeweils 40% höheren Kosten für PV	Rp/kWh	8.2	9.2	9.7	9.6
Variante C2: Gleich wie B aber mit jeweils 30% tieferen Kosten für PV	Rp/kWh	8.2	8.8	9.1	8.6
Variante D: Gleich wie A, jedoch mit 6 Rp/kWh für die Kernkraft	Rp/kWh	7.4	8.3	9.2	9.1
Variante E: Gleich wie A, jedoch mit 10 Rp/kWh für die Kernkraft	Rp/kWh	9	9.7	9.6	9.1

Tabelle 15: Entwicklung Stromgestehungskosten für den Schweizer Strommix (ohne Netz), ETH 2011

Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von zwei Szenarien (mit und ohne Ausstieg aus der Kernenergie) werden mithilfe eines allgemeinen Gleichgewichtsmodells untersucht. Dafür wird das allgemeine Gleichgewichtsmodell CITE der ETH Zürich verwendet. Als Datengrundlage dient die Input-Output-Tabelle der Schweiz für 2005. Es werden 12 Branchen unterschieden. Speziell an diesem Modell ist, dass das Wirtschaftswachstum endogen vom Modell berechnet und nicht exogen als Parameter vorgegeben wird. Es werden zwei Szenarien gerechnet: Pfad A unterstellt ein CO₂-Emissionsziel von minus 65% bis 2050 mit einer Energielenkungsabgabe auf fossile Energieträger mit vollständiger Rückerstattung an die Haushalte. Pfad B sieht zusätzlich zum Klimaziel von Pfad A einen etappenweisen Ausstieg aus der Kernenergie vor.

Die Studie kommt zum Schluss, dass insbesondere durch den anvisierten langen Zeithorizont von mehreren Jahrzehnten die Transformation des Energiesystems (Effizienzerhöhung in allen Energiesektoren, Substitution fossiler Energie für die Wärmeproduktion und für die Kurzstreckenmobilität durch erneuerbare Energieträger und Strom aus CO₂-armen Quellen) im Grundsatz technologisch machbar und wirtschaftlich verkraftbar ist. So resultiert in Pfad A (CO₂-

Emissionsziel von minus 65% bis 2050) ein Wachstum von rund 1.29% pro Jahr. Pfad B (Klimapolitik + Atomausstieg) ergibt eine leichte Reduktion des jährlichen Wachstums der gesamten Ökonomie von 1.29% auf rund 1.24%. Das Einkommensniveau des Pfads A von 2050 wird mit Pfad B, d.h. bei einem Atomausstieg, mit ca. einem Jahr Verzögerung erreicht. Gleichzeitig wird unterstrichen, dass die Transformation des Energiesystems in Richtung Nachhaltigkeit bis etwa Mitte des Jahrhunderts kein Selbstläufer sein werde. Der Erfolg bedürfe nebst forschungsinduzierter Technologieverbesserungen auch energiepolitischer, marktwirtschaftlich orientierter Massnahmen, die auf Kostenwahrheit unter Einbezug aller Externalitäten beruhen. Diese Massnahmen müssten überdies langfristig angelegt und im föderalistischen Staat gut koordiniert sein, so dass verlässliche Rahmenbedingungen für alle Akteure entstünden.

2.4. Kosten der (Nicht-)Energiewende (Meier 2013)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung	Alle	Mio.	7.9	8.4	8.9	9.0	Prognos 2012 (BFS, Sz. A-00-2010)
Wirtschaftswachstum BIP, real, von 2010	Alle	Mrd. CHF	547	618	700	801	Prognos 2012 (SECO 2010)
Energiebezugsflächen	Alle		Grundsätzlich von Prognos (2012) übernommen, aber Reduktion um 4% der Energiebezugsfläche der privaten Haushalte				
Weltmarktenergiepreise, Rohöl, real 2010	REFERENZ/ ENERGIEWENDE						
	MODERAT		Effektive Preise bis 2012 (circa. 110 USD/barrel), ab 2013 relative Preissteigerungen gemäss Prognos 2012 / IEA WEO 2010 New policy (rund 130 USD/barrel 2020 und 140 USD/barrel 2030)				
	HOCH		Effektive Preise bis 2012 (circa. 110 USD/barrel), 2015: 150 USD/barrel; 2020: 170 USD/barrel; 2030: 200 USD/barrel; 2050: 210 USD/barrel (IEA Annual Energy Outlook 2012 mit Anstieg bis 2025 in abgeschwächter Form)				
	MITTEL		Preissteigerung bis 2020 wie 2000 bis 2012, 2020 bis 2050 moderatere Steigerungen auf Niveau zwischen Hochpreisszenario und MODERAT				
	TIEF	\$ / barrel	76	99.9	114.1	116.9	IEA WEO 2010, New policy, Prognos
Wechselkurs (\$/CHF)	Alle		Übernommen von Prognos (2012)				
Zinssätze	Alle		2.5%				

Tabelle 16: Rahmendaten Meier 2013

Diese von der Schweizer Energiestiftung (SES) finanzierte Studie nutzt SIM-ENERCO, ein sektorales Modell im Sinne der selektiven Abbildung derjenigen wirtschaftlichen Aktivitäten, die für Energienachfrage, Energieeffizienz und Energiebereitstellung von Belang sind, ohne Darstellung von Wechselwirkungen mit anderen Wirtschaftssektoren und ohne Bezug zur Gesamtwirtschaft. Es werden unterschiedliche Szenarien bezüglich Energienachfrage, Energiebereitstellung und den damit verbundenen Kosten für den Zeitraum 2000 bis 2050 abgebildet. Als Kosten der Energieversorgung sind Kosten der Energieendverbraucher zu verstehen. Die Auswirkungen auf die

gesamte Volkswirtschaft sind nicht Gegenstand der Studie. Die Studie zeigt auf, dass bereits ab einer moderaten Preisentwicklung für fossile Energieträger über die nächsten Jahrzehnte eine Nicht-Energiewende teuer zu stehen kommen könnte. Die Studie kritisiert, dass steigende Ölpreise in der Debatte kaum berücksichtigt würden, obwohl die fossile Abhängigkeit ein volkswirtschaftlicher Risikofaktor sei. Eine Energiewende könne die Geldabflüsse für Energieträgerimporte massiv reduzieren und lagere einen Teil dieser Kosten ins Inland um. Dies würde zusätzlich zur Kostensenkung bedeutendes Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotential generieren. Die Energiewende könne auch als eine Versicherung betrachtet werden, deren Abschluss sich bereits ab einer geringen Wahrscheinlichkeit des Eintreffens des Schadenfalls von steigenden fossilen Brennstoffpreisen lohnen würde.

Es werden zwei Hauptszenarien, jeweils mit moderaten Energiepreisen, vorgestellt: REFERENZ und ENERGIEWENDE, angelehnt an die Szenarien des Bundes WWB und NEP. Die sozioökonomischen Rahmendaten (Wachstum Bevölkerung, BIP) sowie die Entwicklung von Energiebezugsflächen und Transportleistungen werden von den Energieperspektiven des Bundes übernommen. Zudem werden Sensitivitätsanalysen mit Szenarien mit tiefen, mittleren und hohen Energiepreisen durchgeführt, sowie mit veränderten Annahmen zum Ausbau der Solarstromproduktion und zur Suffizienz. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei einer moderaten Preisentwicklung für fossile Energieträger die ENERGIEWENDE bis Ende der 2030er Jahre gegenüber der REFERENZ zu Mehrkosten führt, danach zu Einsparungen. Über den gesamten Zeitraum von 2015 bis 2050 liegen die Mehrkosten der ENERGIEWENDE bei durchschnittlich 361 Mio. Franken pro Jahr, was weniger als 1% der rund 40 Mrd. Gesamtkosten für die Energieversorgung oder 41 Franken pro Person und Jahr entspricht. Bei einem Hochpreisszenario ist die ENERGIEWENDE hingegen bereits ab den ersten Jahren wirtschaftlich vorteilhaft und die mittleren Einsparungen betragen 374 Franken pro Person und Jahr.

2.5. Energiestrategie 2050: eine ökonomische und institutionelle Analyse (IWSB, Borner et al. 2014)

Diese nicht modellbasierte Studie untersucht die technische, ökonomische und institutionelle Machbarkeit der ES 2050. Sie analysiert die Kosten des geplanten Umbaus der Stromversorgung unter Konzentration auf die anfallenden Investitionskosten ohne Bezifferung der makroökonomischen Konsequenzen auf Wachstum, Wohlfahrt, etc. Die Autoren kommen zum Ergebnis, dass die ES 2050 (Annahmen zum Ausbau der Erneuerbaren werden aus dem Szenario POM, Variante EE übernommen) Zusatzinvestitionen von über 100 Mrd. Franken erfordern würde. Einen Grossteil dieses Investitionsbedarfs (circa. 60 Mrd. Franken) weisen die Autoren den Anlagen zur erneuerbaren Stromproduktion zu. Die Autoren stützen ihre Berechnungen dabei hauptsächlich auf den angestrebten Ausbau der Erneuerbaren laut ES 2050, die heutigen Kosten von Wind- und PV-Anlagen sowie nötige Nennleistung für einen bestimmten Stromoutput. Die Autoren gehen bei ihrer Kostenberechnung davon aus, dass die Produktion aus Wind- und PV-Anlagen komplett verstetigt werden soll, was einen immensen Bedarf an kostenintensiven Speicherkapazitäten erfordert (33 Mrd. Franken Investitionsbedarf). Für den Um- und Ausbau der Netze veranschlagen die Autoren auf Basis von Consentec (2012) circa. 10 Mrd. Franken. Schliesslich ergibt sich unter

der Annahme, dass Sonne und Wind zur Zeit des grössten Bedarfs gar nicht produzieren, ein Bedarf von 4 MW Reserveleistung und somit Kosten für GuD-Kraftwerke von circa 6 Mrd. Franken.

Annahmen zu Rahmenbedingungen:

Da die Studie nicht modellbasiert ist, werden keine expliziten Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen (Wachstum der Bevölkerung, des BIP, Energiepreise, CO₂-Preise und Wechselkurse) getroffen. Annahmen zum Ausbau der Erneuerbaren werden aus dem Szenario POM, Variante EE übernommen.

2.6. Energiewende in der Schweiz: Simulationsergebnisse zur Energiestrategie des Bundes, KOF ETH 2013 (Egger und Nigai 2013)

Die Konjunkturforschungsstelle der ETH Zürich (KOF) hat im Auftrag des Dachverbandes der Schweizer Wirtschaft economiesuisse die ES 2050 des Bundes auf Basis eines Weltmodells untersucht. Der Wert eines solchen Modells liegt insbesondere in der Modellierung von Interdependenzen zwischen Ökonomien durch grenzüberschreitenden Warenverkehr und in der Modellierung von Energie-, Güter- und Dienstleistungsangebot und -nachfrage (von Mengen wie auch Preisen) als endogene Grössen. Das Modell ist statisch und die Ergebnisse zeigen somit, wieviel zusätzlicher technischer Fortschritt die Energiewende generieren müsste, um ihre Kosten zu kompensieren. Es werden vier Grundscenarien modelliert. Das erste simuliert die Erfüllung der Verpflichtungen im Rahmen des Kopenhagener Abkommens. In den drei weiteren Szenarien werden zusätzliche Massnahmen im Rahmen der ES 2050 simuliert: erstens die Einführung einer allgemeinen impliziten Steuer von 1'140 Franken je Tonne an CO₂-Emissionen, zweitens zusätzlich eine vollständige Substitution jeglicher in der Schweiz erzeugter nuklearer Energie durch Gaskraft und drittens eine alternative teilweise Substitution des nuklearen Energieangebots durch alternative Energieträger. Die genannten vier Szenarien werden in jeweils vier unterschiedlichen Konfigurationen von internationaler Koordination von Energiepolitik durchgespielt.

Das Mass der Auswirkungen hängt gemäss den Autoren davon ab, wie ambitioniert die Ziele sind, wie stark der technologische Fortschritt ist und ob der Wirtschaft genug Zeit gelassen wird, sich anzupassen. Gelten die Verpflichtungen im Rahmen des Kopenhagener Abkommens (CO₂-Reduktion von rund 23% bis 2020 gegenüber 2000), bewirke der Nuklearausstieg für die Schweiz keine zusätzlichen Kosten. Insgesamt zeige sich jedoch, dass die rein ökonomischen Auswirkungen der avisierten Klimapolitik zum Teil beträchtlich sein könnten (je nach Szenario ergeben sich Wirkungen auf das reale BIP der Schweiz von bis zu -23.5%). Weiter zeige sich, dass für eine ökonomische Verträglichkeit – und wohl auch die politische Nachhaltigkeit und Tragbarkeit – der geplanten Energiepolitik starke technologische Veränderungen geradezu notwendig seien.

Der Bundesrat hat in seiner Antwort auf die Interpellation 13.3018 darauf hingewiesen, dass das Modell statisch und auf die ökonomischen Strukturen des Jahres 2000 kalibriert sei. Auch werde eine hohe CO₂-Abgabe in einem einzigen Schritt eingeführt. Die KOF-Studie bestätige jedoch auch

das Resultat der Ecoplan-Studie, dass eine starke technische Veränderung notwendig sei, um sich den Herausforderungen der Energie- und Klimapolitik zu stellen.

Annahmen zu Rahmenbedingungen:

Das Modell ist auf das Basisjahr 2000 kalibriert. Es handelt sich um ein statisches Modell, was bedeutet, dass keine Annahmen über die Entwicklung der Rahmenbedingungen getroffen werden müssen, und nur auf beobachtete Werte für das Basisjahr zurückgegriffen wird. Alle simulierten Veränderungen ökonomischer Massnahmen aus der Implementierung energiepolitischer Instrumente beziehen sich damit auf (beobachtete) Daten des Jahres 2000.

2.7. Energy [r]evolution (Greenpeace 2013)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung	E[R]	Mio.	7.9	8.4	8.9	9.0	Prognos 2012
Wirtschaftswachstum BIP, real, von 2010	E[R]	Mrd. CHF	547	618	700	801	Prognos 2012
Rohöl Importe, preise von 2010	E[R]	€/ barrel	65	93	126	126	Eigene Annahmen
Erdgas Importe, Europa, preise von 2010	E[R]	€/ GJ	9.6	15.8	19.6	24.6	Eigene Annahmen
OECD Kohle Importe	E[R]	€/ Tonne	81.9	115	150	170.7	Eigene Annahmen
OECD Europa Feste Biomasse	E[R]	€/ GJ	6.5	7.7	8.5	8.8	Eigene Annahmen
CO2 Emissionskosten, preise von 2010	E[R]	€/ Tonne	0	19	k.A.	57	Eigene Annahmen

Tabelle 17: Rahmendaten Greenpeace, 2013

Die von Greenpeace präsentierte Studie „Energy [R]evolution“ wurde mit einem für die Schweiz angepassten Modell von der Systemanalyse-Gruppe am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt erarbeitet. Im E[R]-Szenario haben die KKW eine Laufzeitbeschränkung von 40 Jahren. Gleichzeitig sollen die CO₂-Emissionen bis 2050 um -96% gegenüber 1990 sinken. Das Szenario E[R] ist ein Zielszenario, in welchem die Energienachfrage bis 2050 um knapp 50% zurückgeht im Vergleich zum Jahr 2010, d.h. rund 9% mehr als im Szenario NEP von Prognos, 2012. Die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklungen werden den Energieperspektiven 2050 des BFE entnommen. Bei den fossilen Brennstoffen wird von einer etwas steileren Preisentwicklung ausgegangen als im Modell der „aktuellen Politik“ des World Energy Outlook (WEO) der Internationalen Energieagentur von 2011. Zur Erreichung der in der Studie dargestellten Ziele wird unter anderem auf die Einführung einer CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe, eine Strom- oder Energielenkungsabgabe und die Schaffung eines gesetzlichen Rahmens mit verpflichtenden Effizienzzielen für Energieversorger gesetzt. In der Studie wird auch eine Szenario-Variante „Suffizienz“ dargestellt, in der sämtliche Anreize für nicht suffizientes Verhalten – wie zum Beispiel zu billiger Flugverkehr und der kontinuierliche Ausbau von Strassen – beseitigt werden.

Die Elektrizitätsproduktion des E[R]-Szenarios basiert auf dem von den schweizerischen Umweltorganisationen vorgeschlagenen „100PRO“-Strommix mit Verzicht auf Erdgas, schnellem Zuwachs der Photovoltaik, Zulassung von Importen und Verzicht auf starken Ausbau der

Wasserkraft. Es wurden Modellierungen mit dem Stromversorgungsmodell der Firma Supercomputingsystem SCS auf Basis von Wetterdaten gemacht. Versorgungssicherheit und dezentrale Struktur der Stromversorgung werden qualitativ diskutiert. Die mit der Energiewende verbundenen Kosten und Nutzen basieren auf Arbeiten von Swisstech. Investitionen für den Umbau der Strom- und Wärmeversorgung sowie Arbeitsplatzeffekte wurden vom DLR und einem Institut in Sydney grob beziffert.

Hauptergebnisse	Szenario	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Endenergienachfrage gesamt	E[R]	PJ/a	859	740	602	510	447
Endenergie Elektrizität	E[R]	PJ/a	215	212			210
CO ₂ -Emissionen pro Kopf	E[R]	tonnen	5.6	3.8	2.2	0.9	0.2

Tabelle 18: Hauptergebnisse Greenpeace 2013

Im E[R]-Szenario geht die Energienachfrage zurück und liegt im Jahr 2050 bei rund 450 PJ/a und liegt damit rund 53% unter dem Wert von 2010. In einer Szenario-Variante „Suffizienz“ geht der Endenergiebedarf um weitere 11% auf rund 400 PJ/a zurück. Die Elektrizitätsnachfrage bleibt im E[R]-Szenario auf dem heutigen Niveau. Im E[R]-Szenario sinkt die Stromnachfrage in den Sektoren Haushalte, Industrie und Dienstleistungen, hingegen steigt sie im Verkehrssektor deutlich. Die Studie geht von einem höheren Anstieg der Energieeffizienz in der Wärmenachfrage aus als in der Stromnachfrage.

Gemäss Studie sind im Elektrizitätssektor Investitionen für die Erneuerung der Kraftwerkskapazitäten in der Höhe von rund 88 Mrd. Franken zwischen 2011 und 2050 erforderlich (einschliesslich Investitionen für den Austausch von Kraftwerken nach Ablauf der wirtschaftlichen Nutzungsdauer). Zudem werden im Bericht Investitionen für erneuerbare Energien im Wärmesektor von 64.5 Mrd. Franken zwischen 2011 und 2050 erwartet.

Unter Verwendung von moderaten Preispfaden für importierte fossile Energieträger und mit Berücksichtigung von indirekten positiven Auswirkungen resultieren gemäss Studie Wohlfahrtseffekte in der Grössenordnung von +2% bis -0.42%.

2.8. Cleantech Energiestrategie 4.0 (Cleantech 2014)

Rahmendaten	Szenario	Einheit	2010	2020	2035	2050	Quelle
Bevölkerungsentwicklung		Mio.	7.8	8.4	8.8	9.0	BFS
Wirtschaftswachstum BIP		Jährliche Zuwachsrate von 1.2%					Seco 2011
Beheizte Fläche		Zunahme von 20% bis 2050					
Personenverkehr	Pers. km	Zunahme von 20% bis 2050.					
Öffentlicher Verkehr		20% des heutigen motorisierten Individualverkehrs wird in Zukunft zusätzlich über den öffentlichen Verkehr abgewickelt.					
Güterverkehr	t. km	Nimmt bis 2050 um 40% zu					
Prozessindustrie		Moderates Wachstum der Produktion von 10%					

Tabelle 19: Rahmendaten Cleantech 2014

Die Cleantech Energiestrategie beruht auf dem Cleantech Energiemodell. Basisjahr für die Darstellung bildet das Jahr 2010. Gewisse Annahmen des Modells und eine genaue Abgrenzung zwischen Rahmendaten (exogene Grössen) und endogene Grössen sind im publizierten Bericht nicht dargestellt.

Hauptergebnisse	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch	TWh	230.3	202.4	172.6	143.8	116.2
Stromverbrauch	TWh	60	66	72	72	70
CO ₂ -Emissionen (Basis 1990) Inlandreduktion	%	3.6	23.1	48.5	68.2	88.8

Tabelle 20: Hauptergebnisse Cleantech 2014

In der Studie werden die Hauptparameter der Bedarfsentwicklung (Energienachfrage) und der Effizienzpotenziale dargestellt. Der Verbrauch zu Heizzwecken sinkt um 75%, der Rückgang des Energieverbrauches für den Personenverkehr liegt bei 60%, für den Güterverkehr bei 45%. Eine konsequente Optimierung der Produktionsanlagen soll eine Reduktion des Verbrauchs von 20% bei den Wärmeanwendungen in der Industrie ermöglichen. Bei Motoren, Geräten, ITC soll eine Verbrauchsreduktion von 35 % erreicht werden.

Ein Ziel der Strategie ist die Reduktion des Ausstosses von allen Treibhausgasen auf maximal 1 Tonne CO₂-Äquivalente pro Kopf im Jahr 2050 sowie eine Stromversorgung aus 100% erneuerbarer Energie. Zur Berechnung der Kosten wird ein Vollkostenansatz angewendet. Gemäss Bericht betragen die Mehrkosten je nach Referenzszenario, maximal 50 bis 100 Mrd. Franken bis 2050. Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen wurden am Center of Economic Research der ETH berechnet. Die Resultate der Studie zeigen für die untersuchten Szenarien (darunter auch die Cleantech Energiestrategie), dass die Wohlstandsverluste gegenüber dem „Business-as-usual-Szenario“ maximal 0.4% betragen.

3. Literaturverzeichnis

- Cleantech 2014 Wirtschaftsverband swisscleantech, Cleantech Energiestrategie, Version 4.0, November 2014
- EBP 2012a Ernst Basler + Partner, Stromeffizienz und Nachfrageflexibilisierung in Industrie und Dienstleistungen, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE/AES), Aarau, 2012
- EBP 2012b Ernst Basler + Partner, Effizienz und Elektrifizierung Haushalte 2012, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE/AES), Aarau, 2012
- EBP 2012b Ernst Basler + Partner, Effizienz und Elektrifizierung Haushalte 2012, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE/AES), Aarau, 2012
- Ecoplan 2012 Ecoplan, Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen, Schlussbericht, September 2012
- ETH 2011 Andersson Göran, Boulouchos Konstantinos und Bretschger Lucas, Energiezukunft Schweiz, ETH Zürich, November 2011
- Greenpeace 2013 Greenpeace, Energy [r]evolution - eine nachhaltige Energieversorgung für die Schweiz, November 2013
- IWSB 2014 S. Borner, D. Hauri, B. Wyss, B. Schips & M. Saurer, Energiestrategie 2050: eine institutionelle und ökonomische Analyse.
- KOF-ETH 2013 P. Egger, S. Nigai, Energiewende in der Schweiz: Simulationsergebnisse zur Energiestrategie des Bundes, KOF Studien, 38, Zürich, Januar 2013
- Meier 2013 B. Meier, Kosten der (Nicht-)Energiewende. Studie im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung SES, 17. Juni 2013, Winterthur.
- Pöyry 2012 Pöyry Management Consulting. Angebot und Nachfrage nach flexibler Erzeugungskapazität in der Schweiz. Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE/AES), Aarau, 2012
- Prognos 2012 Prognos AG / BFE, Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel, September 2012
- VSE 2012 Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE), Wege in die neue Stromzukunft, Aarau, 2012